

Effect of Slip-to-Roll Ratio on Wear Rate and Friction Coefficient of Palm Oil-Base Biolubricant with Additive of Graphene

Dedi Rosa Putra Cupu^{1,*}, Aryo Kuncoro Adji¹, Kaspul Anuar¹, Efi Afrizal¹, Nazaruddin¹

¹)Department of Mechanical Engineering, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

ABSTRACT – During machine is in operation, some machine elements will contact causing a rubbing between the elements. When the contacting parts is subjected to a mechanical force, a phenomenon called friction and wear arise. Contacting of both elements with the same tangential velocity refers to pure rolling contact which means there is no slip between them. Lubricants are usually used between the contacting materials to reduce friction and wear. Nowadays, commercial lubricants are from mineral oils which are dangerous to human beings and the environment. An alternative to reduce the use of mineral oil is by using vegetable-based oils. This research was experimentally conducted to study the effect of slip-to-roll ratio (SRR) on the wear rate and coefficient of friction for biolubricant made of palm oil and graphene nanolayers as additives using disc-on-disc tribometer. The experimental results show that the value of the wear rate and friction coefficient is directly proportional to the value of the slip ratio on the two discs. This means that the greater the slip ratio that occurs, the greater the value of the wear rate and friction coefficient produced.

Riwayat Artikel:

Diterima: 26 Februari 2024

Direvisi: 28 Februari 2024

Disetujui: 29 Februari 2029

KEYWORDS: Slip-to-Roll Ratio, palm oil-based lubricant, graphene nanolayers, disc-on-disc tribometer, friction coefficient

1. PENDAHULUAN

Lubricant yang digunakan baik pada kendaraan maupun mesin-mesin biasanya terbuat dari minyak mineral. Limbah lubricant dengan bahan mineral menjadi masalah yang sangat serius karena akan mengganggu keberlangsungan lingkungan jika tidak diolah lebih lanjut, karena lubricant bekas mengandung logam berat, kotoran seperti abu, aspal, air, dan pengotor lain yang terbentuk di dalam mesin selama proses pelumasan. Salah satu dampak buruknya adalah logam berat yang jika dibuang ke lingkungan tanpa didaur ulang dapat membahayakan bagi ekosistem, baik air maupun tanah karena sifat *non-biodegradable*. Untuk itu perlu dilakukan usaha untuk menggantikan lubricant berbahan dasar *synthetic* dan *mineral oil* yang terbuat dari minyak bumi yang cadangannya tidak dapat diperbarui dengan menggunakan minyak nabati sebagai alternatif [1].

Salah satu alternatif untuk mengurangi pemakaian *mineral oil* ini dapat menggunakan minyak berbahan nabati. Pemanfaatan minyak nabati ini sebagai bahan lubricant lebih menguntungkan diantaranya ramah lingkungan, memiliki indeks viskositas yang tinggi, dapat diperbarui, dan sifat pelumasan yang baik terutama di daerah *boundary lubrication* dan mudah larut dengan zat aditif.

Minyak kelapa sawit merupakan jenis minyak nabati yang dapat dengan mudah diperoleh di Indonesia. Terdapat

beberapa turunan minyak kelapa sawit, diantaranya adalah CPO (*Crude Palm Oil*), CPO Low Grade (kandungan FFA yang tinggi), PFAD (*Palm Fatty Acid Destilate*), dan RBDPO (*Refined Bleached Deodorized Palm Oil*). RBDPO merupakan turunan minyak sawit yang mengandung kadar asam lemak bebas paling rendah, hal ini karena RBDPO merupakan hasil dari proses penyulingan untuk penghilangan bau dan penjernihan dari minyak kelapa sawit kasar (CPO) yang kemudian diuraikan lagi menjadi minyak sawit cair (RBD *Olein*) dan padat (RBD *Stearin*) [2]. Negara Indonesia sebagai produsen terbesar minyak kelapa sawit atau CPO (*Crude Palm Oil*) di dunia memiliki visi mewujudkan Indonesia menggunakan sumber energi baru terbarukan (pengganti fosil) sebanyak 25% pada tahun 2025 dalam rangka konservasi energi dan diversifikasi energi [3].

Namun, minyak nabati tidak sepenuhnya baik untuk digunakan, minyak nabati memiliki beberapa kekurangan diantaranya adalah, mudah korosi jika sudah teroksidasi, rendahnya stabilitas termal, hidrolitik dan oksidatif karena mengandung asam lemak tidak jenuh. Tetapi, kekurangan ini dapat diatasi dengan memodifikasi minyak tersebut dengan menambahkan komposisi zat aditif seperti *graphene* [4].

Graphene memiliki kelembaban yang tinggi dan membuat material-material lainnya tidak mudah aus dan rusak. *Graphene* yang merupakan material berbasis karbon

*Corresponding author: dedi.cupu@lecturer.unri.ac.id

dua dimensi memberikan sifat gesekan dan usia pakai yang unik dan tidak terlihat pada material konvensional. Selain sifat-sifat termal, listrik, optik, dan mekanik yang terkenal, *graphene* bisa berfungsi sebagai *lubricant* padat ataupun cair. Penambahan *graphene* sebagai zat aditif pada pelumasan, sangat cocok untuk meminimalisir terjadinya gesekan antar permukaan [5].

Keausan yang terjadi pada permukaan komponen yang berkontak dan bergerak dipengaruhi oleh adanya kontak *rolling* ataupun kontak *sliding*, kontak *rolling* itu sendiri ada dua yaitu *pure rolling* dan *rolling-sliding*, sedangkan kontak *sliding* terjadi ketika salah satu permukaan yang berkontak tidak bergerak atau kedua kontak memiliki gerakan yang berlawanan arah. Ketika kontak yang terjadi pada kedua permukaan memiliki kecepatan tangensial yang sama maka digolongkan sebagai kontak *pure rolling*, artinya dalam kontak *pure rolling* tidak ada “slip”. Namun dalam kenyataannya kontak *pure rolling* sulit ditemukan [6].

Simbolon (2014) [7] telah melakukan penelitian mengenai pengaruh rasio slip terhadap tingkat keausan. Penelitian ini memvariasikan slip rasio sebesar 5%, 10%, dan 15%, dengan hasil data keausan dapat dilihat pada Tabel 1.1 di bawah.

Tabel 1 Data Massa yang Hilang

Tahap	Putaran	Massa Akhir		
		5%	10%	15%
1	2537,50	0,0039	0,02365	0,0552
2	5075,00	0,0118	0,01567	0,0236
3	7612,50	0,0236	0,03547	0,0118
4	10150,00	0,0197	0,01970	0,0355
5	12687,50	0,0158	0,01182	0,0039
6	15225,00	0,0040	0,00394	0,0118
7	17762,50	0,0080	0,01576	0,0079
8	20300,00	0,0120	0,01970	0,0079
9	22837,50	0,0080	0,00788	0,0079
10	25375,00	0,0120	0,00394	0,0039
11	27912,50	0,0080	0,00394	0,0000
12	30450,00	0,0080	0,01576	0,0158
13	32987,50	0,0040	0,00000	0,0039
14	35525,00	0,0080	0,00788	0,0118
15	38062,50	0,0000	0,00788	0,0236

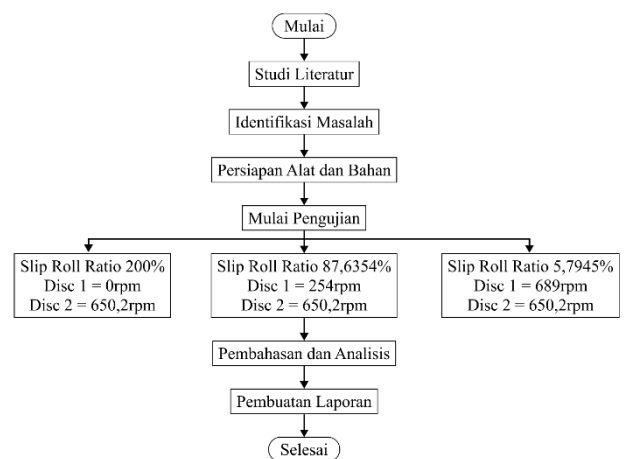
16	40600,00	0,0000	0,0000	0,0000
Total Hilang		0,1469	0,1931	0,2246

Sumber : (Simbolon 2014)

Berdasarkan referensi yang telah didapatkan, peneliti ingin mencoba memvariasikan kecepatan putar pada *base body* dan *contact body* dengan menggunakan variasi komposisi RBDPO-*graphene* 99,9%-0,1% untuk mengetahui pengaruh slip pada laju keausan dan koefisien gesek dari permukaan yang berkontak.

2. METODOLOGI

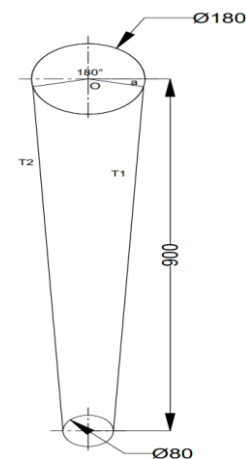
Diagram alir yang digunakan terkait penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

2.2 Validasi Kelengkapan Data

Pada pengujian ini, beban yang diberikan terkonsentrasi pada poros tribometer. Pembebanan pada pengujian ini dipengaruhi oleh tegangan *belt* dan torsi dari motor listrik. Beban aktual yang diterima oleh *disc* dapat ditentukan dengan perhitungan berikut.



Gambar 2 Pembebanan pada Pengujian yang Dipengaruhi Oleh Tegangan *Belt*

a. Sudut Kontak *Pulley* dengan *Belt*

Perhitungan untuk menentukan sudut kontak antara *pulley* dengan *belt* dapat dilihat dibawah ini.

$$\theta = 2 \arccos \left(\frac{d_2 - d_1}{2c} \right) \\ = 2 \arccos \left(\frac{180 \text{ mm} - 80 \text{ mm}}{2 (900 \text{ mm})} \right)$$

$$\theta = 2 \arccos (0,0556) = 173,62^\circ$$

$$\alpha = \frac{180^\circ - \theta}{2} = \frac{180^\circ - 173,62^\circ}{2} = 3,19^\circ$$

b. Torsi Motor

Torsi motor dapat dihitung berdasarkan spesifikasi motor, seperti dibawah ini.

$$M = \frac{60P}{2\pi n} = \frac{60 (0,25 \text{ hp})}{2 (3,14) (1420 \text{ rpm})} \\ = \frac{60 (186,43 \text{ Watt})}{2 (3,14) (1420 \text{ rpm})} = 1,254 \text{ Nm}$$

$$M = 1254 \text{ Nmm}$$

c. Tegangan Efektif

Perhitungan tegangan efektif dapat dilihat dibawah ini.

$$T_e = \frac{2M}{d_1} = \frac{2 (1254 \text{ Nmm})}{80 \text{ mm}} = 31,35 \text{ N}$$

d. Tegangan Sisi Kendur

Perhitungan tegangan sisi kendur dapat dilihat dibawah ini.

$$T_2 = 0,3T_e = 0,3 (31,35 \text{ N}) = 9,405 \text{ N}$$

e. Tegangan Sisi Kencang

Perhitungan tegangan sisi kencang dapat dilihat dibawah ini.

$$T_1 = T_e + T_2 = (31,35 + 9,405) \text{ N} = 40,755 \text{ N}$$

f. Beban Poros Akibat Tegangan *Belt*

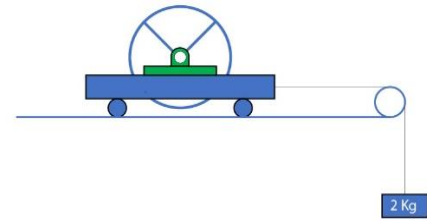
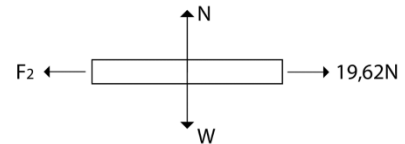
Perhitungan beban poros akibat tegangan *belt* dapat dilihat dibawah ini.

$$F = \sqrt{T_1^2 + T_2^2 - 2 T_1 T_2 (2 \cos \alpha)} \\ F = \sqrt{(40,755 \text{ N})^2 + (9,405 \text{ N})^2 - 2 (40,755 \text{ N}) (9,405 \text{ N}) (2 \cos 3,19^\circ)}$$

$$F = \sqrt{218,6 \text{ N}^2} = 14,785 \text{ N}$$

g. Beban Aktual *Disc*

Beban aktual *disc* dapat dihitung dengan menerapkan kesetimbangan gaya-gaya pada DBB berikut.

Gambar 3 Beban Aktual *Disc* pada Alat Uji TribometerGambar 4 DBB Beban Aktual Alat Uji Tribometer *Disc-on-Disc*

$$\rightarrow^+ \Sigma F_x = 0$$

$$19,62 \text{ N} - F_2 = 0$$

$$F_2 = 19,62 \text{ N}$$

Gaya Berat yang terjadi adalah gabungan antara beban poros akibat tegangan *belt* (W_1), massa dari beban yang diberikan (W_2), dan massa dari gabungan spesimen pada alat uji tribometer *disc on disc* (W_3).

$$W_1 = 14,79 \text{ N}$$

$$W_2 = 2 \text{ kg} \times \frac{9,81 \text{ m}}{\text{s}^2} = 19,62 \text{ N}$$

$$W_3 = 6,7 \text{ kg} \times \frac{9,81 \text{ m}}{\text{s}^2} = 65,73 \text{ N}$$

$$W_1 + W_2 + W_3 = 100,14 \text{ N}$$

$$\uparrow^+ \Sigma F_y = 0$$

$$N - W = 0$$

$$N - 100,14 \text{ N} = 0$$

$$N = 100,14 \text{ N}$$

Koefisien gesek dari *frame* dapat diperoleh dengan membandingkan nilai gaya gesek terhadap gaya normal yang bekerja.

$$\mu = \frac{F_k}{N} = \frac{19,62 \text{ N}}{100,14 \text{ N}} = 0,19$$

Gaya aktual yang bekerja menekan *disc* dapat dihitung seperti dibawah ini.

$$F_n = 19,62 \text{ N} - ((14,79 \text{ N} + 67,53 \text{ N})(0,19)) \\ = 19,62 \text{ N} - 15,3 \text{ N}$$

$$F_n = 4,312 \text{ N}$$

Massa dari beban aktual dapat dihitung sebagai berikut.

$$m = \frac{F_n}{g} = \frac{4,312 \text{ N}}{9,81 \text{ m/s}^2} = 0,44 \text{ kg}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Data

Pada perhitungan data ini, variable variasi *Slip Roll Ratio* 200%, 87,6354%, 5,7945% dengan menggunakan komposisi RBDPO-graphene (99,9% - 0,1%). Sebelum memulai pengujian variasi rpm, Tabel 2 menunjukkan data densitas dan viskositas lubricant dan spesimen yang digunakan sebelum pengujian.

Tabel 2. Densitas dan viskositas *lubricant* dan spesimen yang digunakan sebelum pengujian

Data Sebelum Pengujian		
Variasi 99,9% Lubricant – 0,1% Graphene		Densitas Baja (gr/mm ³)
Densitas (kg/m ³)	Viskositas (Ns/m ²)	
930,6	0,012206803	0,00785

1. Variasi Slip Roll Ratio 200%

Data yang didapatkan setelah melakukan pengujian dengan menggunakan variasi *slip roll ratio* 200% pada alat uji tribometer *Disc on Disc* dapat dilihat pada Tabel 3, 4 dan 5 di bawah.

Tabel 3 Data Pengujian Variasi *Slip Roll Ratio* 200%

Kecepatan Putar Disc 1 = 0rpm Kecepatan Putar Disc 2 = 650,2rpm				
Putaran Disc (rpm)		Waktu (s)	Beban (kg)	Putaran rata-rata (rpm)
Disc 1	Disc 2			
0	628,4	3600	0,44	314,2
0	626,5	3600	0,44	313,2
0	624,3	3600	0,44	312,1

Tabel 4 Data Pengujian Variasi *Slip Roll Ratio* 200%

Massa Awal (gr)			Massa Akhir (gr)		
Disc 1	Disc 2	Total	Disc 1	Disc 2	Total
254,7538	256,2479	511,0017	254,7486	256,2431	510,9917
254,7486	256,2431	510,9917	254,7427	256,2376	510,9803
254,7427	256,2376	510,9803	254,7363	256,2294	510,9657

Tabel 5 Data Pengujian Variasi *Slip Roll Ratio* 200%

Diameter Luar Disc (mm)		Diameter Dalam Disc (mm)		Tebal Disc (mm)	
Disc 1	Disc 2	Disc 1	Disc 2	Disc 1	Disc 2
50	50	20	20	19,9	19,95

Sebelum mendapatkan nilai koefisien gesek dan laju keausan, dicari terlebih dahulu massa yang hilang dari *Disc* 1. Setelah didapatkan nilai massa yang hilang, maka diameter luar pada *Disc* 1 akibat gesekan tiap jam pengujian bisa dihitung. Selanjutnya, pada massa *Disc* 1 yang hilang didapatkan hasil massa *Disc* 2 yang hilang, sehingga jari-jari *Disc* 2 ($R_{Disc\ 2}$) bisa didapatkan. Data hasil perhitungan massa yang hilang dan jari-jari lintasan gesekan *disc* dapat dilihat pada Tabel 6 dan 7 di bawah.

Tabel 6 Hasil Perhitungan Massa yang Hilang dan Jari-jari Lintasan Gesekan *Disc* pada Variasi Data Pengujian Variasi *Slip Roll Ratio* 200%

Massa Disc yang Hilang (gr)		Diameter Awal (mm)	
Disc 1	Disc 2	Disc 1	Disc 2
		50	50
49,05151	49,17476	49,7734527	49,8432215
		49,7729694	49,8427728

Langkah selanjutnya yaitu menghitung total jari jari *disc* pada setiap jam pengujian dengan cara menjumlahkan jari-jari *disc* 1 dan *disc* 2. Hasil dari total jari-jari *disc* pada setiap jam pengujian dapat dilihat pada tabel 7 di bawah

Tabel 7 Hasil Perhitungan Massa yang Hilang dan Jari-jari Lintasan Gesekan *Disc* pada Variasi Data Pengujian Variasi *Slip Roll Ratio* 200%

Diameter Akhir (mm)		Jari-jari Disc (mm)		
Disc 1	Disc 2	Disc 1	Disc 2	Total
49,773452	49,843221	24,8867	24,9216	49,8083
49,772969	49,842772	24,8864	24,9213	49,8078
49,772445	49,8421036	24,8862	24,9210	49,8072

$$R = R_{Disc\ 1} + R_{Disc\ 2}$$

$$= 24,88673\text{mm} + 24,92161\text{mm}$$

$$= 49,80834\text{mm}$$

$$\begin{aligned} R_{\text{selisih tot}} &= R_{\text{Awal}} - R \\ &= 50\text{mm} - 49,80834\text{mm} \\ &= 0,191662854\text{mm} \end{aligned}$$

A. Koefisien Gesek

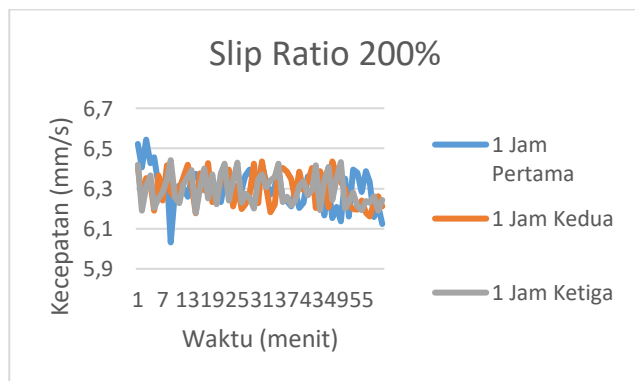
Untuk mendapatkan nilai koefisien gesek, terlebih dahulu mencari jari-jari lintasan dengan cara mengurangi jari-jari lintasan awal dengan akhir, selanjutnya yaitu mencari panjang lintasan yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 8 di bawah ini.

Tabel 8 Data Hasil Perhitungan pada Variasi Slip Rasio 200%

Total Jari-Jari Awal (mm)	Jari-Jari Lintasan (mm)	Panjang Lintasan (mm)
	0,191662854	5896836,927
50	0,19212891	5878014,145
	0,19272561	5857299,607

a. Kecepatan Linear (v)

Untuk mendapatkan nilai koefisien gesek, terlebih dahulu mencari kecepatan putar Disc didapatkan hasil seperti pada Gambar 17 di bawah ini.



Gambar 5 Grafik Kecepatan Linear Vs Waktu pada Slip Ratio 200%

b. Percepatan Linear (a)

Selanjutnya yaitu mencari percepatan putar Disc dan dipatkan beberapa hasil percepatan tertinggi seperti pada Tabel 9 di bawah ini.

Tabel 9 Data Percepatan dengan Beberapa Nilai Terbesar pada Slip Rasio 200%

Percepatan Disc pada Slip Rasio 200%		
1 Jam Pertama	1 Jam Kedua	1 Jam Ketiga

Menit ke-	Percepatan	Menit	Percepatan	Menit	Percepatan
8-9	0,005587	23-24	0,003073	1-2	0,003784
31-33	0,001284	29-30	0,003285	14-15	0,003567
51-52	0,003155	32-33	0,002094	44-45	0,003752
56-58	0,001922	43-44	0,003326	50-51	0,003881

C. Koefisien Gesek Kinetik (μ_k)

Selanjutnya yaitu mencari nilai koefisien gesek disc yang dapat dilihat pada Tabel 10 di bawah ini.

Tabel 10 Data Koefisien Gesek dengan Beberapa Nilai Terbesar pada Slip Rasio 200%

Koefisien Gesek Disc pada Slip Rasio 200%					
1 Jam Pertama		1 Jam Kedua		1 Jam Ketiga	
Menit ke-	Koefisien Gesek	Menit	Koefisien Gesek	Menit	Koefisien Gesek
8-9	$5,6951.10^{-6}$	23-24	$3,1325.10^{-6}$	1-2	$3,8572.10^{-6}$
31-33	$1,3088.10^{-6}$	29-30	$3,3486.10^{-6}$	14-15	$3,6361.10^{-6}$
51-52	$3,2161.10^{-6}$	32-33	$2,1346.10^{-6}$	44-45	$3,8247.10^{-6}$
56-58	$1,9592.10^{-6}$	43-44	$3,0015.10^{-6}$	50-51	$3,9566.10^{-6}$

B. Laju Keausan

Hasil data perhitungan laju keausan dapat dilihat pada Tabel 11 di bawah ini.

Tabel 11 Data Hasil Perhitungan pada Variasi Slip Rasio 200%

Perubahan Massa (kg)	Perubahan Massa Total (kg)	Volume Keausan (mm^3)	Laju Keausan (mm^3/Nm)
0,0100	0,01	1,27388535	$5,00066.10^{-8}$
0,0114	0,0214	2,72611465	$1,07357.10^{-7}$
0,0146	0,036	4,585987261	$1,81239.10^{-7}$

2. Variasi Slip Roll Ratio 87,6354%

Data yang didapatkan setelah melakukan pengujian dengan menggunakan variasi slip roll ratio 87,6354% pada

alat uji tribometer *Disc on Disc* dapat dilihat pada Tabel 12, 13 dan 14 bawah.

Tabel 12 Data Pengujian Variasi *Slip Roll Ratio* 87,6354%

Kecepatan Putar <i>Disc</i> 1 = 254rpm Kecepatan Putar <i>Disc</i> 2 = 650,2rpm				
Putaran <i>Disc</i> (rpm)		Waktu (s)	Beban (kg)	Putaran rata-rata (rpm)
<i>Disc</i> 1	<i>Disc</i> 2			
235,5	633,3	3600	0,44	434,4
235,6	632,9	3600	0,44	434,2
234,4	632,8	3600	0,44	433,6

Tabel 13 Data Pengujian Variasi *Slip Roll Ratio* 87,6354%

Massa Awal (gr)			Massa Akhir (gr)		
<i>Disc</i> 1	<i>Disc</i> 2	Total	<i>Disc</i> 1	<i>Disc</i> 2	Total
256,76 93	255,47 65	512,24 58	256,76 70	255,47 35	512,24 05
256,76 70	255,47 35	512,24 05	256,76 47	255,47 04	512,23 51
256,76 47	255,47 04	512,23 51	256,76 22	255,46 70	512,22 92

Tabel 14 Data Pengujian Variasi *Slip Roll Ratio* 87,6354%

Diameter Luar <i>Disc</i> (mm)		Diameter Dalam <i>Disc</i> (mm)		Tebal <i>Disc</i> (mm)	
<i>Disc</i> 1	<i>Disc</i> 2	<i>Disc</i> 1	<i>Disc</i> 2	<i>Disc</i> 1	<i>Disc</i> 2
50	50	20	20	19,9	19,9

Dari Tabel 12, 13 dan Tabel 14 diatas, maka dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai laju keausan dan koefisien gesek dan dari perhitungan juga didapatkan jari-jari lintasan gesekan *Disc* yang dapat dilihat pada Tabel 15,16, dan 17 di bawah.

Tabel 15 Hasil Perhitungan Massa yang Hilang dan Jari-jari Lintasan Gesekan *Disc* pada Variasi *Slip Roll Ratio* 87,6354%

Massa <i>Disc</i> yang Hilang (gr)	Diameter Awal (mm)
---------------------------------------	--------------------

<i>Disc</i> 1	<i>Disc</i> 2	<i>Disc</i> 1	<i>Disc</i> 2
		50	50
49,298	49,17476	49,9385225	49,8327998
		49,9383347	49,8325461

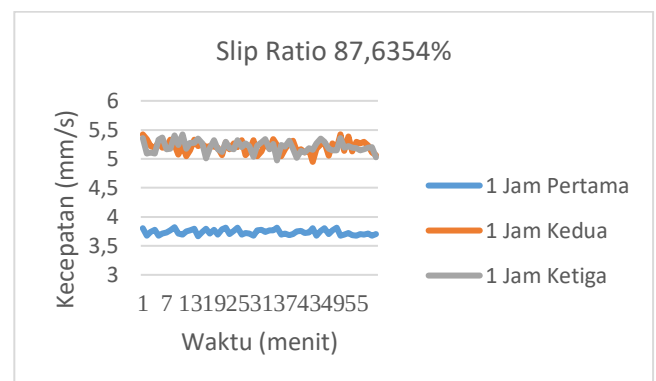
Tabel 16 Hasil Perhitungan Massa yang Hilang dan Jari-jari Lintasan Gesekan *Disc* pada Variasi *Slip Roll Ratio* 87,6354%.

Diameter Akhir (mm)		Jari-jari <i>Disc</i> (mm)		
<i>Disc</i> 1	<i>Disc</i> 2	<i>Disc</i> 1	<i>Disc</i> 2	Total
49,93852	49,83279	24,96926	24,91639	49,8856
49,93833	49,83254	24,96916	24,91627	49,8854
49,93813	49,83226	24,96906	24,91613	49,8851

Tabel 17 Data Hasil Perhitungan pada Variasi *Slip Roll Ratio* 87,6354%

Total Jari-Jari Awal (mm)	Jari-Jari Lintasan (mm)	Panjang Lintasan (mm)
	0,114339	8165380,80
50	0,11456	8162525,14
	0,114801	8150267,80

Selanjutnya, kecepatan putar *Disc* dapat dilihat pada Gambar 18 di bawah ini.



Gambar 6 Grafik Kecepatan Linear Vs Waktu pada Slip Ratio 87,6354%

Selanjutnya yaitu mencari percepatan putar *Disc* dan dipatikan beberapa hasil percepatan tertinggi seperti pada Tabel 18 di bawah ini.

Tabel 18 Data Percepatan dengan Beberapa Nilai Terbesar pada Slip Rasio 87,6534%

Percepatan <i>Disc</i> pada Slip Rasio 87,6534%					
1 Jam Pertama		1 Jam Kedua		1 Jam Ketiga	
Menit ke-	Percepatan	Menit	Percepatan	Menit	Percepatan
14-15	0,002116	8-10	0,002091	1-2	0,004595
25-26	0,001961	29-30	0,004602	15-17	0,002787
44-45	0,002226	34-36	0,002444	34-35	0,004675
50-51	0,002303	57-60	0,001229	38-40	0,001164

Selanjutnya yaitu mencari nilai koefisien gesek *disc* yang dapat dilihat pada Tabel 19 di bawah ini.

Tabel 19 Data Koefisien Gesek dengan Beberapa Nilai Terbesar pada Slip Rasio 87,6534%

Koefisien Gesek <i>Disc</i> pada Slip Rasio 87,6534%					
1 Jam Pertama		1 Jam Kedua		1 Jam Ketiga	
Menit ke-	Koefisien Gesek	Menit	Koefisien Gesek	Menit	Koefisien Gesek
14-15	2,1570.10 ⁻⁶	8-10	2,1315.10 ⁻⁶	1-2	4,6840.10 ⁻⁶
25-26	1,9990.10 ⁻⁶	29-30	4,6911.10 ⁻⁶	15-17	2,8410.10 ⁻⁶
44-45	2,2691.10 ⁻⁶	34-36	2,4913.10 ⁻⁶	34-35	4,7655.10 ⁻⁶
50-51	2,3476.10 ⁻⁶	57-60	1,2528.10 ⁻⁶	38-40	1,1865.10 ⁻⁶

Hasil data perhitungan laju keausan dapat dilihat pada Tabel 20 di bawah ini.

Tabel 20 Data Hasil Perhitungan pada Variasi *Slip Roll Ratio* 87,6354%

Perubahan Massa (kg)	Perubahan Massa Total (kg)	Volume Keausan (mm ³)	Laju Keausan (mm ³ /Nm)
0,0053	0,0053	0,675159	1,914.10 ⁻⁸
0,0054	0,0107	1,363057	3,866.10 ⁻⁸

0,0059 0,0166 2,11465 6,006.10⁻⁸

3. Variasi *Slip Roll Ratio* 5,7945%

Data yang didapatkan setelah melakukan pengujian dengan menggunakan variasi *slip roll ratio* 5,7945% pada alat uji tribometer *Disc on Disc* dapat dilihat pada Tabel 21, 22 dan 23 di bawah.

Tabel 21 Data Pengujian Variasi *Slip Roll Ratio* 5,7945%

Kecepatan Putar *Disc* 1 = 689rpm Kecepatan Putar *Disc* 2 = 650,2rpm

Putaran <i>Disc</i> (rpm)		Waktu (s)	Beban (kg)	Putaran rata-rata (rpm)
<i>Disc</i> 1	<i>Disc</i> 2			
664,7	633,9	3600	0,44	649,3
665,8	632,6	3600	0,44	649,2
666,6	631,5	3600	0,44	649,1

Tabel 22 Data Pengujian Variasi *Slip Roll Ratio* 5,7945%

Massa Awal (gr)			Massa Akhir (gr)		
<i>Disc</i> 1	<i>Disc</i> 2	Total	<i>Disc</i> 1	<i>Disc</i> 2	Total
257,5762	256,7685	514,3447	257,5752	256,7665	514,3417
257,5752	256,7665	514,3417	257,5739	256,7640	514,3379
257,5739	256,7640	514,3379	257,5719	256,7616	514,3335

Tabel 23 Data Pengujian Variasi *Slip Roll Ratio* 5,7945%

Diameter Luar <i>Disc</i> (mm)		Diameter Dalam <i>Disc</i> (mm)		Tebal <i>Disc</i> (mm)	
<i>Disc</i> 1	<i>Disc</i> 2	<i>Disc</i> 1	<i>Disc</i> 2	<i>Disc</i> 1	<i>Disc</i> 2
50	50	20	20	19,95	19,9

Dari Tabel 21, 22 dan Tabel 23 diatas, maka dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai laju keausan dan koefisien gesek dan dari perhitungan juga didapatkan jari-jari lintasan gesekan *Disc* yang dapat dilihat pada Tabel 24, 25, dan 26 di bawah.

Tabel 24 Hasil Perhitungan Massa yang Hilang dan Jari-jari Lintasan Gesekan Disc pada Variasi Slip Roll Ratio 5,7945%

Massa Disc yang Hilang (gr)		Diameter Awal (mm)	
Disc 1	Disc 2	Disc 1	Disc 2
		50	50
49,17476	49,0515	49,9518005	49,9384817
		49,9516947	49,9382776

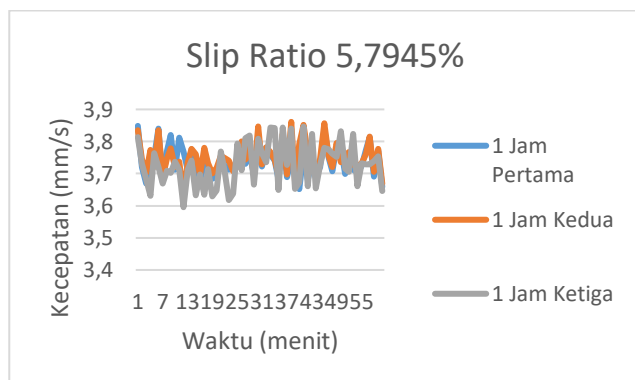
Tabel 25 Hasil Perhitungan Massa yang Hilang dan Jari-jari Lintasan Gesekan Disc pada Variasi Slip Roll Ratio 5,7945%

Diameter Akhir (mm)		Jari-jari Disc (mm)		
Disc 1	Disc 2	Disc 1	Disc 2	Total
49,95180	49,93848	24,9759	24,9692	49,9451
49,95169	49,93827	24,9758	24,9691	49,9449
49,95153	49,93808	24,9757	24,9690	49,94481

Tabel 26 Data Hasil Perhitungan pada Variasi Slip Roll Ratio 5,7945%

Total Jari-Jari Awal (mm)	Jari-Jari Lintasan (mm)	Panjang Lintasan (mm)
	0,054859	12219390,43
50	0,055014	12217470,58
	0,055193	12214603,82

Selanjutnya, kecepatan putar Disc dapat dilihat pada Gambar 7 di bawah ini.



Gambar 7 Grafik Kecepatan Linear Vs Waktu pada Slip Ratio 5,7945%

Selanjutnya yaitu mencari percepatan putar Disc yang dipatkan beberapa hasil percepatan tertinggi seperti pada Tabel 27 di bawah ini.

Tabel 27 Data Percepatan dengan Beberapa Nilai Terbesar pada Slip Rasio 5,7945%

Percepatan Disc pada Slip Rasio 5,7945%					
1 Jam Pertama		1 Jam Kedua		1 Jam Ketiga	
Menit ke-	Percepatan	Menit	Percepatan	Menit	Percepatan
6-7	0,002752	6-7	0,002449	24-25	0,002617
30-31	0,001274	36-37	0,002116	28-29	0,002548
36-37	0,00199	38-39	0,003079	34-35	0,003205
57-58	0,002072	59-60	0,001784	35-36	0,00323

Selanjutnya yaitu mencari nilai koefisien gesek disc yang dapat dilihat pada Tabel 28 di bawah ini.

Tabel 28 Data Koefisien Gesek dengan Beberapa Nilai Terbesar pada Slip Rasio 5,7945%

Koefisien Gesek Disc pada Slip Rasio 5,7945%					
1 Jam Pertama		1 Jam Kedua		1 Jam Ketiga	
Menit ke-	Koefisien Gesek	Menit	Koefisien Gesek	Menit	Koefisien Gesek
6-7	$2,8052.10^{-6}$	6-7	$2,4964.10^{-6}$	24-25	$2,6680.10^{-6}$
30-31	$1,2987.10^{-6}$	36-37	$2,1570.10^{-6}$	28-29	$2,5973.10^{-6}$
36-37	$2,0285.10^{-6}$	38-39	$3,1386.10^{-6}$	34-35	$3,2670.10^{-6}$
57-58	$2,1121.10^{-6}$	46-48	$1,1818.10^{-6}$	35-36	$3,2929.10^{-6}$

Hasil data perhitungan laju keausan dapat dilihat pada Tabel 29 di bawah ini.

Tabel 29 Data Hasil Perhitungan pada Variasi Slip Roll Ratio 5,7945%

Perubahan Massa (kg)	Perubahan Massa Total (kg)	Volume Keausan (mm ³)	Laju Keausan (mm ³ /Nm)
0,003	0,003	0,382166	$7,24 \cdot 10^{-9}$
0,0038	0,0068	0,866242	$1,64 \cdot 10^{-8}$
0,0044	0,0112	1,426752	$2,70 \cdot 10^{-8}$

4. KESIMPULAN

Simpulan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Nilai laju keausan paling rendah terjadi pada variasi slip rasio sebesar 5,7945%, dan nilai laju keausan paling tinggi terjadi pada variasi slip rasio sebesar 200% selama 180 menit. Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi slip rasio pada *disc* maka semakin besar nilai laju keausan yang dihasilkan.
2. Nilai koefisien gesek paling rendah terjadi pada variasi rasio sebesar 5,7945%, dan nilai koefisien gesek paling tinggi terjadi pada variasi slip rasio sebesar 200% selama 180 menit. Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai slip rasio pada *disc* akan menyebabkan tingginya nilai koefisien gesek yang dihasilkan.
3. Zat aditif *graphene* dapat mengurangi tingkat oksidasi pada saat terjadinya gesekan yang menyebabkan terjadinya kerusakan dan keausan yang terjadi ketika kedua *disc*, hal ini akan memperkecil nilai koefisien gesek dan laju keausan yang terjadi sehingga dapat memperpanjang masa *lubricant*. Tetapi dari pengujian yang telah dilakukan melalui *via photo capturing*, zat aditif *graphene* telah teroksidasi pada hari ke 2 yang menyebabkan munculnya endapan pada *lubricant*. Endapan tersebut dapat menghambat aliran minyak dan menyebabkan peningkatan gesekan dan keausan pada permukaan yang berkontak.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hasyim, Ummul Habibah. 2016. "Review: Kajian Adsorpsi Logam Dalam Pelumas Bekas Dan Prospek Pemanfaatannya Sebagai Bahan Bakar." *Jurnal Konversi* 5(1):11. doi: 10.24853/konversi.5.1.11-16.
- [2] Mahmud, Fajar Soni. 2019. "Proses Pengolahan CPO Menjadi RBDPO Di PT XYZ Dumai." *Jurnal UNITEK* 12(1):55–64.
- [3] Efri Mardawati, Mahdi Singgih Hidayat, Devi Maulida Rahmah, and SRosalinda. 2019. "Produksi Biodiesel Dari Minyak Kelapa Sawit Kasar Off Grade Dengan Variasi Pengaruh Asam Sulfat Pada Proses Esterifikasi Terhadap Mutu Biodiesel Yang Dihasilkan." *Jurnal Industri Pertanian* – 01:46–60. doi: Jurnal Teknik Pertanian.
- [4] Ningsih, Diara Fitria. 2023. "ADITIF GRAPHENE PADA RBDPO SEBAGAI LUBRICANT TERHADAP LAJU KEAUSAN DAN KOEFISIEN GESEK PADA WET CONTACT DISC - ON - DISC." Program Studi Sarjana Teknik Mesin Universitas Riau.
- [5] Berman, Diana, Ali Erdemir, and Anirudha V. Sumant. 2014. "Graphene: A New Emerging Lubricant." *Materials Today* 17(1):31–42. doi: 10.1016/j.mattod.2013.12.003.
- [6] Supriyana, Nana, Petrus Londa, Taufiq Hidayat, Jamari Jamari, and Sri Nugroho. 2013. "Kaji Eksperimental Running-in Pada Kontak Rolling-Sliding Pasangan Material Aluminium Dengan Baja S45C." *Rotasi* 15(2):18. doi: 10.14710/rotasi.15.2.18-23.
- [7] Simbolon, Reinhard Habinsaran. 2014. "Pengaruh High Slip-Roll Ratio Terhadap Keausan Baja Aisi 1065." 1(1):61–66.