

## RANCANG BANGUN ALAT UJI KEAUSAN BERBASIS SISTEM KONTAK *DISC-ON-DISC*

Ady Setiawan<sup>1</sup>, J. Jamari<sup>2</sup>, Marwan Effendy<sup>3</sup>, Dimas Ardiansyah<sup>4</sup>

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Jl. A. Yani, Pabelan, Kartasura, Tromol Pos 1, Kota Surakarta, Indonesia  
Adysetiawan890@yahoo.com<sup>1</sup>, jjamari123@yahoo.com<sup>2</sup>, marwaneffendy123@yahoo.com<sup>3</sup>,  
dimasardiansyah123@yahoo.com<sup>4</sup>

### Abstrak

Keausan merupakan fenomena hilangnya material dari permukaannya ke bagian yang lain atau Bergeraknya material pada suatu permukaan atau perpindahan permukaan dengan berjalannya waktu yang lama kelamaan keausan ini akan menimbulkan kerusakan pada komponen mekanik yang saling bergesekan. Untuk meningkatkan umur dari kerusakan komponen-komponen mekanik, maka permasalahan keausan ini perlu dikaji lebih lanjut. Didalam ilmu *tribology* para peneliti membagi proses terjadinya keausan akibat kontak mekanik tersebut menjadi tiga bagian, yaitu meliputi bahan, lingkungan, kondisi operasi, dan geometri permukaan benda yang terjadi keausan. Untuk mengetahui secara cepat kondisi dari keausan tersebut diperlukan alat uji tribometer. Penelitian ini difokuskan pada rancang bangun alat uji keausan berbasis sistem kontak *disc-on-disc*. Alat ini dipakai untuk menguji komponen yang terdiri dari dua piringan (*disc-on-disc*) dimana material tersebut dapat divariasikan jenisnya. Perancangan mekanisme sisi kontak permukaannya pada arah radial sehingga piringan tersebut dapat berputar (*rolling contact*) dan alat uji ini dapat divariasikan beban maupun putaran. Untuk itu metode perancangan konsep matrik dapat memberikan keputusan yang akan diambil, dengan metode ini semua konsep produk akan dinilai dari parameter konstruksi konsep, perancangan produk, dan konsep produk terbaik yang akan dikembangkan menjadi sebuah produk. Pengujian dilakukan secara eksperimen untuk mengetahui terjadinya keausan yang terjadi, mulai dari kondisi awal hingga kondisi kontinyu. Hasil rancangan menunjukkan bahwa alat uji layak digunakan untuk menentukan parameter – parameter keausan yang terjadi. Dengan variasi jumlah putaran (maksimal 2800 rpm), gaya tekan hingga 1000 MPa, dan kecepatan putaran spesimen yang dapat diatur, maka gaya gesek pada permukaan spesimen dapat diketahui, sedangkan variabel yang diukur adalah koefisien akibat dari *rolling contact*.

**Kata kunci:** *wear, friction, rolling contact, disc-on-disc.*

### PENDAHULUAN

Dalam dunia permesinan secara luas bahwa roda kereta api dan rel mengalami kerusakan permukaan seperti keausan dan kelenturan kontak bergulir dalam proses servis interaksi roda/rel. Meskipun retakan roda/rel dan perbaikan material telah menurunkan tingkat keausan dari kedua elemen, keausan mungkin masih merupakan masalah yang relatif besar terutama pada jalur kereta api. Akan menjadi lebih serius jika terjadi kegagalan dalam pelumasan. Keausan roda kemudi

dan sudut pengukur rel merupakan keutamaan (*main cost*) dalam pemeliharaan kereta api. Oleh karena itu, penyelidikan perilaku penggunaan roda/rel dan simulasi evolusi profil roda/rel sangat penting dan signifikan untuk mengembangkan teknologi pemeliharaan rel yang optimal, dimana keseimbangan antara pelumasan roda/rel, penggerusan rel dan putaran periode yang dijadwalkan harus sepatutnya [1].

Penggunaan roda / kereta api telah dipelajari secara ekstensif melalui penelitian laboratorium dan di lapangan.

Penelitian di lapangan dilakukan dengan mengumpulkan sejumlah besar data keausan roda/rel di jalur pengkeretapian, namun banyak mengalami kesulitan. Selain hal tersebut, alasan biaya dalam penelitian lapangan memaksa peneliti untuk melakukan tes laboratorium, jika memungkinkan [2].

Dalam tes laboratorium [3], tingkat keausan secara tipikal diukur dengan menggunakan *disc-on-disc* dan *disc* skala kecil, dan koefisien gesek pada berbagai kondisi kontak dan beban juga diketahui. Gesekan dan pada kontak bergulir dan geser seperti pada kontak rel roda. Keausan roda dan relnya memerlukan investigasi lebih lanjut terhadap perilaku gesekan dan keausan pada kontak roda-ke-rel. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang penyebabnya (friksi), akan memungkinkan untuk meletakkan konstruksi yang tepat pada efek (keausan) dan secara efektif melawan kerusakan pada komponen sistem [4].

Dalam merancang suatu mesin tribometer yang saling bergerak secara relatif antara satu dengan yang lainnya, maka perlu dilakukan pengukuran volume keausan atau laju keausan dan besarnya gaya gesek yang terjadi pada dua kontak permukaan yang saling bergerak relatif. Sementara umur elemen mesin dapat ditentukan dengan cara pengukuran geometris. Untuk mengukur tingkat keausan akibat gesekan dan besar koefisien gesek yang terjadi dapat digunakan alat uji tribometer jenis *disc-on-disc*. Alat uji tribometer yang ada saat ini terbatas untuk pembebanan 500 MPa. Pada penelitian akan dikembangkan alat uji tribometer jenis *disc-on-disc* dengan pembebanan hingga 1000 MPa.

## TINJAUAN PUSTAKA

Menggunakan metode Hertz untuk menentukan keausan kontak dalam simulasi keausan roda merupakan permasalahan antara perhitungan efisiensi dan akurasi, tetapi validasi diperlukan untuk

membandingkan hasil simulasi dengan bidang yang diukur di lapangan [5].

Menentukan volume keausan roda digunakan untuk mengembangkan persamaan keausan berdasarkan model Archard dan mempertimbangkan faktor masa dari roda untuk memperkirakan pengaruh rasio creep, tekanan kontak dan kecepatan tangensial pada tingkat keausan tertentu. Hasil penelitian dibandingkan dengan hasil tes yang dilakukan di laboratorium. Telah mengalami perbedaan yang cukup kecil antara previsi dan tes laboratorium. Mekanisme keausan dibahas dan dibandingkan dengan roda kereta api nyata menganalisis retakan kelelahan dan efek pengerasan regangan di bawah permukaan kontak terhadap roda dan rail [6].

Roda dan rel. Mempunyai kekuatan *creep* yang disebut *Creep Tester* seperti *twin-disc rolling contact*, Seiring dengan sejumlah fitur lainnya, seperti waktu pengukuran dan kemampuan untuk mengatur kekuatan normal, perangkat ini memudahkan dalam memastikan parameter yang mempengaruhi karakteristik gaya *creep* terhadap kontak roda [7].

Mengetahui tekanan kontak dalam sistem roda rel dengan metode ultrasonik cara memindai daerah kontak yang dengan *probe* terfokus 10MHz dimungkinkan untuk menentukan variasi dalam refleksi gelombang ultrasonik, parameter yang diketahui terkait dengan keadaan kontak dari dua permukaan yang bersentuhan. Proses kalibrasi juga telah diatur, menerapkanteknik yang sama untuk kontak elastoplasma '*sphere versus plate*' sederhana, menggunakan model FEM numerik untuk menghitung tekanan kontak untuk digabungkan dengan nilai-nilai refleksi yang terukur [8].

Metode pengujian *sliding* kembar telah dikembangkan untuk menilai efek residu dari berbagai kontaminan. Uji telah dilakukan pada berbagai nilai slip dan kurva *creep* telah dihasilkan. Pengujian kering, basah, dan minyak memberikan

koefisien traksi dalam rentang yang serupa dengan pengujian sebelumnya. Kondisi kering memberi yang tertinggi nilai air dan minyak memberikan nilai yang lebih rendah [9].

### METODE PENELITIAN

Pendekatan rancang bangun, tahap perancangan produk ini ada beberapa pemilihan konsep dengan metode matrik ini untuk menentukan keputusan beberapa konsep.

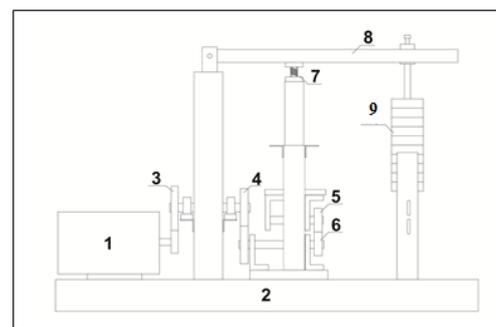
1. Alat dan bahan
2. Pembuatan mesin uji keausan
3. Persiapan dan peralatan
4. Pengujian mekanik
5. Verifikasi alat uji sesuai dengan fungsinya

Berikut ini adalah data pemilihan onsep desain dari penelitian sebelumnya dengan beberapa desain.

Tabel. 1. Matrik Keputusan Untuk Pemilihan Konsep Percancangan Alat Uji Keausan.

Kriteria	Wt %	K1	K2	K3	K4
Putaran Motor	10	10	10	10	10
Putaran Spesimen bisa di monitor	10	10	10	10	10
Perubahan Putran spesimen masing-masing berbeda.	10	10	10	10	10
Ukuran Spesimen konstan	8	8	4	8	8
Beban Tekan bisa di atur	7	5	7	7	7
Putaran Beban torsi	8	8	5	0	0
Antisipasi	6	5	6	5	0

poros bending					
Mengurangi slip	8	8	5	0	4
spesimen Disk kembar	10	10	10	10	10
Sistem Pelumasan	7	6	0	0	0
Mudah Dalam Pengoprasiaan	7	7	4	7	5
Biaya pembuatan murah	6	5	0	5	5
Mudah dalam pembuatan	10	10	0	0	10
Ergonomis	8	5	6	7	5
Praktis penggunaan	8	8	3	8	8
Mudah dalam pemeliharaan	7	7	5	6	7
Adanya Sensor	10	10	10	10	10
<b>Jumlah</b>	<b>150</b>	<b>138</b>	<b>101</b>	<b>113</b>	<b>119</b>



Gambar 1. Skema rancangan mesin Uji Keausan *Disc-on-Disc*

Keterangan :

1. Motor Penggerak
2. Frame
3. Roda Gigi Pembagi
4. Roda Gigi Pembagi
5. Rail spesimen

6. *Wheel* Spesimen
7. Pegas
8. Batang Penghubung Beban
9. Pemberat

### Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat untuk memverifikasi alat uji Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta dan Laboratorium Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang. Waktu penelitian dilakukan 3 bulan untuk mendapatkan data.

### Alat dan Bahan

1. Satu buah motor AC 3 phasa, 1 Hp.
2. Timbangan.
3. *Tachometer*.
4. *Spaner*
5. Holder
6. Roda Pembagi
7. *Switching regulator*: 12 V, 2 Ampere.
8. Beban maksimal 20 kg
9. Kabel: 4 wired, 4 color, diameter 0,4 mm dan 1,5 mm.
10. Variable frequency Drive (VFD/Inverter), 3 phasa, 1,5 Hp.
11. Material spesimen VCL 140 dan EMS 45

### Perancangan Produk

Pada tahapan perancangan produk, sistem dibagi menjadi:

- a. Perancangan sistem mekanisme mesin uji keausan.
- b. Perancangan sistem mekanisme dilakukan berdasarkan fungsi utama dari mesin uji keausan
- c. yaitu menguji pasangan *disc-on-disc* untuk memperoleh koefisien gesek.
- d. Perancangan sistem mekanisme beban.
- e. Perancangan sistem display.
- f. Perancangan sistem beban tekan.

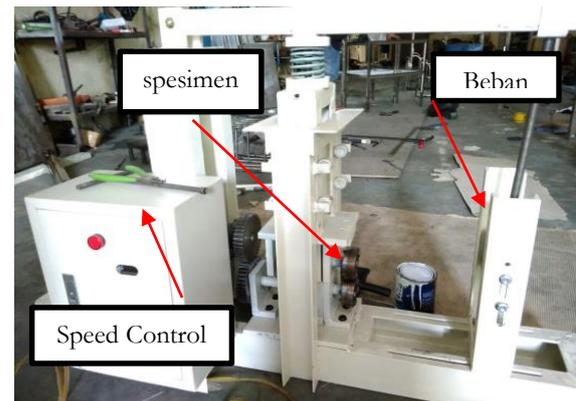
### Pengujian alat uji keausan

Hasil rancangan tersebut dapat berfungsi sesuai dengan yang di butuhkan Pengujian terhadap sebuah hasil rancangan diperlukan untuk menjamin bahwa keausan dapat di ketahui pada spesimen. Pada penelitian ini metode yang digunakan

untuk metode eksperimen menguji hasil rancangan.

### Persiapan peralatan dan bahan

Pada tahap pembuatan sistem mekanisme, putaran poros spesimen menggunakan transmisi roda gigi pembagi untuk menghindari slip, sistem ini digunakan agar slip pada poros sekecil mungkin dan tetapi kebisingan cukup tinggi.



Gambar 2 Hasil Rancangan Uji Keausan

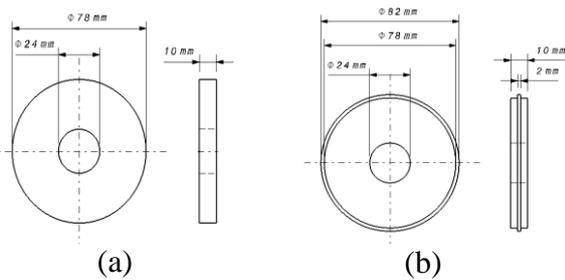


(a)



(b)

Gambar 3. *disc-on-disc* tribometer ; (a) sampel *disc* atas dan bawah yang beroperasi, (b) Alat Pengukur Kontak dengan Profilometer (c) alat pengukur profilometer, yang dipasang di atas *disc* tes.



Gambar 4. (a), Spesimen *Wheel* (b) Spesimen *Rail*

Tabel. 2 Parameter Kekasaran Permukaan Spesimen Matrial EMS 45 (AISI 4140)

Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rq ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )	Rt ( $\mu\text{m}$ )	Rp ( $\mu\text{m}$ )	Rv ( $\mu\text{m}$ )
0.5555	0.6699	3.095	4.059	1.496	1.600

### Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian mengikuti tahapan-tahapan sebagai berikut:

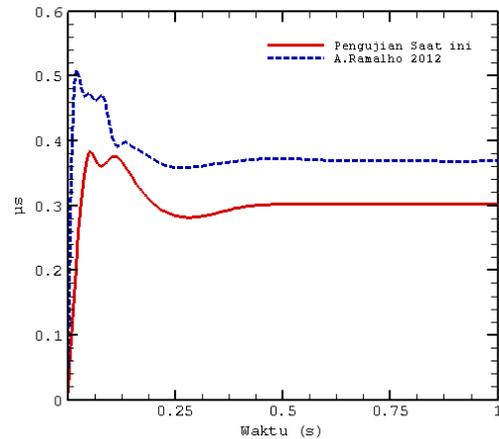
- Mengukur kekerasan spesimen.
- Menentukan slip rasio dengan mengatur perbandingan jumlah putaran melalui *speed control*. Slip rasio dapat dihitung dengan persamaan model Archard (Meriam J. L., 2002):

$$S = \frac{R_w \cdot W_w - R_r \cdot W_r}{R_w W_w} \times 100\% \quad (1)$$

- Mengatur beban tekan ( $F_N$ )
- Menentukan Koefisien Gesek
- Menentukan *Speed Control* Pada Alat Uji Dengan Persamaan sebagai berikut.

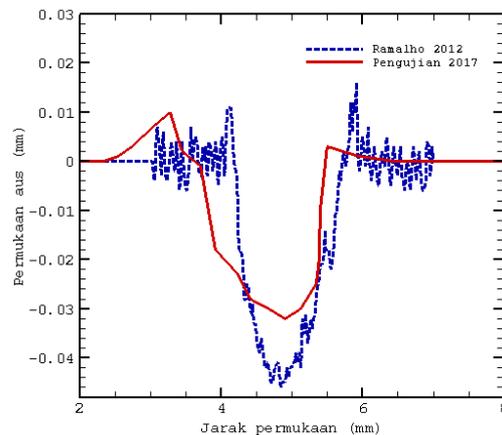
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil eksperimen yang berisikan memverifikasikan alat uji dengan peneliti sebelumnya telah dilakukan pada hasil rancangan mesin uji keausan berbasis sistem kontak *disk-on-disk* yang dapat tunjukan sebagai berikut.



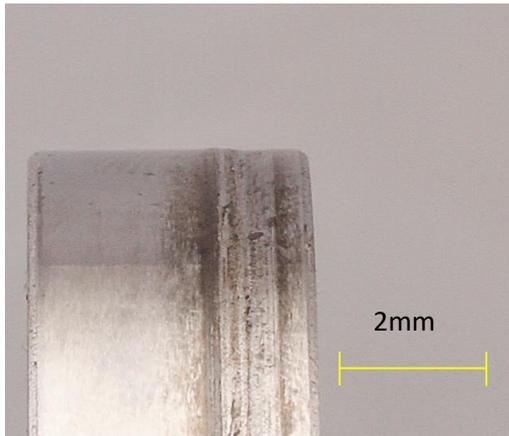
Gambar 5. Verifikasi Koefesien Gesek Alat uji *disc-on-disc* 1000 MPa

Setelah melakukan kalibrasi dengan alat uji sebelumnya yang sudah dilakukan, maka alat ini layak di gunakan untuk melakukan pengujian keausan dengan sistem kontak dengan berbasis *disc-on-disc* dan koefisien gesek menjukan 0,4 dan di bandingkan peneliti sebelumnya 0,5.

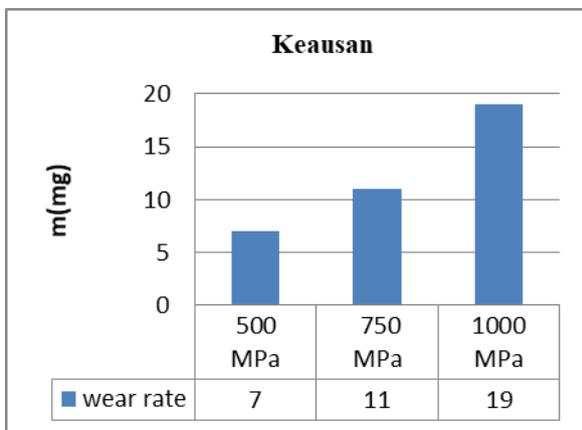


Gambar 6. Verifikasi Profil Kontak Keausan berbasis kontak *disc-on-disc* 1000MPa

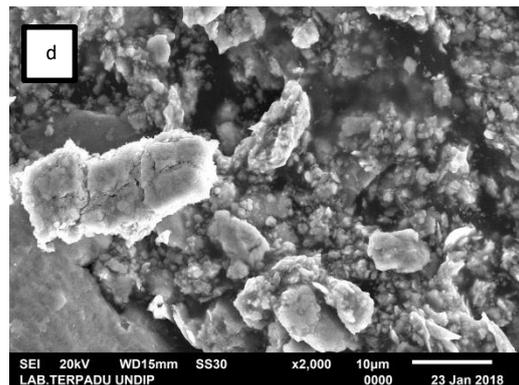
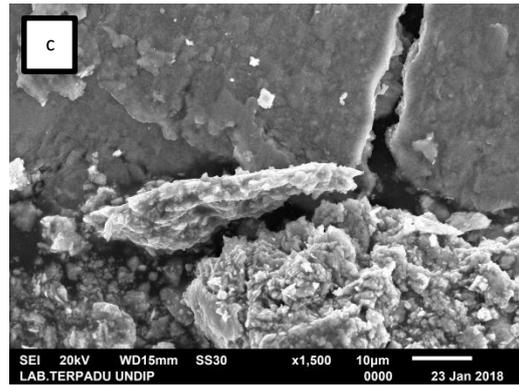
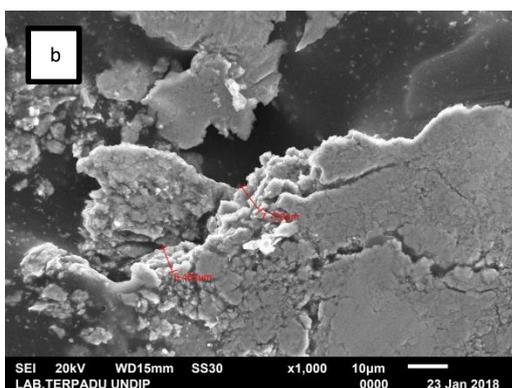
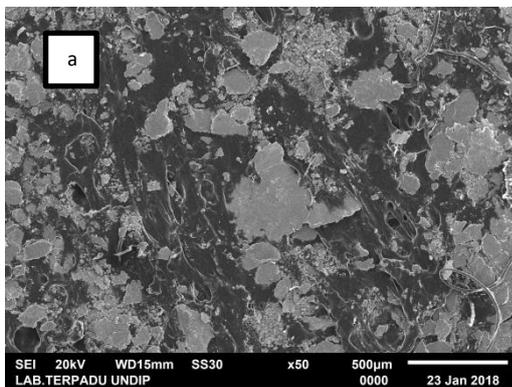
Gambar 6 verifikasi profil kontak alat uji, menunjukkan spesimen mengalami tergerus nya akibat gesekan dan deformasi plastik 0.01 mm kedalaman tergerus 0.03 mm. Sehingga alat uji layak di gunakan sebagai pengujian keausan sistem kontak berbasis *disc-on-disc*.



Gambar 7. Cacat akibat gesekan pada spesimen



Gambar. 8 Keausan Dengan Kecepatan 1 m/s Tekanan Hingga 1000 Mpa



Gambar 9. Struktur mikro puing-puing yang di peroleh dari SEM a) pembesaran objek 50x, b) pembesaran objek 1000x, c) pembesaran objek 1500x, d) pembesaran objek 2000x.

Gambar 9 Menjelaskan struktur metalurgi puing – puing hasil *gesekan rolling contact disc-on-disc* tekanan 1000 MPa kecepata 1m/s yang di peroleh dari SEM (*scanning electron microscopes*) puing-puing dari gesekan *rolling contact* ukuran tidak sama besar, bentuk ukuran dari puing itu sendiri tidak sama ada yang bentuknya butiran dan lempengan ini di akibatkan pembeban *contact rolling* tidak simteris dengan berjalannya waktu temperatur naik sendiri sehingga matrial mengalami deformasi plastik.

#### Keutamaan alat uji

Keutamaan dari alat uji keausan ini diantaranya :

- Dapat menghasilkan koefisien gesek dari *contact rolling*
- Lama waktu pengujian yang dapat ditentukan dan daya tahan aus permukaan benda uji dengan berbagai

variasi bahan dapat dengan mudah terdeteksi.

- c. Pengujian dilakukan dengan mudah dan cepat terutama pergantian spesimen.
- d. Benda uji tidak harus berukuran besar.
- e. Perubahan tekanan, kecepatan dan jarak beban dapat dibuat dengan mudah dengan jarak yang begitu lebar.

### **Kekurangan alat uji**

Kekurangan dari alat uji keausan ini diantaranya :

- a. Pengukuran koefisien gesek yang begitu kurang sempurna dikarenakan alat yang di butuhkan sangat mahal dan sulit untuk di dapatkan.
- b. Penerus daya yang digunakan adalah roda gigi sehingga menimbulkan suara.
- c. Terdapat getaran jika proses pengujian berlangsung
- d. Masih ada kebocoran arus listrik sehingga pada saat pengujian berlangsung

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

### **Kesimpulan**

Berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukan pada rancang bangun alat uji keausan berbasis sistem kotak *disc-on-disc* maka dapat disimpulkan:

- a. Mesin hasil rancang bangun alat uji keausan berbasis sistem kontak *disc-on-disc* telah di validasi, maka mesin ini layak di gunakan untuk menguji keausan pada spesimen *disc-on-disc* dengan ukuran diameter minimal 78 mm maksimal 150 mm, putaran yang dapat di variasikan mulai dari 0 hingga 280 rpm, dan tekanan dapat di variasikan 500 MPa hingga 1000 MPa
- b. Komponen utama mesin uji ini terdiri dari ,mesin tribometer, *speed control* ,*inverter*, dan jumlah tekanan. Hasil data yang akan di validasi adalah koefisien gesek ( $\mu_G$ ) dan profil kontak yang dari akhir gesekan.
- c. Hasil pengujian menunjukan koefisien gesek tekanan hingga 500 MPa

dengan kecepatan 1m/s adalah 0,4 % lebih tinggi dari Tekanan 1000 MPa 0,8%, dan ini menyebabkan koefisien gesekan dari gesekan rolling contact terkikisnya matrial di daerah permukaan disk dan geser gesekan untuk kekuatan tekanan 1000 MPa dan kekasaran permukaan lebih kasar dari tekanan 500 MPa. Koefisien gesekan mulai dari 0,4 ke 0.25 dalam kondisi *rolling contact* dengan slip rasio 0,2% dari kecepatan *disc*.

- d. Keausan pengurangan matrial akibat gesekan *rolling contact* Tekanan 500 MPa, kecepatan 1m/s, 30.000 siklus dan waktu 240 menit. pengurangan matrial sebanyak 0,3%, namun dengan tekanan 1000 MPa adalah 0,8 %, dapat di simpulkan bahwa nilai keausan semakin tekanan yang besar maka hilang matrial akibat gesekan semakin besar.
- e. Struktur mikro yang di peroleh dari SEM dengan variabel matrial tanpa berpelumas ukuran butiran puing tidak sama, dan bentuk puing ada yang berbentuk lempengan di sebabkan Gaya tekanan pada spesimen tidak simetris, dan matrial mengalami perubahan temperatur dari akibat gesekan. Sedangkan puing berpelumas grafit puing dan grafit tidak homogen dengan material AISI 4140.

### **Saran**

- a. Pengukuran koefisien gesek yang begitu kurang sempurna di karenakan alat yang di butuhkan sangat mahal dan sulit untuk di dapatkan maka alat ini untuk lebih di sempurnakan nantinya.
- b. Getaran dan suara yang sangat keras di akibatkan pergerakan transmisi pada roda gigi proses pengujian berlangsung, maka untuk itu penggerak seharusnya menggunakan *pulley* dan *belt* getaran dan suara berkurang.
- c. Masih ada arus hubungan pendek pada saat pengujian berlangsung,

maka alat perlu di tambahkan ground masa.

wheel/rail adhesion,” vol. 265, pp. 1309–1316, 2008.

## REFERENSI

- [1]. Y. Jin, M. Ishida, and A. Namura, “Experimental simulation and prediction of wear of wheel flange and rail gauge corner,” *Wear*, vol. 271, no. 1–2, pp. 259–267, 2011.
- [2]. R. H. I. JmcEwen, “Full scale wheel-on rail wear testing,” *Wear*, 2003.
- [3]. K. DangVan M.H.Maitournam, “On some recent trends in modelling of contact fatigue and wear in rail,” *Wear*, vol. 253, no. 1–2, pp. 219–227, 2002.
- [4]. A.ShebaniS.Iwnicki, “Prediction of wheel and rail wear under different contact conditions using artificial neural networks,” *Wear*, vol. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2018.05.010>, 2018.
- [5]. G. Tao, Z. Wen, X. Zhao, and X. Jin, “Author’s Accepted Manuscript Wear Simulation Reference: To appear in: *Wear*,” *Wear*, 2016.
- [6]. A.Ramalho, “Wear modelling in rail–wheel contact,” *Wear*, vol. 330–331, pp. 524–532, 2015.
- [7]. H. Doi, T. Miyamoto, Y. Nishiyama, S. Ohe, and H. Kamachi, “A new experimental device to investigate creep forces between wheel and rail,” *Wear*, vol. 271, no. 1–2, pp. 40–46, 2011.
- [8]. M. Pau, F. Aymerich, and F. Ginesu, “Distribution of contact pressure in wheel – rail contact area,” vol. 253, pp. 265–274, 2002.
- [9]. R. Lewis, “Twin disc assessment of