

**ANALISA KEAUSAN *POINT CONTACT* MENGGUNAKAN TRIBOMETER
PIN-ON-DISC DAN PEMODELAN *GLOBAL INCREMENTAL WEAR MODEL* DENGAN
VARIASI PEMBEBANAN**

Ahmad Ghufron, Imam Syafa'at*, Darmanto

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim

Jl. Monoreh Tengah X/22 Sampangan, Semarang 50236

*Email: imamsyafaat@unwahas.ac.id

Abstrak

Keausan tidak dapat dihindari ketika dua benda yang bersinggungan satu sama lain. Kontak yang terjadi antara dua benda dapat berupa titik (point), garis (line), ataupun elips. Analisis terhadap keausan dapat dicari menggunakan beberapa metode diantaranya secara analitik dan penelitian secara eksperimental. Tribometer pin-on-disc adalah alat untuk mengetahui kedalaman dan volume keausan serta pengaruh pembebanan pada keausan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keausan bola baja yang digesekkan dengan disc. Kedua material terbuat dari baja untuk aplikasi bantalan. Variasi pembebanan yang digunakan adalah 10, 8, dan 6 N. Diameter keausan bola diukur pada waktu tertentu. Hasil pengukuran ini untuk input perhitungan tinggi aus. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa pada beban 6 dan 8 N perhitungan keausan mendekati prediksi analitik GIWM.

Kata kunci: *GIWM, keausan, point contact, pin-on-disc*

1. PENDAHULUAN

Keausan dianggap sebagai fenomena kegagalan utama dalam sistem tribologi dan didefinisikan sebagai hilangnya material dari permukaan bersinggungan di dalam gerakan relatif yang dikendalikan oleh sifat material (kekerasan, daktilitas, sifat termal, dll), lingkungan (jenis pelumas, suhu), kondisi operasional (topografi permukaan, beban, kecepatan) dan geometri dari permukaan yang bersinggungan. Pada hampir semua proses dan peralatan mekanik terutama saat komponennya bekerja, terjadi kontak satu sama lain yang dapat berupa kontak statis (*static contact*), *sliding contact*, atau *rolling contact*. Dalam skala besar informasi ini mungkin berguna dalam menganalisa gesekan (*friction*), keausan (*wear*), pelumasan (*lubrication*), dan sebagainya. Tribologi diantaranya membahas mengenai keausan dua benda yang bersinggungan satu sama lain yang dapat berupa titik (*point*), garis (*line*), dan *elips*.

Cracaoanu (2010) melakukan percobaan keausan menggunakan tribometer *pin-on-disc* dengan bahan *ball bearing* berdiameter 10 mm sebagai spesimen. Dengan menggunakan variasi pelumasan dengan jenis berbeda yaitu HVI60, EZL799, dan Vitrea160. Kecepatan sliding 0.005 m/s, dan pembebanan sebesar 15 N. dari hasil eksperimen ketiga pelumas tersebut HVI 60 mempunyai *wear depth* paling tinggi, diikuti Vitrea150 dan paling rendah adalah EZL799.

Hegadekatte (2006) telah melakukan percobaan *pin-on-disc* dengan material silikon nitrida dengan silikon nitrida pada beban normal bervariasi 200 mN, 400 mN dan 800mN dengan mengkomparasi pemodelan GIWM dan Sarkar (1980). Nilai koefisien keausan berdimensi yang digunakan GIWM adalah $k_D = 13.5 \times 10^{-9} \text{ mm}^3/\text{N.mm}$, dan untuk Sarkar adalah $k_D = 10,2 \times 10^{-9} \text{ mm}^3/\text{N.mm}$. Hasil komparasi antara eksperimen dan GIWM menunjukkan hasil yang mendekati pada pembebanan 200mN dan pada pembebanan 800mN nilai GIWM cenderung lebih tinggi. Hasil prediksi GIWM berhasil mendekati eksperimen pada pembebanan yang lebih rendah. Pada komparasi dengan Sarkar dimana faktor gesekan (μ) dimasukkan hasilnya adalah pada tiga pembebanan nilai Sarkar semua mendekati GIWM.

Pemodelan Keausan *Steady State* telah dilakukan oleh Syafa'at (2010). Pemodelan analitik keausan *steady state* memperlihatkan laju keausan telah konstan pada kisaran $2,44\text{E-}08 \text{ mm/mm}$ dengan fluktuasi dibawah 15% yang tidak berubah pada peningkatan jarak *sliding (s)* fase *steady state* dimulai pada $s = 80405 \text{ mm}$. Pemodelan FEA menghasilkan tekanan kontak (p) yang telah konstan pada kisaran 63,82 MPa dengan fluktuasi dibawah 2% dan laju keausan yang stabil sebesar $1,72\text{E-}08 \text{ mm/mm}$ dan fluktuasi dibawah 2%. Fase *steady state* dimulai pada $s = 80405 \text{ mm}$. Hasil Validasi pemodelan dengan eksperimen memperlihatkan permukaan telah konformal dengan perbandingan radius awal dan radius akhir sebesar 0,0566 mulai jarak *sliding (s)* 72000 mm.

Maulana (2012) melakukan penelitian tentang Analisa Keausan *Steady state* pada kontak *Pin-On-Disc* dengan simulasi elemen hingga. Pin yang diberi *load* berupa gaya 15 N diletakkan di atas *disc*. Kontak sliding yang terjadi antara baja dengan baja ini disederhanakan menjadi model 2D dengan input sifat-sifat material berbantuan software ABAQUS. Hasil simulasi berupa tekanan kontak rata-rata digunakan untuk menghitung keausan Model Archard (1953). *Updating geometry* dilakukan untuk mengetahui besarnya keausan yang terjadi pada pin. Hasil pemodelan menunjukkan jari-jari kontak mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya jarak *sliding*. Pada tahap awal, peningkatan jari-jari kontak sangat tajam, kemudian mencapai kestabilan. Keausan yang terjadi juga meningkat tajam pada tahap awal kemudian mengalami kestabilan setelah menempuh jarak *sliding* 54629 mm. Hasil komparasi FEM dengan model analitik GIWM Hegadekatte (2006) memperlihatkan kecenderungan serupa. Fenomena kestabilan aus ini memperlihatkan bahwa sistem telah berada dalam fase *steady state* setelah melewati *running-in* dalam aplikasi pemesinan.

Rohadi (2013) menganalisa Keausan Baja St.40 Menggunakan Tribotester *Pin-On-Disc* dengan Variasi Kondisi Pelumas. Pada pengujian pin dengan variasi pelumas didapatkan penurunan berat pin yang besar pada pengujian pin dengan variasi tanpa pelumas sebesar 3,74 g. Sedangkan penurunan berat pin yang kecil sebesar 0.03 g terdapat pada pengujian pin menggunakan pelumas SAE 40 dan 0,02 g pada pengujian menggunakan pelumas SAE 140. $\text{mm}^3/\text{N.m}$. Faktor keausan yang besar terdapat pada pengujian tanpa pelumas sebesar $26,9 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{N.m}$. sedangkan faktor keausan yang kecil terdapat pada pengujian menggunakan pelumas SAE 140 sebesar $0,4 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{N.m}$.

Penelitian ini secara garis besar berisi tentang analisa keausan *point contact* secara analitik menggunakan pemodelan *Global incremental wear model* (GIWM) oleh Hegadekatte (2006). Tujuan penelitian ini adalah membandingkan hasil perhitungan kedalaman aus secara analitik menurut GIWM dengan hasil penelitian secara eksperimental menggunakan tribometer *pin-on-disc* serta pengaruhnya variasi pembebanan pada keausan.

2. METODOLOGI

2.1 Bahan penelitian

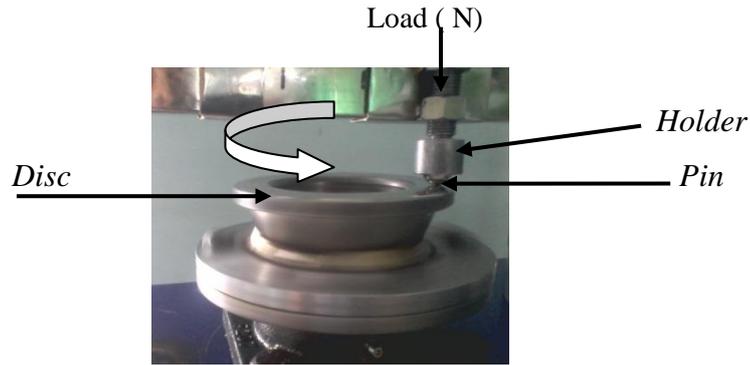
Untuk mengetahui pengaruh keausan secara makroskopik, material yang digunakan adalah baja dengan spesifikasi bantalan. Ukuran selengkapnya seperti dalam Tabel 1 berikut ini :

Tabel 1 Spesifikasi pin dan disc

| Spesimen | Ukuran (m) | Bahan | Kekerasan |
|---------------------|-------------------------------|------------|-----------|
| <i>Ball bearing</i> | $R = 7,25 \cdot 10^{-3}$ | AISI 52100 | 55 HRC |
| <i>Disc</i> | Diameter = $90 \cdot 10^{-3}$ | AISI 52100 | 55 HRC |

2.2 Tribometer *Pin-On-Disc*

Mesin uji keausan menggunakan tribometer *Pin-On-Disc* seperti pada Gambar 1, Alat uji tribometer jenis *pin-on-disc* adalah konfigurasi lain yang telah digunakan secara luas untuk mempelajari keausan. Cara kerjanya adalah Sebuah pin diberi beban terhadap piringan datar (*disc*), kemudian disc diputar dengan motor yang diatur kecepatannya menggunakan inverter dan di *setting* dengan kecepatan konstan. Dilakukan empat kali pengukuran untuk mengetahui diameter aus pada pin menggunakan foto mikro pada setiap spesimen yaitu pada menit ke 15, 30, 60 dan 150. Parameter uji yang telah digunakan dengan uji ini bervariasi, yang tidak menentukan penggunaan ukuran pin, tidak menentukan nilai-nilai tertentu sebagai parameter, tetapi memungkinkan dipilih oleh penguji untuk memberikan simulasi pada sebuah aplikasi. Parameter yang dapat digunakan bervariasi antara ukuran dan bentuk pin, beban, kecepatan, dan material. Uji ini juga dapat dilakukan dalam suhu ruangan dan dengan pelumasan. Tes tidak boleh berhenti ditengah-tengah proses pengujian keausan dan me-*restart* kembali, karena potensi masalah dengan keselarasan, gangguan serpihan di lapisan permukaan, dan mengakibatkan masuknya kontaminasi (Bayer, 2004).

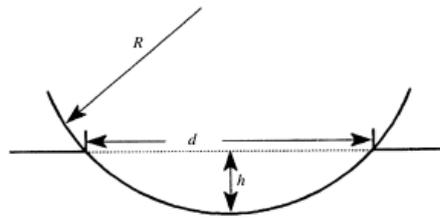


Gambar 1. Tribometer *pin-on-disc*

2.3 Tahapan Penelitian

a. Pengujian keausan

Pengujian dilakukan menggunakan tiga spesimen dengan pembebanan berbeda-beda yaitu 10 N, 8 N, dan 6 N. Untuk mengetahui ukuran diameter aus pada setiap spesimen dilakukan foto mikro pada menit ke 15, 30, 60, dan 150. Perhitungan keausan eksperimen menggunakan perhitungan dari Stachowiak (2005), yang memformulakan perhitungan eksperimen untuk menganalisa keausan dengan diameter kontak aus sebagai parameter, ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diameter kontak keausan (d) (Stachowiak, 2005)

$$h = \frac{D}{2} - \frac{1}{2}[D^2 - d^2]^{1/2} \quad (1)$$

Pada Pers. (1), h adalah dinggi keausan (m), D adalah diameter pin (m), dan d adalah diameter kontak keausan (m).

b. Prosedur GIWM untuk *Point Contact*

GIWM digunakan sebagai prediksi analitik pada kasus pin yang ujungnya berbentuk bola lunak yang kemudian dislidingkan diatas permukaan yang keras. Keausan pada pin lebih besar dan keausan pada piringan diabaikan. Perhitungan keausan meliputi perhitungan jari-jari kontak dan luas kontak dan GIWM sebagai bentuk pengembangan model Archard (1953).

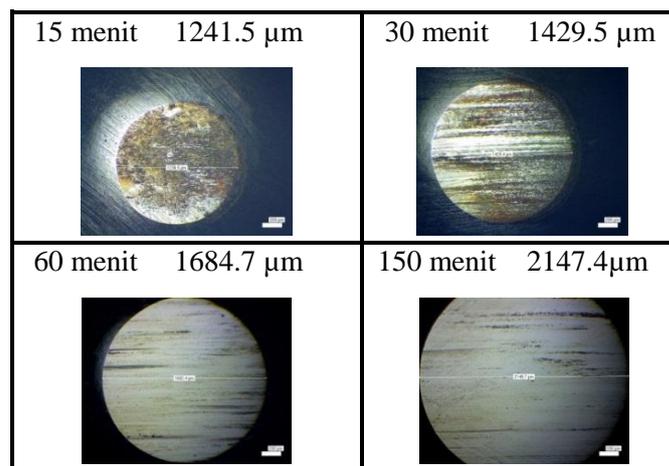
$$h_{pc}^w = \left(\frac{F_N k_D s}{\pi R_p} \right)^{1/2} \quad (2)$$

Persamaan inilah yang dipergunakan untuk menghitung keausan pin, dimana h_{pc}^w adalah keausan *point contact* (kontak titik), k_D adalah koefisien aus berdimensi, F_N adalah beban, R_p adalah radius pin, dan s adalah jarak *sliding*. Sebuah klasifikasi nilai koefisien keausan (k_D) telah disajikan oleh van Beek (2012). Koefisien keausan yang dipilih adalah $k_D = 7.10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

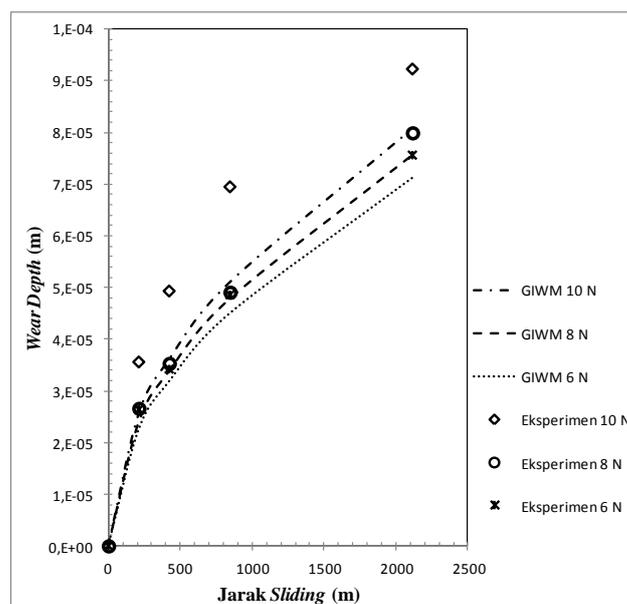
Hasil perhitungan analitik GIWM dan eksperimen *pin-on-disc* adalah pada metode analitik GIWM pada pembebanan 10 N, 8 N, dan 6 N pada jarak *sliding* 2115 meter menghasilkan nilai keausan *wear depth* 8.064E-05 m, 7.213E-05 m, dan 5.279E-05 m. Pada metode eksperimen dengan pembebanan 10 N, 8 N, dan 6 N menghasilkan nilai *wear depth* 9.23E-05 m, 7.99E-05 m dan 7.56E-05 m.

Foto mikro hasil eksperimen ditunjukkan pada Gambar 3, pada spesimen dengan pembebanan 8 N terlihat pada menit 15 pengujian atau sekitar 2115 meter jarak *sliding*, diameter kontak aus 1241.5 μm dan terus bertambah seiring waktu hingga pada menit 150 diameter kontak aus sebesar 2147.4 μm . Warna kehitaman merupakan material aus yang menempel pada daerah kontak.



Gambar 3. Foto Mikro pada spesimen dengan pembebanan 8 Newton

Hasil eksperimen dan analitik GIWM setelah diplotkan pada grafik Gambar 4 nilai *wear depth* hasil analitik dan eksperimen pada pembebanan 8 N dan 6 N hasil eksperimen hampir mendekati GIWM, dan pada pembebanan 10 N hasil eksperimen mempunyai tren menjauh GIWM. pada pembebanan 10 N nilai *wear depth* berdeviasi 5,7 % pada jarak *sliding* 2115 m.



Gambar 4. Grafik *Wear Depth* perbandingan GIWM dan eksperimen

4. KESIMPULAN

Nilai keausan pada metode analitik dan eksperimen sama-sama berbanding lurus dengan pembebanan yaitu semakin bertambah pembebanan dan jarak *sliding* maka nilai keausan semakin bertambah. Nilai *wear depth* pada pembebanan 8 Newton dan 6 Newton hasil eksperimen hampir mendekati GIWM, dan pada pembebanan 10 Newton pada jarak sliding 2115 m hasil eksperimen kurang akurat, hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan Hegadekatte bahwa nilai eksperimen mempunyai kecenderungan yang sama dengan nilai GIWM pada pembebanan kecil dan semakin menjauh bila pembebanan bertambah besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Archard, J. F. (1953). *Contact and rubbing of flat surfaces*. J. Appl. Phys., 24, 981-988
- Bayer, R.G. (2004). *Mechanical Wear Fundamentals And Testing, Second Edition*, Marcel Dekker, Inc. New York.
- Cracauanu, I (2010). *Effect Of Macroscopic Wear On Friction In Lubricated Concentrated Contacts*. PhD Thesis, University of Twente, Enschede, Natherland.
- Hegadekatte, V. (2006). *Modelling and simulation of dry sliding wear for micromachine applications*. PhD Thesis, University of Karlsruhe, Shaker Verlag, Aachen, Germany.
- Maulana, F.N. (2012). Analisa Keausan *Steady state* pada kontak *Pin-On-Disc* dengan simulasi elemen hingga. *Momentum*, Semarang, 28-32.
- Rohadi, A. (2013). Analisa Keausan Baja St.40 Menggunakan Tribotester *Pin-On-Disc* Dengan Variasi Kondisi Pelumas. Tugas Akhir, Universitas Wahid Hasyim, Semarang.
- Sarkar, A.D. (1980), *Friction and Wear*, Academic Press, London.
- Stachowiak, G.W., (2005). " *Tribology in practice series*", in *Wear-Material, Mechanisms and Practice*, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, England.
- Syafa'at, I. (2010), "Permodelan Keausan *Steady State*", Tesis Magister Teknik Mesin, Universitas Diponegoro, Semarang.
- van Beek, A. (2012), *Advanced Engineering Design: Lifetime Performance and Reliability*, TU Delft. Delft.