

## Mekanisme Aus Baja Karbon (C 0.65%) Akibat Beban Kontak Gelinding-Luncur Dua Arah Berlawanan

I Made Widiyarta<sup>1\*</sup>, I Made Parwata<sup>2</sup>, I Made Gatot Karohika<sup>3</sup>, I Putu Lokantara<sup>4</sup> dan I Putu Adi Wahyudi<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana  
Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362  
email: <sup>1\*</sup>m\_widiyarta@me.unud.ac.id

### Abstrak

Sebuah benda menerima beban kontak gelinding-luncur dapat mengakibatkan material dibawah permukaan kontak mengalami regangan geser plastis. Beban gelinding-luncur satu arah dan dua arah berlawanan tentunya akan mengakibatkan perilaku yang berbeda pada material dibawah permukaan kontak. Perbedaan tersebut tentunya akan sangat berpengaruh terhadap mekanisme aus dan tingkat keausan yang terjadi pada material tersebut.

Pada penelitian ini, dengan mengacu pada kontak gelinding-luncur yang terjadi antara roda dan rel kereta api, mekanisme aus dan tingkat keausan material akibat beban gelinding-luncur dari dua arah berlawanan diinvestigasi. Baja karbon 0.65%C dipilih sebagai material uji dan uji aus dilakukan dengan alat uji kontak dua disk. Dari hasil uji terlihat material yang menerima beban dari dua arah berlawanan mengalami keausan lebih kecil dibandingkan dengan material yang menerima beban hanya satu arah. Arah regangan geser material dibawah permukaan kontak oleh beban satu arah jelas terlihat arahnya ke satu sisi, sedangkan beban gelinding-luncur dari arah berlawanan mengakibatkan orientasi geser material dipermukaan mengalami perubahan arah sehingga regangan geser plastis material dipermukaan tidak sebesar regangan geser plastis oleh beban satu arah.

**Kata kunci:** Baja karbon, beban gelinding-luncur, arah berlawanan, aus

### Pendahuluan

Rel sebagai lintasan kereta dalam operasinya ada yang digunakan untuk jalur kereta dua arah, pada kondisi ini rel menerima beban kontak gelinding-luncur pada dua arah berlawanan. Kondisi pembebanan tersebut mengakibatkan material dibawah permukaan kontak menerima tegangan geser dengan arah kedua sisi berlawanan dan bergantian. Kondisi ini tentunya memiliki perbedaan dengan rel yang hanya dilewati beban gelinding-luncur untuk jalur satu arah dimana tegangan geser yang bekerja hanya pada satu arah sesuai arah gaya gesek di permukaan kontak. Kedua kondisi ini tetap mengakibatkan kegagalan aus pada material rel, akibat kondisi pembebanan yang berbeda tentunya akan mengakibatkan perbedaan tingkat aus dan mungkin perbedaan mekanisme terjadinya kegagalan aus tersebut. Secara umum kegagalan aus yang terjadi pada material rel adalah *ratcheting wear* [1,2], dimana beban gelinding-luncur di permukaan mengakibatkan material dibawah permukaan kontak mengalami regangan geser plastis dan

terakumulasi menjadi sangat besar dengan bertambahnya frekuensi pembebanan. Aus kemudian terjadi setelah deformasi plastis tersebut melampaui regangan geser kritis material. Aus merupakan kegagalan material yang sangat progresif dimana material terlepas dari permukaan akibat kontak dua benda yang bergerak relatif satu dengan yang lain [4].

Pada kondisi beban gelinding-luncur bekerja pada dua arah yang berlawanan, arah beban yang berlawanan tersebut kemudian akan mempengaruhi regangan geser yang terjadi. Regangan geser material dibawah permukaan kontak akan mengalami perubahan arah geser oleh gaya geser dipermukaan kontak. Oleh karena material dibawah permukaan kontak telah mengalami proses pengerasan (*work-hardening*) akibat terjadinya deformasi plastis pada material tersebut [3], maka kemungkinan gaya gesek arah berlawanan pada permukaan kontak tidak mampu mengembalikan material keposisi semula. Bagaimana kemudian tingkat keausan material terjadi akibat beban dengan dua arah berlawanan dan saling bergantian

menjadi sangat perlu untuk dipahami.

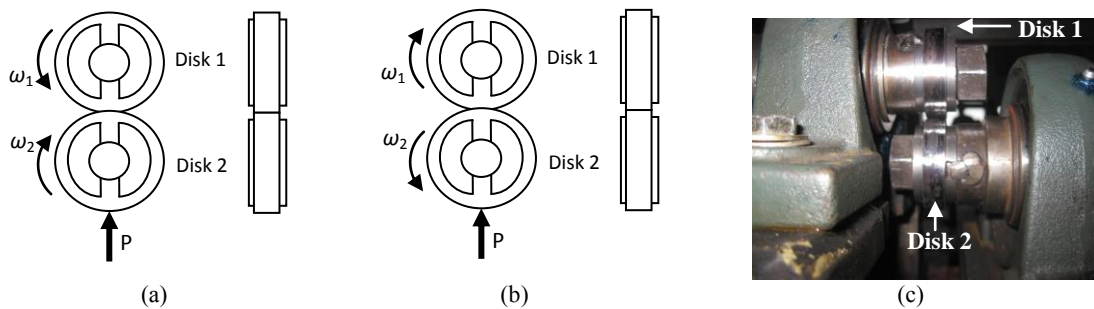
Pada penelitian ini, keausan material akibat beban kontak gelinding-luncur yang bekerja di permukaan bergerak ke dua arah yang berlawanan diamati dengan melakukan uji aus pada alat uji aus kontak dua disk. Untuk memperoleh arah beban gelinding luncur yang berlawanan, arah putaran kedua disk dapat dirubah ke arah berlawanan. Perubahan arah putaran dilakukan setelah setiap tahap pembebanan mencapai putaran 2500 putaran hingga total putaran pembebanan 40000 putaran. Material uji yang digunakan yaitu baja karbon tinggi dengan kadar karbon 0.65%.

### Metode

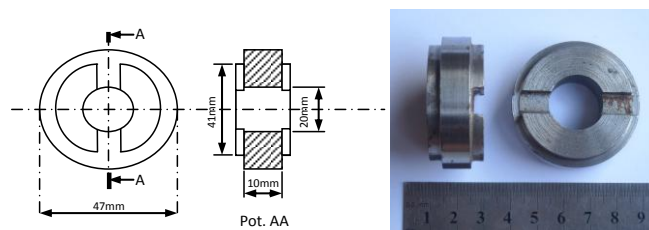
Pada penelitian ini, baja karbon tinggi dengan kandungan karbon 0.65% dipilih sebagai material uji. Baja karbon tinggi memiliki sifat mekanis seperti kekuatan tarik, ketahanan aus dan ketangguhan yang baik oleh karenanya banyak

dimanfaatkan untuk roda gigi, rel kereta api dan perkakas [5].

Alat uji aus kontak dua disk yang digunakan untuk uji aus adalah alat uji yang telah dikembangkan dengan mengacu pada mekanisme alat uji aus *twin-disc machine SUROS* [2]. Alat uji aus ini terdiri dari dua disk (seperti Gambar 1) dengan dimensi yang sama dan saling kontak dengan kecepatan masing-masing disk dapat diatur untuk memperoleh nilai rasio slip-roll yang sesuai. Arah kecepatan masing-masing disk dapat diatur bolak-balik seperti Gambar 1a dan 1b. Beban kontak diberikan melalui disk yang dibawah (disk 2) yang dapat diatur untuk mendapatkan tekanan kontak sesuai tekanan yang diinginkan. Pada penelitian ini disk 1 sebagai spesimen uji dimodelkan sebagai material rel kereta api dan disk 2 (posisi bawah) dimodelkan sebagai roda kereta api.



Gambar 1 Kontak dua disk



Gambar 2 Dimensi spesimen uji

Sebelum melakukan uji aus dengan alat uji kontak dua disk, spesimen uji dibentuk seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Spesimen uji terlebih dahulu dibersihkan dalam bak ultrasonic dengan media pembersih ethanol, kemudian dikeringkan dan selanjutnya diukur diameter serta massa spesimen uji. Kedua spesimen uji kemudian

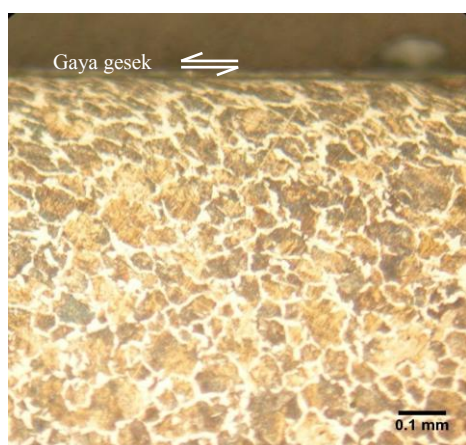
diletakkan pada alat uji sesuai dengan kedudukannya, spesimen satu (disk 1) diletakkan dibagian atas sebagai representasi rel kereta api dan spesimen dua (disk 2) diletakkan dibagian bawah sebagai representasi roda kereta api (lihat Gambar 1c). Kecepatan disk 1 diset sebesar 382 r.p.m dan disk 2 diatur kecepatannya sebesar sekitar 402 r.p.m.

untuk memperoleh rasio slip-roll sekitar 5%. Tekanan maksimum konstan sebesar  $P_0 = 750$  MPa diberikan melalui disk 2. Untuk arah yang berlawanan agar diperoleh gaya geser yang berlawanan, maka kedua putaran motor penggerak dirubah kearah yang berlawanan. Setiap 2500 putaran, kedua spesimen (disk) dilepaskan dari alat uji dan kemudian dibersihkan dalam bak ultrasonik dan selanjutnya diukur massaya. Pengulangan uji dilakukan selanjutnya beberapa kali dengan durasi 2500 putaran sampai total jumlah putaran mencapai sekitar 40000 putaran. Untuk kondisi dua arah berlawanan, setiap 2500 putaran dilakukan perubahan arah putaran motor dan demikian seterusnya bergantian hingga 40000 putaran.

### Hasil dan Pembahasan



(a)

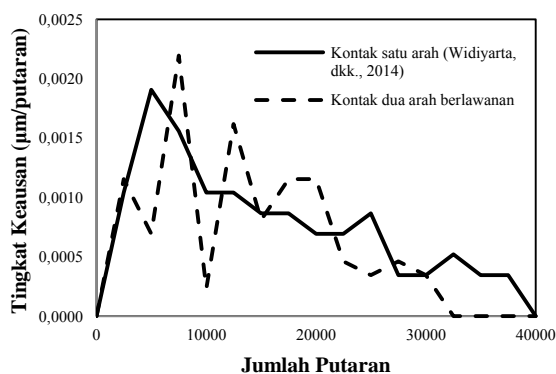


(b)

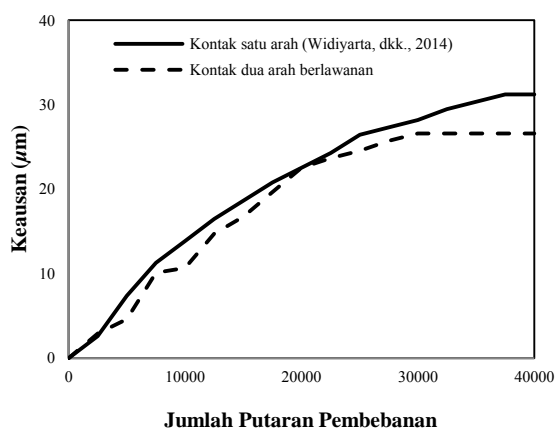
Gambar 3. Perilaku material dibawah permukaan kontak pada baja carbon (C 0.65%) setelah 40000 putaran dengan tekanan kontak 750MPa, (a) akibat beban kontak satu arah [7], (b) akibat beban kontak dua arah berlawanan.

Perilaku material dibawah permukaan kontak akibat beban gelinding-luncur dengan tekanan maksimum kontak 750MPa dan rasio slip-roll 5%

dapat dilihat pada Gambar 3. Gambar 3a memperlihatkan perilaku material dibawah permukaan kontak oleh beban gelinding-luncur satu arah dan Gambar 3b menunjukkan perilaku material dibawah permukaan kontak oleh beban gelinding-luncur dua arah berlawanan yang bekerja saling bergantian (arah putaran dirubah) setiap 2500 putaran. Dari kedua gambar tersebut terlihat beban gelinding luncur mengakibatkan material dibawah permukaan kontak mengalami deformasi plastis (regangan geser plastis) sesuai dengan arah gaya gesek dipermukaan. Untuk beban gelinding-luncur ke satu arah saja mengakibatkan regangan gesek terjadi kesatu arah dengan material terdeformasi plastis mencapai kedalaman sekitar  $300 \mu\text{m}$ , sedangkan beban glinding-luncur dua arah berlawanan mengakibatkan material dibawah permukaan kontak mengalami kecenderungan deformasi kedua arah yang berlawanan dan material mengalami deformasi plastis hingga kedalaman sekitar  $200 \mu\text{m}$ . Terlihat juga jarak regangan geser plastis dipermukaan untuk beban yang satu arah lebih besar dibandingkan dengan regangan geser plastis pada material akibat beban gelinding-luncur dua arah berlawanan. Hal ini mungkin disebabkan setelah pembebanan 2500 putaran pertama kekuatan geser material telah mengalami peningkatan oleh proses work-hardening [3] dan beban arah berlawanan selanjutnya tidak mampu mengembalikan keposisi semula, sehingga jarak regangan geser dipermukaan tidak sebesar regangan geser oleh beban satu arah. Regangan geser plastis baik akibat beban satu arah maupun dua arah berlawanan mengakibatkan material mengalami proses work hardening [3], proses ini mejadikan material dibawah permukaan kontak mengalami perubahan sifat mekanis yaitu mengalami peningkatan kekerasan. Meningkatnya kekerasan material dipermukaan kontak dan dibawah permukaan kontak menjadikan material semakin tahan terhadap kegagalan aus oleh beban gelinding-luncur [6]. Hal ini dapat kita lihat pada perilaku tingkat keausan pada Gambar 4, dimana tingkat keausan mengalami kecenderungan turun setelah tingkat keausan mencapai nilai maksimumnya.



Gambar 4. Keausan baja carbon C 0.65% akibat beban gelinding-luncur ( $\mu\text{m}/\text{putaran}$ ), dengan tekanan maksimum 750MPa dan rasio slip-roll 5%.



Gambar 5. Akumulasi keausan baja carbon C 0.65% akibat beban gelinding-luncur ( $\mu\text{m}/\text{putaran}$ ), dengan tekanan maksimum 750MPa dan rasio slip-roll 5%.

Keausan terjadi setelah material dipermukaan mengalami regangan geser plastis melewati batas kritisnya. Tingkat keausan material akibat beban gelinding-luncur satu arah dan dua arah berlawanan dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5. Gambar 4 menunjukkan tingkat keausan per putaran pembebanan yang dirata-ratakan setiap 2500 putaran, garis solid menunjukkan tingkat keausan oleh beban searah (diambil dari pustaka [7]) dan garis putus-putus menunjukkan tingkat keausan oleh beban dua arah berlawanan. Pada kondisi kontak kering satu arah [7], sejak awal pembebanan keausan telah terjadi dan terus mengalami peningkatan hingga mencapai maksimum sekitar 0.0019  $\mu\text{m}/\text{putaran}$  pada putaran 5000 putaran. Selanjutnya, tingkat keausan material mengalami penurunan hingga mencapai sekitar 0.0004  $\mu\text{m}/\text{putaran}$  dengan bertambahnya jumlah pembebanan, ini disebabkan karena kekerasan material telah mengalami peningkatan oleh proses

*work-hardening*. Pada periode pembebanan selanjutnya, tingkat keausan mengalami kecenderungan stabil ditingkat keausan antara 0.0004 – 0.0005  $\mu\text{m}/\text{putaran}$  sebagai akibat dari kekerasan atau kekuatan geser material telah mencapai maksimumnya. Hingga putaran pembebanan 40000 putaran, keausan yang terjadi sekitar 31.2074  $\mu\text{m}$  (Gambar 5), dengan rata-rata tingkat keausan sekitar  $6.24 \times 10^{-4}$   $\mu\text{m}/\text{putaran}$ . Pada pembebanan dua arah berlawanan, setiap pembebanan arah berlawanan terhadap arah pembebanan awal mengakibatkan tingkat keausan mengalami penurunan cukup drastis. Hal ini mengakibatkan tingkat keausan mengalami fluktuasi cukup besar, maksimum tingkat keausan dapat mencapai sekitar 0.0022  $\mu\text{m}/\text{putaran}$  pada jumlah putaran 7500 dan turun sangat drastis hingga 0.0002  $\mu\text{m}/\text{putaran}$  pada putaran 10000. Selanjutnya keausan mengalami penurunan hingga keausan mendekati nol karena beban yang bekerja tidak dapat lagi meningkatkan regangan geser material. Hal ini mungkin disebabkan karena kekuatan geser material telah meningkat sangat besar sebagai akibat proses *work-hardening*. Keausan yang terjadi sampai putaran pembebanan 40000 sekitar 26.5841  $\mu\text{m}$  (Gambar 5), dengan rata-rata tingkat keausan sekitar  $5.32 \times 10^{-4}$   $\mu\text{m}/\text{putaran}$ .

Secara umum dapat digambarkan bahwa keausan material akibat beban gelinding-luncur baik pada arah satu arah dan dua arah berlawanan adalah serupa, dimana material sedikit dibawah permukaan mengalami regangan geser plastis dan dengan bertambahnya beban gelinding-luncur regangan geser plastis terakumulasi semakin besar. Bila akumulasi regangan geser tersebut telah mencapai/melampaui kekuatan geser material maka keausan terjadi. Pada beban gelinding-luncur satu arah hanya mengakibatkan regangan geser ke satu arah saja. Pada beban gelinding-luncur dua arah berlawanan, beban gelinding-luncur berlawanan arah akan membalikkan arah regangan geser, kemungkinan pada kasus ini gaya geser yang diperlukan agar dapat terjadinya regangan geser plastis menjadi lebih besar atau dengan kata lain bahwa dengan beban yang sama regangan geser plastis yang terjadi menjadi jauh lebih kecil. Hal inilah yang mungkin mengakibatkan waktu yang diperlukan lebih banyak untuk akumulasi regangan geser material mencapai regangan geser kritis agar terjadi kegagalan aus, sehingga keausan pada kasus beban gelinding-luncur dua arah berlawanan menjadi lebih kecil dibandingkan dengan yang satu arah.

## Kesimpulan

Perubahan arah beban gelinding–luncur (dengan tekanan kontak 750MPa dan rasio slip-roll 5%) ke arah yang berlawanan mengakibatkan terjadinya perubahan arah regangan geser material dekat permukaan kontak. Perubahan arah orientasi geser mengakibatkan regangan geser material dibawah permukaan kontak tidak sebesar regangan geser akibat pembebanan yang satu arah dan hal ini mengakibatkan material semakin tahan terhadap kegagalan aus. Keausan material setelah mengalami pembebanan dua arah berlawanan (dengan perubahan arah setiap 2500 putaran) hingga 40000 putaran sekitar 26.5841  $\mu\text{m}$ , dengan rata-rata tingkat keausan sekitar  $5.32 \times 10^{-4}$   $\mu\text{m}/\text{putaran}$ , lebih kecil dibandingkan dengan keausan yang terjadi pada pembebanan satu arah yaitu sekitar 31.2074  $\mu\text{m}$ , dengan rata-rata tingkat keausan sekitar  $6.24 \times 10^{-4}$   $\mu\text{m}/\text{putaran}$ .

AISI 1065 pada permukaan kontak basah akibat beban kontak gelinding-luncur, Proceeding Konferensi Nasional Engineering Perhotelan V, Universitas Udayana, 2014, Denpasar, 26 Juni 2014.

## Ucapan Terima Kasih

Terima kasih penulis ucapkan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (Dikjen Dikti) yang telah mendanai penelitian ini melalui Hibah Penelitian Desentralisasi Tahun 2014.

## Referensi

- [1]. A. Kapoor and K.L. Johnson, "Plastic ratchetting as a mechanism of erosive wear", *Wear*, 1995. 86-187: p. 86-91.
- [2]. W.R. Tyfour, J.H. Beynon, and A. Kapoor, *Deterioration of rolling contact fatigue life of pearlitic rail steel due to dry-wet rolling-sliding line contact*, *Wear*, 1996. 197: p. 255 – 265.
- [3]. G. Baumann, H.J. Fecht, and S. Liebelt, *Formation of white-etching layers on rail treads*, *Wear*, 1996. 199: p. 133-140.
- [4]. J. A. Williams, *Engineering tribology*, 1994, New York: Oxford University Press Inc.
- [5]. William D. Callister, Jr. *Materials Science and Engineering an Introduction*, 1997, 4<sup>th</sup> Add., Wiley.
- [6]. I Made Widiyarta, Tjok Gde Tirta Nindia dan Herry Mudiastawan, Tingkat keausan baja karbon (AISI 1065) akibat beban kontak gelinding-luncur, Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XI (SNTTM XI) & Thermofluid IV, Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta, 16-17 Oktober 2012.
- [7]. I Made Widiyarta, I Made Parwata, I Made Gatot Karohika, I Putu Lokantara dan Made Arie Satryawan, Mekanisme aus baja karbon