

Tingkat keausan baja karbon (AISI 1065) akibat beban kontak gelinding-luncur (Wear rate of carbon steel (AISI 1065) due to loading of rolling-sliding contact)

I Made Widiyarta, Tjok Gde Tirta Nindia dan Herry Mudiastawan

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Bali
E-mail: m_widiyarta@yahoo.com

Abstrak

Beban kontak gelinding-luncur pada material yang ulet dapat mengakibatkan material di bawah permukaan kontak mengalami regangan geser plastis. Beban kontak gelinding-luncur yang berulang-ulang seterusnya dapat mengakibatkan regangan geser plastis terakumulasi sangat besar. Bila akumulasi regangan geser plastis material tersebut mencapai batas kritis regangan geser material, maka kegagalan pada material berupa aus dapat terjadi.

Pada penelitian ini, baja carbon (AISI 1065) dipilih sebagai material uji keausan dan kontak antara dua disk dipakai sebagai metode uji keausan dengan tekanan maksimum 1000 MPa. Dari hasil uji terlihat material dibawah permukaan kontak mengalami akumulasi regangan geser plastis sangat besar yang diketahui sebagai mekanisme terjadinya keausan. Tingkat keausan diketahui mengalami peningkatan dengan bertambahnya jumlah putaran pembebanan dan mengalami maksimum tingkat keausan pada putaran sekitar 4000 putaran dengan tingkat keausan 0.0072 $\mu\text{m}/\text{putaran}$. Tingkat keausan selanjutnya mengalami penurunan dan seterusnya berfluktuasi antara 0.0030 dan 0,0015 $\mu\text{m}/\text{putaran}$ setelah jumlah putaran pembebanan melebihi sekitar 12000 putaran dan rata-rata tingkat keausan sekitar 0.0025 $\mu\text{m}/\text{putaran}$.

Keywords: kontak gelinding-luncur, baja karbon, aus

Pendahuluan

Beban kontak gelinding-luncur yang terjadi berulang-ulang antara dua buah komponen dapat mengakibatkan terjadinya kegagalan pada komponen tersebut baik kegagalan aus maupun kegagalan patah lelah (Kapoor, 1994). Mekanisme kegagalan tersebut umumnya diawali dengan terjadinya regangan geser plastis dipermukaan dan dibawah permukaan kontak dan akan terakumulasi dengan berulangnya beban kontak gelinding-luncur. Akumulasi regangan geser akan semakin besar dengan bertambahnya jumlah pengulangan beban dan bila telah mencapai regangan geser kritis material maka material tersebut akan mengalami kegagalan (disebut *ratcheting failure*) (Tyfour, dkk., 1996).

Kegagalan aus adalah kegagalan yang sangat progresif yaitu terlepasnya material dari permukaan material sebagai partikel aus akibat gerak relatif dua komponen (William, 1994). Kegagalan lain yang mungkin terjadi akibat beban kontak gelinding-luncur yaitu kegagalan patah lelah (*rolling contact fatigue*), kegagalan ini umumnya diawali dengan munculnya retakan di permukaan kontak maupun dibawah permukaan kontak. Beban kontak gelinding-luncur berikutnya

akan memperpanjang retakan dan bila panjang retak telah mencapai panjang retak kritis, perambatan panjang retak akan sangat cepat dan dapat mengakibatkan komponen patah.

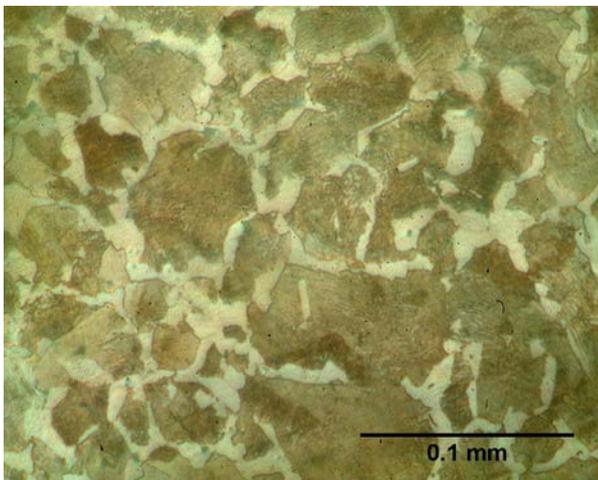
Kegagalan aus dan patah lelah akibat beban kontak gelinding-luncur dapat dijumpai dan sering terjadi pada kontak antara roda dan rel kereta api, kegagalan aus dan patah lelah merupakan permasalahan yang sangat serius pada industri perkeretaapian. Salah satu komponen yang sangat penting dalam industri perkeretaapian adalah rel, selain sebagai jalur/lintasan kereta api, rel juga berfungsi sebagai penerus beban oleh kereta ke konstruksi di bawah rel. Kegagalan aus dan patah lelah yang sering terjadi pada rel akibat beban kontak gelinding-luncur yang sangat besar dan berulang-ulang dapat mengurangi umur dari pada rel. Ditinjau dari tingkat keausan yang terjadi, keausan pada rel dapat dikategorikan menjadi tiga katagori yaitu keausan *mild*, *severe* dan *catastrophic* (Lewis dan Dwyer-Joyce, 2004). Keausan *mild* ditunjukkan dengan tingkat keausan yang rendah dan keausan ini cenderung sebagai jenis keausan oksidasi. Transisi keausan dari *mild* ke *severe* disebabkan karena perubahan kondisi kontak, yaitu dari kondisi kontak dengan sebagian bidang kontak slip (*partial slip*) ke

kondisi kontak dengan seluruh bidang kontak slip (*full slip*). Transisi dari keausan *severe* ke *catastrphic* terjadi akibat penurunan kekuatan material dan perubahan sifat mekanis yang lain karena pengaruh suhu permukaan kontak yang tinggi.

Pada penelitian ini, kegagalan aus pada material akibat beban kontak gelinding-luncur menjadi perhatian dan uji keausan dilakukan pada material baja karbon (AISI 1065). Metode kontak antara dua disk digunakan untuk uji keausan. Metode ini telah banyak dimanfaatkan untuk uji keausan terutama uji keausan antara roda dan rel kereta api.

Material uji

Material uji yang menjadi perhatian peneliti yaitu baja karbon AISI 1065, baja karbon ini termasuk dalam kategori baja karbon tinggi yang memiliki sifat mekanis seperti kekuatan tinggi, tahan aus dan ketangguhan yang baik (William, 1997). Struktur baja AISI 1065 (Gambar 1) terdiri dari struktur *ferite* yang memiliki sifat yang lunak (ditunjukkan dengan warna terang) dan struktur yang memiliki sifat relatif keras (*britle*) yaitu *cementite* (ditunjukkan dengan warna gelap). Dari hasil uji *vickers hardness* diketahui baja AISI 1065 memiliki kekerasan rata-rata sekitar 180 HVn.

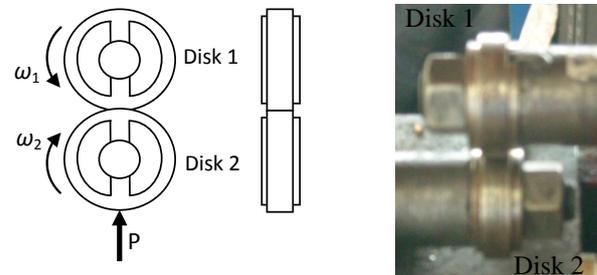


Gambar 1. Struktur mikro baja AISI 1065

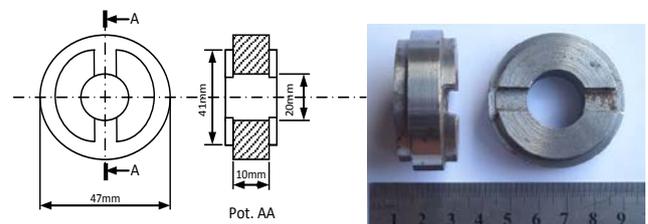
Alat Uji dan Prosedur Pengujian

Alat uji keausan dikembangkan menagacu pada mekanisme *twin-disc machine SUROS* (Tyfour, dkk., 1997), mekanisme kontak antara dua disk (seperti Gambar 2) pada alat uji tersebut sangat ideal digunakan untuk mempelajari perilaku kontak gelinding-luncur antara roda dan rel kereta api. Disk 1

(posisi atas) dapat dimodelkan sebagai rel kereta api dan disk 2 (posisi bawah) dapat digunakan untuk merepresentasikan roda kereta api. Beban diberikan melalui disk 2 dan kecepatan masing-masing disk dapat diatur sedemikian rupa sesuai dengan besar rasio slip-roll yang diinginkan.



Gambar 2. Kontak dua disk



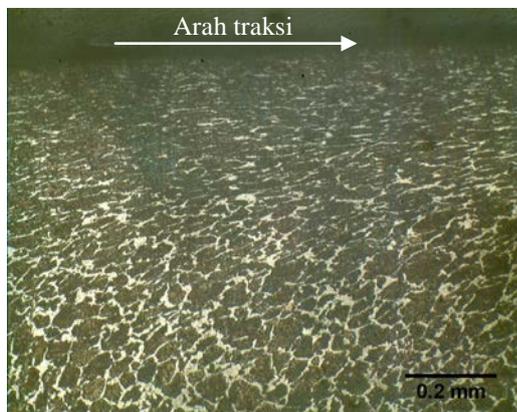
Gambar 3. Bentuk dan dimensi spesimen uji

Sebelum melakukan uji keausan, material uji dibentuk seperti Gambar 4, kedua spesimen uji kemudian dibersihkan dalam bak ultrasonik dan kemudian diukur massa dan diameter dari kedua spesimen tersebut. Spesimen uji diletakkan pada alat uji sesuai dengan kedudukannya sebagai roda dan rel kereta api. Pada penelitian ini, kecepatan disk 1 diatur sebesar 382 r.p.m dan disk 2 diatur kecepatannya sebesar 386 r.p.m. untuk memperoleh rasio slip-roll sekitar 1%. Tekanan maksimum yang diberikan pada disk sebesar $P_0 = 1000$ MPa dan dijaga konstan. Setiap 2000 putaran, kedua spesimen (disk) dilepaskan dari alat uji dan kemudian dibersihkan dalam bak ultrasonik dan selanjutnya diukur massa/dimensinya. Pengulangan uji dilakukan selanjutnya beberapa kali dengan durasi 2000 putaran sampai total jumlah putaran mencapai sekitar 40000 putaran.

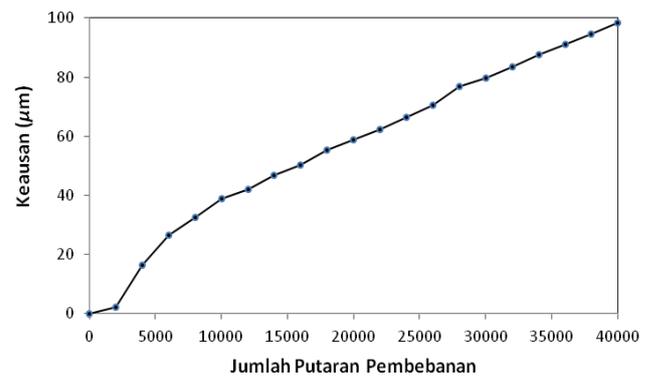
Hasil dan Pembahasan

Keausan yang terjadi pada baja 1065 adalah keausan akibat proses yang diawali dengan terjadinya akumulasi regangan geser plastis dipermukaan dan dibawah permukaan kontak material (lihat Gambar 4). Bila akumulasi regangan geser tersebut telah mencapai regangan geser kritis material maka keausan terjadi.

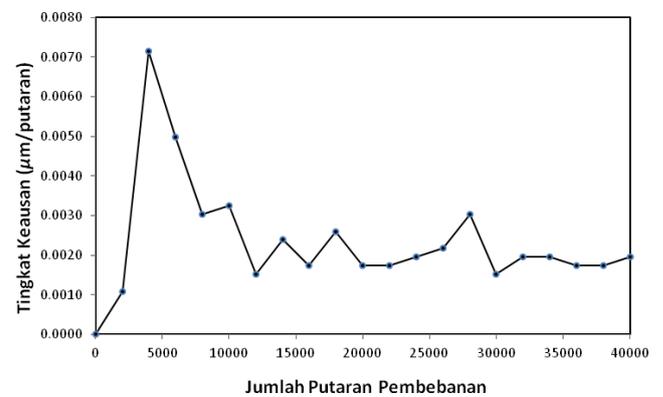
Dengan tekanan kontak maksimum 1000 MPa dapat mengakibatkan regangan geser plastis terjadi sampai kedalaman sekitar 400 μm dari permukaan kontak dan untuk mengetahui regangan geser kritis material atau regangan geser maksimum dimana material tidak mengalami kegagalan perlu dilakukan pengamatan orientasi regangan geser material dibawah permukaan kontak lebih cermat lagi dan perlu beberapa kali pengujian dengan total jumlah pembebanan yang bervariasi. Pengaruh beban kontak gelinding-luncur selama 40000 putaran terhadap kedalaman material yang mengalami regangan geser plastis dan arah orientasinya dapat terlihat pada photo mikro spesimen uji Gambar 4. Dari gambar terlihat orientasi arah regangan geser material sesuai arah traksi yang terjadi di permukaan kontak. Hal ini menunjukkan bahwa keausan material dapat terjadi setelah beberapa saat atau beberapa kali menerima beban kontak gelinding-luncur. Waktu yang diperlukan agar material mengalami keausan tentunya tergantung pada sifat mekanis material tersebut dan kondisi pembebanan, seperti besar beban, koefisien gesek antara kedua komponen, geometri kontak, dll. Hal lain yang terjadi akibat proses regangan geser plastis tersebut yaitu terjadinya proses pengerasan pada material yang mengalami regangan geser plastis tersebut. Proses pengerasan akibat akumulasi regangan geser plastis tersebut disebut *strain hardening* (Tyfour, dkk., 1996). Hal ini dapat dilihat dari struktur mikro dibawah permukaan kontak, selain mengalami orientasi geser, struktur mikro dekat permukaan juga mengalami pemipihan sehingga terlihat struktur *Cementite* (warna gelap) yang memiliki sifat keras dan getas menjadi lebih rapat dan komposisi struktur *Ferite* (warna terang) yang memiliki sifat mekanis lebih lunak dari pada *Cementite* yang juga sebagai lapisan pemisah *Cementite* nampak semakin menipis. Hal ini juga mengakibatkan sifat mekanis material dekat permukaan kontak akan semakin keras dan lebih tahan terhadap keausan.



Gambar 4. Orientasi regangan geser material dibawah permukaan kontak pada baja AISI 1065 setelah 40000 putaran dengan tekanan maksimum 1000MPa dan rasio slip-roll 1%.



Gambar 5. Akumulasi keausan baja carbon AISI 1065 akibat beban gelinding-luncur (μm), dengan tekanan maksimum 1000MPa dan rasio slip-roll sekitar 1%.



Gambar 6. Tingkat keausan baja carbon AISI 1065 akibat beban gelinding-luncur ($\mu\text{m}/\text{putaran}$), dengan tekanan maksimum 1000MPa dan rasio slip-roll sekitar 1%.

Gambar 5 memperlihatkan akumulasi keausan baja AISI 1065 sampai pada 40000 putaran pembebanan dengan tekanan kontak maksimum 1000 MPa dan rasio slip-roll 1%. Terlihat keausan terus mengalami peningkatan dengan bertambahnya jumlah pembebanan hingga mencapai sekitar 98 μm setelah 40000 kali pembebanan atau rata-rata tingkat keausan per sekali pembebanan sekitar 0.0025 $\mu\text{m}/\text{putaran}$. Gambar 6 menunjukkan tingkat keausan baja AISI 1065 dengan beban kontak 3,2kN atau tekanan maksimum 1000MPa sampai pada putaran 40000 putaran dengan durasi uji 2000 putaran. Dari grafik terlihat pada 2000 putaran pertama, tingkat keausan yang terjadi sangat kecil yaitu sebesar 0,0011 $\mu\text{m}/\text{putaran}$ dan kemudian tingkat keausan mengalami kenaikan cukup drastis mencapai kira-kira 0.0072 $\mu\text{m}/\text{putaran}$. Pada pembebanan berikutnya, tingkat keausan mengalami penurunan secara bertahap sampai pada tingkat keausan kira-kira 0,0015 $\mu\text{m}/\text{putaran}$ pada putaran 12000 putaran. Pada pembebanan diatas 12000 putaran sampai pada putaran 40000 putaran, tingkat keausan mengalami fluktuasi diantara 0.003 $\mu\text{m}/\text{putaran}$ dan 0,0015 $\mu\text{m}/\text{putaran}$.

Tingkat keausan yang sangat kecil diawal pembebanan (2000 putaran pertama) diakibatkan karena diperlukan waktu relatif cukup lama untuk akumulasi regangan geser plastis material dekat permukaan kontak dapat mencapai regangan geser kritis material untuk selanjutnya keausan dapat terjadi. Kenaikan tingkat keausan yang sangat drastis terjadi setelahnya yaitu setelah mencapai 4000 putaran, hal ini diakibatkan oleh akumulasi regangan geser material dibawah permukaan kontak sampai pada kedalaman tertentu sudah cukup besar sehingga pembebanan pada durasi putaran tersebut begitu banyak material dipermukaan yang terlepas sebagai partikel aus. Dalam proses akumulasi regangan geser plastis, setiap tambahan regangan geser plastis mengakibatkan material mengalami perubahan sifat mekanis yaitu material mengalami proses pengerasan atau disebut mengalami *strain hardening* (Tyfour, dkk., 1996). Hal inilah yang kemudian mengakibatkan tingkat keausan material mengalami penurunan. Dengan kondisi meningkatnya kekuatan material, maka regangan geser yang terjadi setiap kali pembebanan menjadi jauh lebih kecil dibandingkan sebelum mengalami proses *strain hardening*, sehingga waktu yang diperlukan untuk akumulasi regangan geser mencapai nilai kritis regangan geser material semakin lama yang mengakibatkan tingkat keausan menjadi menurun. Setelah kekerasan akibat *strain hardening* dekat permukaan kontak mencapai nilai maksimumnya dan material dekat permukaan kontak telah mendekati regangan geser kritisnya maka pembebanan pada putaran selanjutnya menyebabkan tingkat keausan akan cenderung mendekati konstan, nilai tingkat keausan yang sedikit berfluktuasi mungkin diakibatkan karena material memiliki ketidak seragaman sifat mekanis.

Kesimpulan

Mekanisme keausan yang terjadi pada baja karbon (AISI 1065) akibat beban kontak gelinding-luncur terlihat diawali oleh proses terjadinya akumulasi regangan geser plastis di bawah permukaan kontak, dan kemudian material dipermukaan terlepas sebagai partikel aus bila akumulasi regangan geser telah mencapai regangan geser kritis material. Tingkat keausan diketahui mengalami peningkatan dengan bertambahnya jumlah putaran pembebanan dan mengalami maksimum tingkat keausan pada putaran sekitar 4000 putaran dengan tingkat keausan 0.0072 $\mu\text{m}/\text{putaran}$. Tingkat keausan selanjutnya mengalami penurunan dan seterusnya berfluktuasi antara 0.0030 dan 0,0015 $\mu\text{m}/\text{putaran}$ setelah jumlah putaran pembebanan melebihi sekitar 12000 putaran dan rata-rata tingkat keausan baja karbon (AISI 1065)

sampai 40000 kali pembebanan dengan tekanan kontak 1000 MPa yaitu sekitar 0.0025 $\mu\text{m}/\text{putaran}$.

Referensi

- Kapoor, A., *A re-evaluation of the life to rupture of ductile metals by cyclic plastic strain*, *Fatigue Frac. Engng. Mater. Struct.*, 17, 201-219 (1994).
- Lewis R. and Dwyer-Joyce, R.S., "Wear mechanisms and transitions in railway wheel steels", *Proc. Inst Mech. Engrs*, 218(J): p. 467 – 478 (2004).
- Tyfour, W.R., Beynon, J.H. and Kapoor, A., "Deterioration of rolling contact fatigue life of pearlitic rail steel due to dry-wet rolling-sliding line contact", *Wear*, 197: p. 255 – 265 (1996).
- Williams, J. A., "Engineering tribology", New York: Oxford University Press Inc (1994)
- William, D. Callister, Jr. "Materials Science and Engineering an Introduction", 1997, 4th Add., Wiley.