

# STUDI UKURAN GRAFIT BESI COR KELABU TERHADAP LAJU KEAUSAN PADA PRODUK BLOK REM METALIK KERETA API

Lilik Dwi Setyana

Teknik Mesin Sekolah Vokasi UGM  
lilik\_ugm@yahoo.co.id

## ABSTRAK

Blok rem kereta api yang diproduksi di Ceper Klaten Jawa Tengah menggunakan besi cor kelabu. Permasalahan yang sering dijumpai adalah ketahanan terhadap gesekan yang kurang baik sehingga mempengaruhi lama waktu penggunaannya, namun jika kekerasan blok rem tersebut terlalu tinggi maka roda kereta api yang akan lebih cepat aus.

Penelitian dilakukan dengan mengidentifikasi 20 blok rem kereta api yang dinyatakan lolos uji dan tidak lolos uji dari tingkat kekerasannya, kemudian diamati struktur mikronya. Kemudian diambil 5 spesimen dengan besar grafit yang berbeda. Pengujian yang dilakukan meliputi uji kekerasan, uji keausan dan pengamatan struktur mikro.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekerasan tertinggi (207 BHN) terjadi pada spesimen 1 dengan ukuran grafit terkecil sedangkan kekerasan terendah (113 BHN) terjadi pada spesimen 5 dengan ukuran grafit terbesar. Laju keausan terendah ( $2,1 \cdot 10^{-4}$  mm<sup>3</sup>/kg.m) terjadi pada spesimen 5 dengan ukuran grafit terbesar (laju keausan turun hingga 76% dari spesimen 1). Sedangkan berdasar pengamatan struktur mikro, ukuran grafit dengan panjang rata-rata 40 hingga 70  $\mu$ m dan lebar rata-rata 5  $\mu$ m mempunyai nilai kekerasan standar untuk blok rem (175 hingga 197 BHN).

Kata kunci : Blok Rem, Besi Cor, Keausan

## LATAR BELAKANG

Salah satu produk yang dibuat oleh beberapa industri pengecoran di Ceper Klaten adalah blok rem metalik kereta api yang terbuat dari besi cor kelabu. Pengecekan terhadap kelayakan yang meliputi kekerasan, ketahanan aus dan komposisi kimia selalu dilakukan karena pentingnya komponen tersebut. Produk yang dihasilkan masih ada yang memiliki kekerasan terlalu tinggi sehingga bisa menyebabkan kerusakan pada roda kereta api ketika bergesekan

sewaktu pengereman. Standar nilai kekerasan blok rem metalik adalah 175 hingga 197 BHN.

Ukuran dan penyebaran grafit merupakan salah satu hal yang perlu di analisa karena peran grafit pada produk blok rem kereta api terhadap ketahanan aus saat bergesekan berfungsi sebagai *self lubrication*.

## TINJAUAN PUSTAKA

Sadino dkk [1], melakukan penelitian mengenai ketahanan aus dan struktur mikro *cylinder liner*, diperoleh hasil bahwa peningkatan keausan serta penurunan nilai kekerasan produk *cylinder liner* FC 25 diakibatkan oleh terjadinya perubahan struktur mikronya. Apabila ditinjau dari struktur mikro produk *cylinder liner* FC 25 dengan penambahan 0,25% tembaga dapat merubah grafit tipe A dan tipe B menjadi tipe D yang memiliki pola interdendritik. Pola interdendritik ini memiliki volume grafit yang lebih besar dibandingkan tipe A dan B. Penambahan sebesar 0,25% tembaga pada *cylinder liner* ternyata belum efektif dalam peningkatan matriks pearlit yang akan berakibat pada penurunan keausan dan peningkatan kekerasan.

Surojo dkk [2], melakukan studi pengaruh struktur mikro terhadap ketahanan aus besi cor dengan membandingkan ketahanan aus jenis besi cor bergrafit nodular, *vermicular* dan serpih. Hal ini dilakukan untuk melihat potensi besi cor bergrafit *vermicular* sebagai bahan pembuatan blok rem metalik kereta api. Spesimen besi cor nodular dan *vermicular* diperoleh melalui pengecoran dengan memvariasikan tebal coran. Sementara itu, spesimen besi cor bergrafit serpih diperoleh dengan memotong blok rem metalik kereta api. Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur mikro hasil pengecoran pada besi cor yang mengandung paduan Mg dipengaruhi oleh ketebalan coran. Semakin tebal coran mendorong terbentuknya grafit *vermicular*. Selain itu, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa besi cor bergrafit *vermicular* memiliki ketahanan aus yang lebih baik dibandingkan dengan besi cor bergrafit nodular.

Sutiyoko dkk [3], melakukan penelitian mengenai kekerasan dan struktur mikro besi cor kelabu pada pengecoran *evaporative*, diperoleh hasil bahwa kekerasan besi cor kelabu mengalami penurunan dengan semakin meningkatnya ukuran *mesh* pasir, dengan kata lain semakin kecil ukuran pasir maka benda cor akan semakin lunak. Permeabilitas pasir semakin kecil dengan mengecilnya ukuran pasir. Hal ini menyebabkan udara lebih lama tertahan di dalam *cavity* sehingga pembekuan cairan lebih lama. Pembekuan cairan yang lebih lama memberikan kesempatan silikon untuk melepas karbon dari besi untuk membentuk grafit. Semakin banyak terbentuk grafit maka kekerasan benda cor akan semakin menurun.

Pratowo dkk [4], melakukan penelitian mengenai peningkatan kekerasan dan ketahanan aus permukaan besi cor kelabu melalui proses boronisasi, diperoleh hasil bahwa persentase keausan maksimal untuk besi cor kelabu sebesar 0,0667% pada temperatur boronisasi 875 °C dengan waktu penahanan 5 jam atau naik sekitar 80% dari material awal. Nilai kekerasan maksimal untuk besi cor kelabu sebesar 810,5 VHN pada temperatur boronisasi 875 °C dengan waktu penahanan 5 jam atau naik sekitar 300% dari material awal dan nilai kekerasan maksimal.

## DASAR TEORI

Besi cor adalah paduan besi dan karbon dengan kandungan karbon berkisar antara 2,0 – 6,67 %, namun yang biasa digunakan untuk berbagai komponen mesin mempunyai kandungan karbon 2,5 – 4,0 %. Dasar pengklasifikasian besi cor ditentukan oleh struktur metalografi yang sangat dipengaruhi oleh kandungan karbon dalam paduan. Karbon dapat berupa sementit ( $Fe_3C$ ) ataupun karbon bebas (grafit). Bentuk, ukuran dan distribusi grafit akan mempengaruhi sifat mekanik besi cor. Unsur lain berupa silikon, mangan, phosphor dan belerang juga mempengaruhi struktur metalografi besi cor. Pengelompokan besi cor berdasarkan struktur mikro khususnya bentuk karbon dibagi dalam empat golongan yaitu: besi cor putih (*white cast iron*), besi cor mampu tempa (*malleable cast iron*), besi cor kelabu (*grey cast iron*), besi cor nodular (*nodular cast iron*).

Besi cor kelabu merupakan jenis besi cor yang paling banyak digunakan karena sifat peredam getaran dan *self lubrication* yang baik. Grafit pada besi cor kelabu yang berbentuk *flake* terbentuk pada saat pembekuan. Proses penggrafitan dipengaruhi oleh tingginya kadar karbon, unsur *grafite stabilizer* (silikon), temperatur penuangan tinggi dan pendinginan yang lambat. Patahan penampang besi cor akan berwarna kelabu yang disebabkan

banyaknya jumlah grafit. Grafit besi cor kelabu berbentuk *flake* (serpilh), berupa lempeng-lempeng kecil yang melengkung. Ujung-ujung grafit berbentuk runcing yang menyebabkan ketangguhan besi cor kelabu rendah [5].

Matrik ferit dalam besi cor kelabu sangat ulet, tetapi kekerasannya sangat rendah. Matrik perlit mempunyai kombinasi kekerasan dan keuletan yang baik, tetapi nilainya masih rendah. Sementit dan martensit mempunyai kekerasan yang tinggi, tetapi sangat getas. Diantara matrik-matrik tersebut, bainit mempunyai kombinasi nilai kekerasan dan keuletan terbaik sehingga untuk penggunaan besi cor kelabu dengan tuntutan nilai kekerasan dan kekuatan impak yang tinggi, besi cor kelabu dengan matrik bainit lebih unggul dibandingkan yang lainnya [6].

Kekuatan dan kekerasan besi cor kelabu dapat dinaikkan dengan cara menaikkan jumlah karbon yang berupa sementit dalam eutektoid dan akan mencapai maksimum pada struktur matriks perlitik [7].

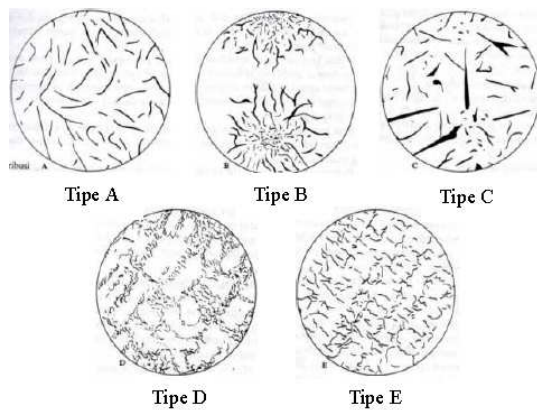
Tipe grafit besi cor kelabu dapat dikelompokkan menjadi lima tipe, yaitu : tipe A, B, C, D dan E. Grafit tipe A memiliki serpih-serpih grafit yang terbagi rata dan orientasinya sebarang. Struktur tersebut timbul pada besi cor kelas tinggi dengan matriks perlit dan terdapat potongan-potongan grafit yang bengkok yang memberikan kekuatan tertinggi pada besi cor. Grafit bengkok tersebut diperoleh dengan cara meningkatkan pengendapan kristal-kristal sepanjang austenit proeutektik. Besi cor dengan kandungan karbon tinggi jarang yang mempunyai potongan grafit bengkok disebabkan oleh pengendapan kristal yang sedikit sehingga perlu dilakukan penghilangan oksida dan inokulasi penggrafitan pada besi cair.

Grafit tipe B memiliki bentuk seperti bunga ros (*rosette*) dengan orientasi sebarang. Struktur ini merupakan salah satu sel eutektik yang bagian tengahnya mempunyai potongan-potongan eutektik halus dari grafit dan serpih-serpih grafit radial di sekitarnya. Struktur tersebut biasanya ditemukan pada produk coran tipis yang mengalami pendinginan cepat. Tipe *rosette* tersebar dalam besi cor yang mempunyai kandungan karbon tinggi karena banyak pengendapan grafit yang mengakibatkan struktur menjadi lemah dan terkadang pada bagian tengah dapat terjadi retak atau lubang kecil.

Grafit tipe C mempunyai grafit serpih yang saling menumpuk dengan orientasi sebarang. Hal ini disebabkan oleh jumlah grafit yang begitu banyak sehingga ferrit sangat mudah mengendap. Namun pengendapan ferrit mengakibatkan struktur menjadi lemah, sehingga tipe grafit seperti ini jarang dipakai.

Grafit tipe D mempunyai potongan grafit eutektik halus yang mengkristal di antara dendrit kristal austenit. Potongan grafit tipe ini dikenal sebagai penyisihan antar dendrit dengan orientasi sebarang. Keadaan ini disebabkan oleh pendinginan lanjut pada proses pembekuan eutektik seperti oksidasi dalam pencairan. Potongan grafit seperti ini menyebabkan besi cor memiliki kekuatan tinggi dengan keuletan rendah.

Grafit tipe E muncul apabila kandungan karbon agak rendah. Hal ini akan mengurangi kekuatan karena jarak yang dekat antara potongan-potongan grafit yang terdistribusi seperti pada tipe D. Tetapi kadang-kadang kekuatannya tinggi yang disebabkan karena kandungan karbon yang rendah dan berkurangnya pengendapan grafit. Berdasarkan ASM Vol. 15, tipe-tipe grafit tersebut ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tipe – Tipe Grafit

**TUJUAN PENELITIAN**

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh ukuran grafit terhadap

kekerasan dan keausan pada produk blok rem metalik kereta api.

**CARA PENELITIAN**

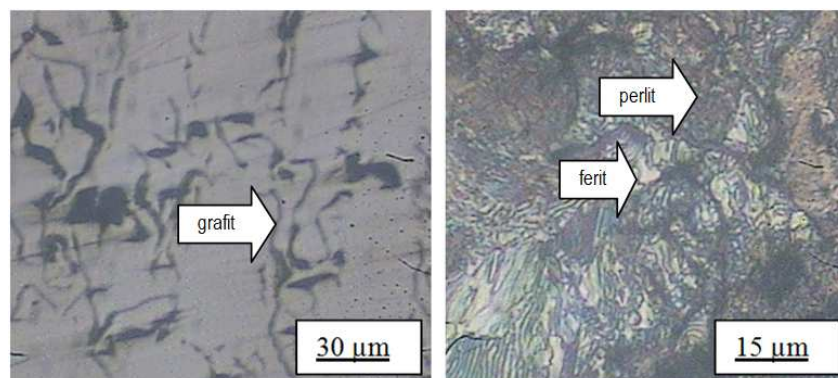
Cara penelitian yang dilakukan adalah :

1. Memotong 20 blok rem metalik kereta api kemudian dilakukan preparasi sehingga bisa diamati struktur mikronya
2. Memilih 5 (lima) spesimen yang mempunyai perbedaan ukuran grafit yang signifikan dari 20 spesimen yang diamati
3. Menguji kekerasan (metode Brinell) dan keausan (*universal wear*)
4. Melakukan analisa hasil dengan cara membandingkan ukuran grafit, penyebaran grafit, serta jenis matrik penyusun di sekitar grafit terhadap kekerasan dan laju keausan.
5. Mengambil kesimpulan.

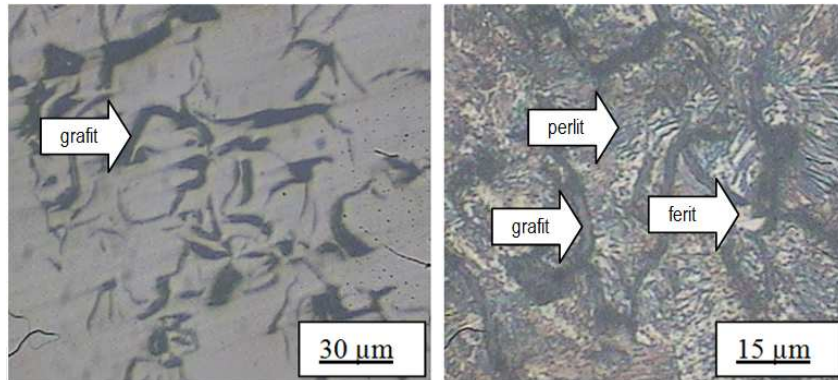
**HASIL PENELITIAN**

**Pengujian Metalografi**

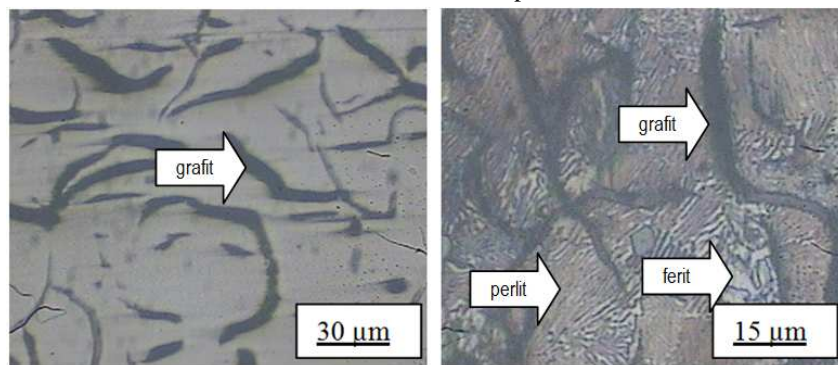
Hasil pengujian metalografi seperti terlihat pada Gambar 2 hingga Gambar 6. Pengambilan foto spesimen tanpa etsa dilakukan dengan perbesaran lensa okuler dan obyektif masing-masing 10x (perbesaran total 100x), sedangkan spesimen yang di etsa menggunakan perbesaran lensa okuler 10x dan obyektif 20x (perbesaran total 200x). Pengamatan pertama dilakukan pada spesimen sebelum dilakukan proses etsa karena pengamatan difokuskan pada ukuran grafit. Sedangkan pengamatan kedua dilakukan pada spesimen yang telah dilakukan proses etsa sehingga struktur mikro disekitar grafit menjadi lebih jelas. Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui bentuk, ukuran dan penyebaran matrik penyusun.



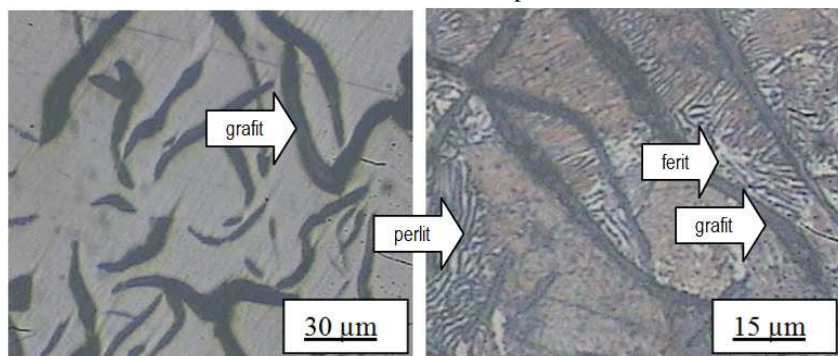
Gambar 2. Struktur mikro spesimen 1



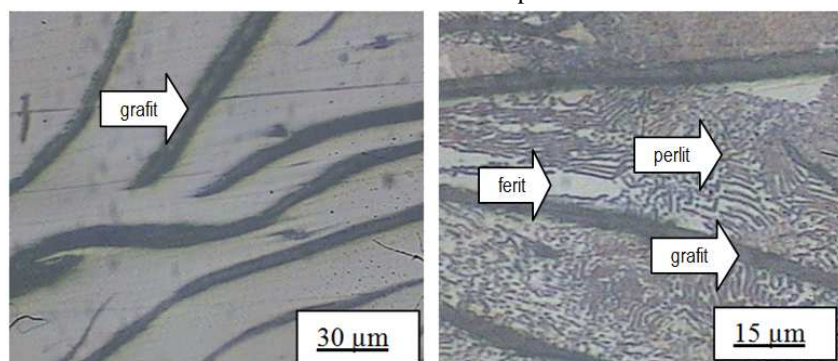
Gambar 3. Struktur mikro spesimen 2



Gambar 4. Struktur mikro spesimen 3



Gambar 5. Struktur mikro spesimen 4



Gambar 6. Struktur mikro spesimen 5



### Pengujian Keausan

Pengujian laju keausan dilakukan dengan alat *universal wear machine* dengan hasil seperti terlihat pada Tabel 1. Pengujian keausan dilakukan dengan cara spesimen digesek menggunakan *revolving disk* ketebalan 3,45 mm dan jari-jarinya 13,6 mm selama 60 detik dengan pembebanan 6,36 kgf. Besarnya keausan dilihat dari banyaknya volume yang hilang pada saat diberikan pembebanan sebesar 6,36 kgf sejauh 15 m.

Tabel 1. Hasil Pengujian Keausan

Spes.	Lebar wear b (mm)	Panjang wear B (mm)	Volume tergores W (mm <sup>3</sup> )	Nilai keausan Wsi (mm <sup>3</sup> /kg.m)
1	1.50	2.70	0.05584	0.00088
2	1.35	2.65	0.03995	0.00063
3	1.25	2.66	0.03183	0.00050
4	1.10	2.55	0.02080	0.00033
5	0.95	2.50	0.01313	0.00021

### Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode indentasi Brinnel karena struktur mikro yang tidak homogen (terdapat grafit dengan ukuran cukup besar dengan penyebaran merata). Besar beban yang digunakan adalah 187,5 kgf dengan hasil seperti terlihat pada Tabel 2.

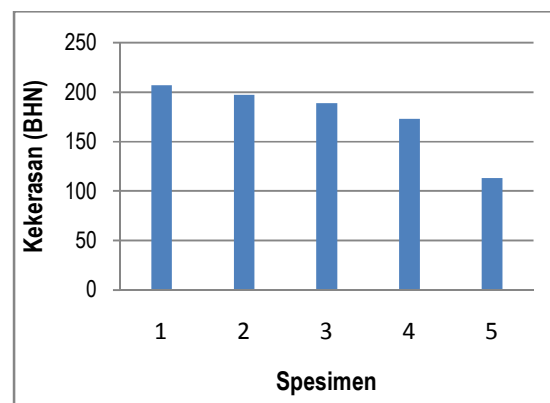
Tabel 2. Hasil Pengujian Kekerasan

Spes.	D rata-rata (mm)	Kekerasan (BHN)	Kekerasan Rata-Rata (BHN)
1	1,05	206.63	207
	1,05	206.63	
	1,05	206.63	
2	1,08	194.73	197
	1,08	194.73	
	1,06	202.55	
3	1,10	187.33	189
	1,09	190.98	
	1,10	187.33	
4	1,14	173.68	173
	1,14	173.68	
	1,15	170.49	
5	1,37	116.85	113
	1,38	115.00	
	1,42	107.97	

### PEMBAHASAN

Pengamatan struktur mikro yang diperoleh (menggunakan *metalurgical microscope*) terlihat seperti pada Gambar 2 hingga Gambar 6. Berdasar pengamatan struktur mikro blok rem terlihat grafit berbentuk serpih (*flake*) tipe A yang tersebar merata dengan orientasi sebarang. Perbedaan terlihat dari ukuran grafitnya, sedangkan matrik penyusun terlihat sama yang didominasi perlit (80-90%) dan sedikit ferrit (10-20%). Ukuran grafit mempunyai *trend* membesar jika dibandingkan antara spesimen 1 hingga 5. Ukuran grafit pada spesimen 1 berukuran paling kecil (panjang dan lebar rata-rata sekitar 30  $\mu\text{m}$  dan 2  $\mu\text{m}$ ) sedangkan ukuran grafit pada spesimen 5 berukuran paling besar (panjang dan lebar rata-rata sekitar 225  $\mu\text{m}$  dan 9  $\mu\text{m}$ ). Ukuran dan penyebaran grafit berpengaruh pada harga kekerasan (Gambar 8) dan laju keausannya (Gambar 9).

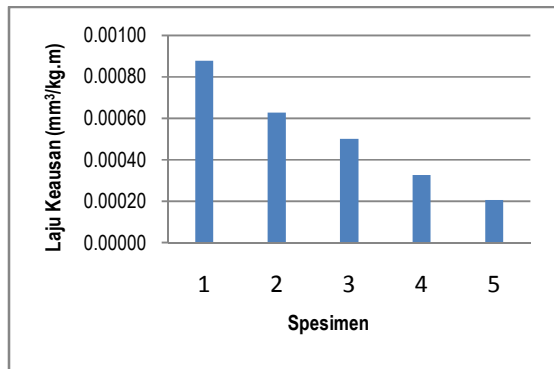
Harga kekerasan spesimen 1 hingga 5 secara berturut-turut adalah 207, 197, 189, 173 dan 113 BHN. Nilai kekerasan yang distandarkan oleh PT KAI untuk blok rem adalah 175 hingga 197 BHN. Dari data yang diperoleh hanya spesimen 2 dan 3 saja yang memenuhi standar. Ukuran grafit pada spesimen 2 dan 3 mempunyai panjang rata-rata 40 sd 70  $\mu\text{m}$  dan lebar rata-rata sekitar 5  $\mu\text{m}$ . Spesimen 1 dengan ukuran grafit paling kecil mempunyai kekerasan tertinggi (207 BHN) sedangkan spesimen 5 dengan ukuran grafit paling besar mempunyai kekerasan terendah (113 BHN) hal ini disebabkan grafit mempunyai kekerasan yang rendah (2 skala Mohs), namun mempunyai sifat *self lubrication* sehingga mampu menurunkan laju keausan [5]. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Sutiyoko [3] bahwa semakin banyak terbentuk grafit maka kekerasan benda cor akan semakin menurun.



Gambar 8. Hasil pengujian kekerasan

Laju keausan spesimen 1 hingga 5 secara berturut-turut adalah  $8,8 \cdot 10^{-4}$ ;  $6,3 \cdot 10^{-4}$ ;  $5,0 \cdot 10^{-4}$ ;  $3,3 \cdot 10^{-4}$  dan  $2,1 \cdot 10^{-4}$  mm<sup>3</sup>/kg.m seperti terlihat pada Gambar 9. Grafit akan berfungsi sebagai *lubrication* pada saat

blok rem saat bergesekan dengan roda sehingga semakin besar ukuran grafit maka laju keausan akan semakin rendah (tahan aus). Hal tersebut dapat dilihat laju keausan spesimen 1 dengan ukuran grafit paling kecil mempunyai laju keausan terbesar ( $8,8 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{kg.m}$ ) sedangkan spesimen 5 dengan ukuran grafit paling besar mempunyai laju keausan paling rendah ( $2,1 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{kg.m}$ ). Laju keausan spesimen 5 turun hingga 76% dibanding spesimen 1.



Gambar 9. Hasil pengujian laju keausan

Perbedaan kekerasan dan laju keausan terutama dipengaruhi oleh ukuran grafit, karena matrik disekitar grafit pada semua spesimen adalah perlit dan ferit dengan perbandingan yang hampir sama seperti terlihat pada Gambar 2 hingga 6. Kekerasan yang tinggi pada spesimen 1 disebabkan karena grafit berukuran kecil sehingga matrik disekitar grafit adalah perlit yang lebih mendominasi dengan sedikit ferit. Namun spesimen tersebut mempunyai laju keausan yang tinggi karena kemampuan *self lubrication* yang rendah. Kekerasan yang rendah pada spesimen 5 disebabkan karena grafit berukuran besar walaupun matrik disekitar grafit juga perlit (lebih mendominasi) dan sedikit ferit, namun mempunyai laju keausan yang rendah karena sifat *self lubrication* yang baik. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan Sadino, dkk [1] yang mana perubahan grafit menjadi tipe D dengan ukuran *flake* yang kecil meningkatkan laju keausan.

## KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian yang dilakukan:

1. Kekerasan tertinggi (207 BHN) terjadi pada spesimen 1 dengan ukuran grafit terkecil dan kekerasan terendah terjadi pada spesimen 5 dengan ukuran grafit terbesar
2. Laju keausan terendah ( $2,1 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{kg.m}$ ) terjadi pada spesimen 5 dengan ukuran grafit terbesar (laju keausan turun hingga 76% dari spesimen 1).
3. Berdasar pengamatan struktur mikro, ukuran grafit dengan panjang rata-rata 40 s.d 70  $\mu\text{m}$  dan lebar rata-rata 5  $\mu\text{m}$  mempunyai nilai kekerasan standar untuk blok rem (175 sampai dengan 197 BHN).

## REFERENSI

- [1] Sadino, Farid, M, Arifin. S., 2010, Analisa Ketahanan Aus, Kekerasan dan Struktur Mikro ada Cylinder Liner Fc 25 dengan Penambahan 0,25% Tembaga (Cu), digilib.its.ac.id.
- [2] Surojo. E, dkk., 2013, Studi Pengaruh Struktur Mikro Terhadap Ketahanan Aus Besi Cor, *Simposium Nasional RAPI XII FT UMS*.
- [3] Sutiyoko dan Lutiyatmi., 2013, Kekerasan dan Struktur Mikro Besi Cor Kelabu pada Pengecoran *Evaporative* dengan Variasi Ukuran Pasir Cetak., *Jurnal Foundry Vol. 3*.
- [4] Pratowo, B. dan Kunarto., 2011, Peningkatan Kekerasan dan Ketahanan Aus Permukaan Besi Cor Kelabu Melalui Proses Boronisasi Momentum., Vol. 7, No. 1: 18-23.
- [5] Surdia, T., dan Saito, S., 1997, Pengetahuan Bahan Teknik., PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- [6] Suherman dan Wahid, 1987, Pengetahuan Bahan, Diktat Jurusan Teknik Mesin, ITS.
- [7] Higgins, A.R., 1984, *Engineering Metallurgy*., Part 1, Fifth Edition, Hodder and Stoughton, London.