

STUDI PENGARUH STRUKTUR MIKRO TERHADAP KETAHANAN AUS BESI COR

Eko Surojo, Didik Djoko Susilo, Teguh Triyono, Muhammad Lukman K.

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UNS

Jl. Ir. Sutami No. 36A Surakarta 57126, Tlp. (0271) 632163

Email : esurojo@yahoo.com

Abstrak

Pada penelitian ini dilakukan perbandingan ketahanan aus terhadap 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 yang digunakan di dalam penelitian ini memiliki komposisi kimia 2,63 %C-2,41 %Si-0,428 %Mn-0,006 %S-0,07 %Mg-0,021%Ti-0,068 %Cr-0,043 %Ni-0,123 %Cu-0,022 %W-0,019 %Mo-0,009 %Al-0,006 %Co-0,007 %V. 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. Uji keausan dilakukan dengan metode pin on disc. Parameter pengujian yang digunakan adalah beban penekanan sebesar 1.4 MPa, jarak tempuh 1,4 km dan kecepatan tangensial gesekan 4.5 m/s. 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.

Kata kunci : besi cor; ketahanan aus; struktur mikro

Pendahuluan

Compacted graphite iron (CGI) atau disebut juga *vermicular cast iron* memiliki kekuatan dan keuletan yang lebih tinggi dibandingkan dengan besi cor kelabu, serta memiliki konduktivitas panas, sifat *damping*, ketahanan panas dan kekuatan fatik yang lebih baik dibandingkan dengan besi cor nodular (Sun et al., 2008; Dayong et al., 2008). Besi cor bergrafit vermicular yang dipadu dengan pospor memiliki nilai koefisien gesek dan ketahanan aus yang lebih tinggi dibandingkan dengan besi cor bergrafit serpih maupun nodular (Zhang et al., 1993). Akan tetapi pada besi cor *austempered* bergrafit vermicular memiliki ketahanan aus yang lebih rendah dibandingkan bergrafit nodular (Hatate et al., 2001).

Besi cor vermicular antara lain diaplikasikan untuk pembuatan komponen *connecting fork*, *sproket wheel*, *exhaust manifold* dan piringan rem pada kereta api (Stefanescu, 1998). Besi cor vermicular juga diaplikasikan untuk bahan blok rem kereta api (Zhang et al., 1993). Besi cor vermicular dapat terbentuk pada proses pengecoran besi cor nodular jika terjadi *undertreatment* paduan Mg (Angus, 1976; Stefanescu, 2005). Di dalam proses pengecoran besi cor, unsur paduan Ti dan Al membantu terbentuknya grafit vermicular (Elbel and Hampl, 2009). Selain Mg, Ti dan Al, unsur yang mendorong terbentuknya grafit vermicular adalah unsur kalsium dan cerium (Stefanescu, 1998). Selain dipengaruhi oleh komposisi kimia, terbentuknya grafit vermicular dipengaruhi juga oleh laju pendinginan besi cor di dalam cetakan (Kopycinsky et al., 2012; Stefanescu, 2005).

Pengereman kereta api bekerja dengan cara menggesekkan permukaan gesek blok rem ke permukaan roda kereta api. Gesekan yang berlangsung selama pengereman menyebabkan blok rem mengalami keausan. Oleh karena itu dalam jangka waktu pemakaian tertentu atau umur pakainya telah habis, blok rem yang aus harus diganti dengan blok rem baru. Umur pakai blok rem tersebut sangat ditentukan oleh sifat ketahanan aus blok rem. Terkait dengan hasil penelitian Zhang et al. (1993) yang memperlihatkan keunggulan besi cor vermicular dalam hal ketahanan aus dan berpotensi untuk diaplikasikan sebagai bahan pembuatan blok rem metalik maka dilakukanlah penelitian ini. Pada penelitian ini dilakukan studi perbandingan terhadap 3 jenis besi cor yakni bergrafit serpih, nodular dan vermicular dalam hal kekerasan dan ketahanan aus.

Bahan dan Metode Penelitian

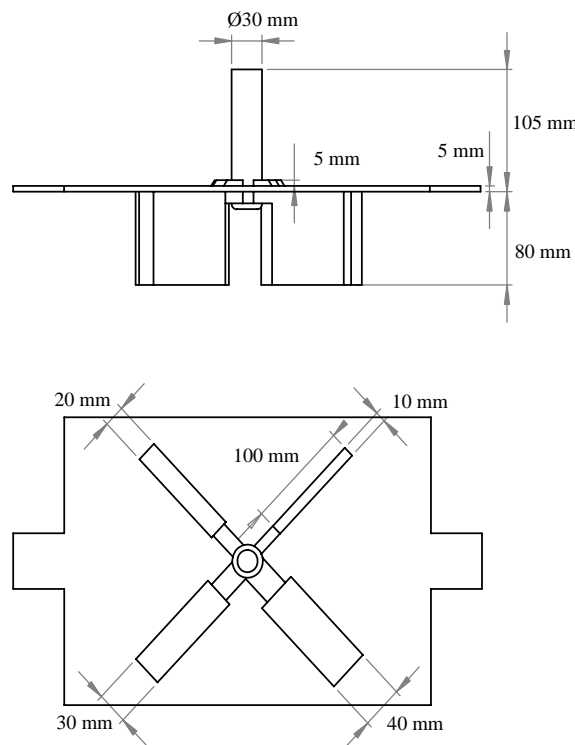
Bahan yang digunakan untuk pembuatan spesimen besi cor nodular dan vermicular memiliki komposisi kimia seperti ditunjukkan oleh Tabel 1. Bahan tersebut dihasilkan dari proses peleburan sekrap baja yang dicampurkan dengan arang batok kelapa. Peleburan bahan dilakukan menggunakan tungku induksi kapasitas 50 kg. Proses penambahan unsur paduan Mg dilakukan di dalam ladle. Sedangkan penuangan besi cor cair dari tungku induksi ke ladle dilakukan pada temperatur 1450 °C.

Besi cor cair yang sudah dipadu dengan unsur Mg dituang ke dalam cetakan pasir basah. Disain pola yang digunakan diperlihatkan pada Gambar 1. Pola tersebut digunakan untuk menghasilkan coran dengan variasi tebal 10 mm, 20 mm, 30 mm dan 40 mm. Hasil coran kemudian dipotong untuk dibuat menjadi spesimen uji keausan dan struktur mikro. Sebelum uji keausan, spesimen terlebih dahulu dilakukan uji kekerasan dan struktur mikro untuk dilakukan perbandingan. Dari hasil uji keras dan pengamatan struktur mikro, selanjutnya dipilih spesimen yang bergrafit nodular dan vermicular yang memiliki kekerasan sama untuk dilakukan uji keausan. Sedangkan spesimen bergrafit serpih diperoleh dengan memotong sampel blok rem metalik kereta api. Spesimen uji keausan berbentuk silinder berukuran panjang 23 mm dan diameter 10 mm.

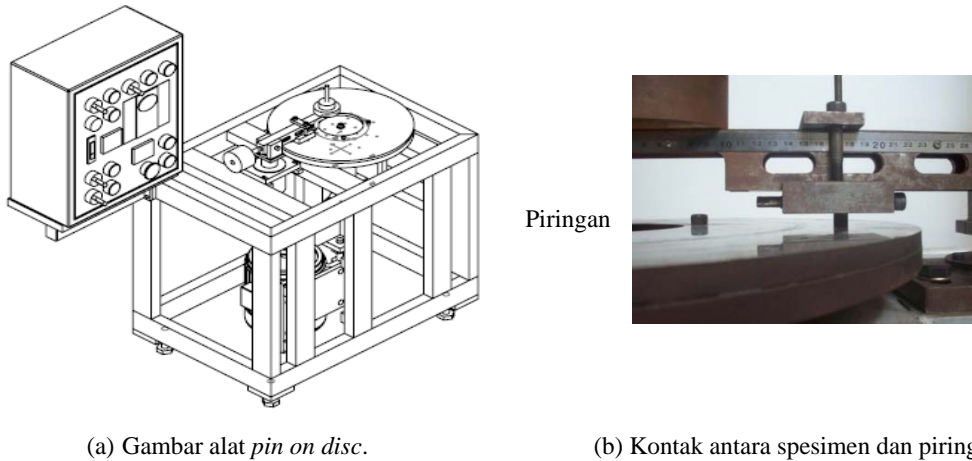
Uji keausan dilakukan dengan metode *pin on disc*. Skema alat uji keausan metode ini ditunjukkan oleh Gambar 2. Parameter pengujian yang digunakan adalah beban penekanan sebesar 1.4 MPa, jarak tempuh 1,4 km dan kecepatan tangensial gesekan 4.5 m/s. Sebelum dan sesudah pengujian, panjang spesimen diukur untuk menentukan volume aus.

Tabel 1. Komposisi kimia (% berat)

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C | Si | Mn | S | Mg | Ti | Cr | Ni | Cu | W | Mo |
| 2,63 | 2,41 | 0,428 | 0,006 | 0,07 | 0,021 | 0,068 | 0,043 | 0,123 | 0,022 | 0,019 |
| Al | Co | V | | | | | | | | |
| 0,009 | 0,006 | 0,007 | | | | | | | | |



Gambar 1. Pola yang digunakan.

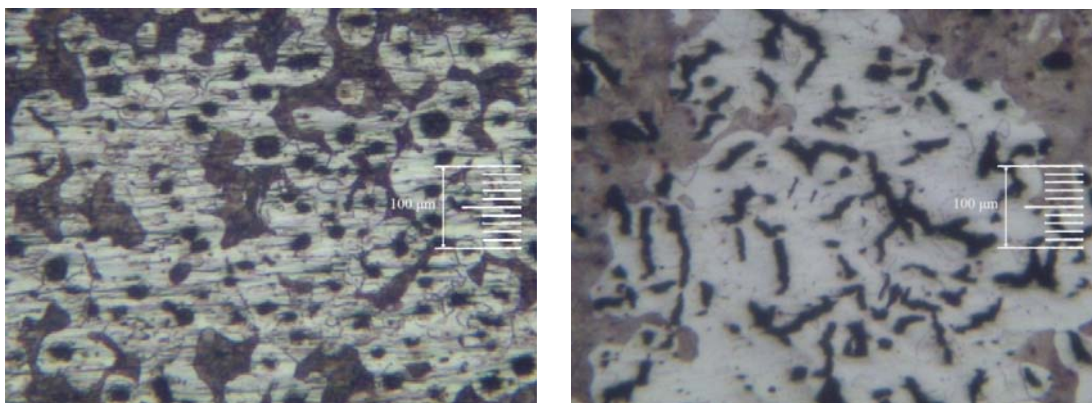


Gambar 2. Cara uji keausan.

Hasil dan Pembahasan

Pengecoran dengan variasi tebal coran menghasilkan 2 jenis bentuk grafit yakni grafit nodular dan grafit serpih. Grafit vermicular terbentuk pada tebal coran 40 mm, sedangkan pada tebal coran 10 mm, 20 mm, dan 30 mm terbentuk grafit nodular. Gambar 3a merupakan struktur mikro hasil coran pada tebal 10 mm yang memperlihatkan grafit nodular dan Gambar 3b memperlihatkan grafit vermicular hasil coran pada tebal 40 mm. Hasil struktur mikro tersebut terjadi karena dengan adanya variasi tebal coran yang menyebabkan adanya perbedaan laju pendinginan di antara hasil coran. Bentuk grafit yang dihasilkan pada proses pengecoran besi cor dengan paduan Mg dipengaruhi oleh laju pendinginan besi cor. Nodularitas grafit semakin tinggi dengan semakin cepatnya laju pendinginan (Stefanescu, 2005). Laju pendinginan pada tebal coran 10, 20 dan 30 mm relatif cepat sehingga menghasilkan grafit nodular. Sedangkan laju pendinginan pada tebal coran 40 mm relatif lambat sehingga menyebabkan grafit nodular tidak terbentuk secara sempurna dan yang terbentuk adalah grafit vermicular. Gambar 3 juga memperlihatkan bahwa struktur mikro hasil coran berupa fasa matrik yang terdiri atas fasa ferit dan perlit.

Dari hasil pengecoran variasi tebal tersebut selanjutnya dipilih hasil coran tebal 10 mm dan 40 mm untuk diuji lebih lanjut dengan uji keausan. Hal ini disebabkan karena dari uji kekerasan diperoleh angka kekerasan Brinell yang relatif sama antara spesimen uji aus hasil coran tebal 10 mm dan 40 mm. Hasil coran tebal 10 mm dijadikan spesimen untuk besi cor bergrafit nodular (GN) dan hasil coran tebal 40 mm dijadikan sampel untuk besi cor bergrafit vermicular (GV). Selanjutnya spesimen besi cor bergrafit serpih (GS) diperoleh dengan cara memotong blok rem metalik kereta api dan struktur mikronya diperlihatkan pada Gambar 4.

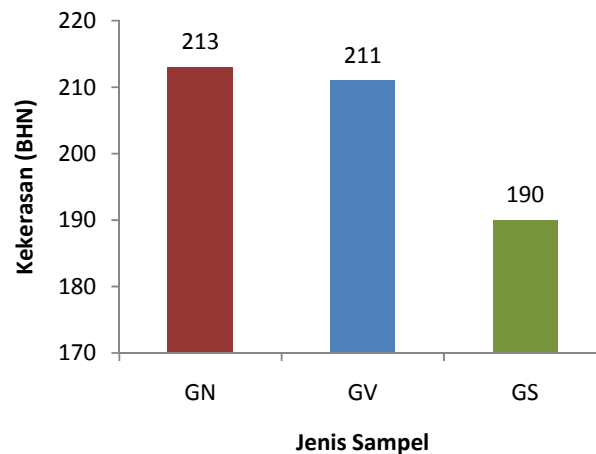


Gambar 3. Struktur mikro specimen bergrafit nodular dan vermicular.



Gambar 4. Struktur mikro spesimen bergrafit serpih yang dipotong dari blok rem metalik.

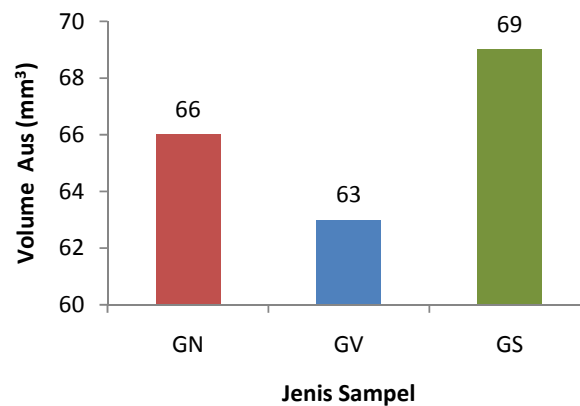
Hasil uji kekerasan ketiga jenis spesimen ditunjukkan oleh Gambar 5. Kekerasan spesimen bergrafit serpih yang dipotong dari hasil coran tebal 10 mm memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen bergrafit vermicular yang dipotong dari hasil coran tebal 40 mm. Hal ini disebabkan oleh laju pendinginan coran tebal 10 mm lebih cepat dibandingkan dengan coran tebal 40 mm. Meskipun begitu, dari Gambar 5 terlihat bahwa kekerasan spesimen bergrafit nodular dan spesimen bergrafit vermicular memiliki kekerasan yang relatif sama. Selanjutnya, spesimen bergrafit serpih (GS) yang dipotong dari blok rem metalik memiliki kekerasan yang lebih rendah jika dibandingkan dengan kekerasan spesimen bergrafit nodular (GN) dan bergrafit vermicular (GV).



Gambar 5. Kekerasan spesimen uji aus.

Selanjutnya, hasil uji keausan ketiga jenis spesimen besi cor diperlihatkan oleh Gambar 6. Hasil ini menunjukkan bahwa spesimen besi cor bergrafit vermicular (GV) memiliki ketahanan aus yang lebih baik dibandingkan dengan spesimen besi cor bergrafit nodular (GN) dan serpih (GS). Hal ini ditandai dengan volume aus pada spesimen GV lebih rendah dibandingkan dengan spesimen GN dan GS. Spesimen GN dan GV memiliki nilai keausan yang relatif sama dan berbeda dalam hal struktur mikronya (bentuk grafit). Jadi dapat dikatakan bahwa perbedaan volume aus antara spesimen GN dan GV tersebut karena dipengaruhi oleh adanya perbedaan bentuk grafit. Hal ini terjadi karena sifat tribologi besi cor dipengaruhi oleh struktur mikronya (Prasad, 2007; Zhang et al., 1993; Zhang et al., 2002). Pada saat uji keausan berlangsung maka temperatur di permukaan kontak antara pin (spesimen) dan piringan mengalami peningkatan yang disebabkan oleh panas akibat gesekan. Panas yang dihasilkan akibat gesekan tersebut dipengaruhi oleh besarnya nilai koefisien gesek (Prasad, 2007). Selanjutnya, peningkatan temperatur pin dapat menyebabkan terjadinya penurunan nilai kekerasan di permukaan pin (Hirasata et al., 2007). Jika temperatur meningkat maka akan terjadi penurunan kekerasan di permukaan kontak, dan efek selanjutnya menyebabkan terjadinya penurunan ketahanan aus di permukaan pin. Peningkatan temperatur di permukaan kontak

dipengaruhi oleh koefisien konduktivitas thermal dari besi cor yang diuji. Semakin tinggi koefisien konduktivitas thermal suatu besi cor akan menghasilkan peningkatan temperatur di permukaan kontak yang semakin rendah, demikian juga sebaliknya. Besi cor bergrafit vermicular memiliki koefisien konduktivitas thermal lebih tinggi dibandingkan dengan besi cor bergrafit nodular (Hirasata et al., 2007). Oleh karena itu, temperatur di permukaan kontak pada spesimen bergrafit nodular lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen bergrafit vermicular (Zhang et al., 2002). Selain itu, perbedaan bentuk grafit juga berpengaruh terhadap adanya perbedaan dalam hal kemampuan untuk memberikan lubrikasi pada permukaan gesek. Besi cor bergrafit vermicular memiliki partikel grafit dengan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan besi cor nodular dimana kondisi tersebut memungkinkan terbentuknya lubrikasi yang lebih efektif di permukaan kontak (Prasad, 2007). Selanjutnya, hasil uji keausan juga memperlihatkan bahwa volume aus pada spesimen besi cor bergrafit serpih (GS) lebih besar dibandingkan dengan spesimen GN dan GV. Kondisi ini disebabkan karena kekerasan spesimen GS lebih rendah dibandingkan dengan spesimen GN dan GV. Kekerasan besi cor dipengaruhi oleh fasa matriknya dimana semakin banyak fasa perlit menghasilkan kekerasan besi cor yang semakin tinggi. Kekerasan spesimen GS lebih rendah kemungkinan disebabkan karena jumlah fasa perlit pada spesimen GS lebih sedikit dibandingkan dengan spesimen GN dan GV. Oleh karena itu, hasil ini belum dapat digunakan untuk membandingkan pengaruh bentuk grafit vermicular dan nodular dengan serpih terhadap ketahanan aus besi cor.



Gambar 6. Volume aus hasil uji keausan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Struktur mikro hasil pengecoran pada besi cor yang mengandung paduan Mg dipengaruhi oleh ketebalan coran. Semakin tebal coran mendorong terbentuknya grafit vermicular. Sebaliknya logam coran yang semakin tipis cenderung menghasilkan grafit nodular.
2. Besi cor bergrafit vermicular memiliki ketahanan aus yang lebih tinggi dibandingkan dengan besi cor bergrafit nodular.
3. Perlu dilakukan penelitian lanjutan :
 - a. Uji keausan terhadap spesimen besi cor bergrafit vermicular dan serpih yang memiliki kekerasan sama.
 - b. Pada saat uji keausan berlangsung dilakukan pengukuran temperatur spesimen dan nilai koefisien gesek.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada LPPM UNS yang telah membiayai penelitian ini melalui skema Penelitian Hibah Bersaing. Penelitian ini dibiayai oleh dana BOPTN Universitas Sebelas Maret tahun anggaran 2013.

Daftar Pustaka

- Angus, H.T., (1976), "*Cast Iron : Physical and Engineering Properties*", Butterworths, London.
- Dayong, L., Dequan, S., and Lihua, W, (2008), "Monitoring of Quality of Vermicular Cast Iron from the Front of the Furnace", *Tsinghua Science and Technology*, Vol. 2, pp. 137-141.
- Elbel, T and Hampl, J., (2009), "Influence of Al and Ti on Microstructure and Quality of Compacted Graphite Iron Casting", *Metabk*, Vol. 48 (4), pp. 243-247.

- Hatate, M., Shiota, T., Takahashi, N. and Shimizu, K., (2001), "Influences of Graphite Shapes on Wear Characteristics of Austempered Cast Iron", *Wear*, Vol. 251, pp. 885-889.
- Hirasata, K., Hayashi, K. and Inamoto, Y., (2007), "Friction and wear of several kinds of cast irons under severe sliding conditions", *Wear*, Vol. 263, (2007) , pp. 790-800.
- Kopycinsky, D., Guzik, E., Nowak, A., Roududa, M., and Sokolnicki, M., (2012), "Preparation Vermicular Graphite in Thin and Thick Wall Iron Castings", *Archives of Foundry Engineering Poland*, Vol.12, pp. 41-44.
- Prasad, B.K., (2007), "Sliding wear response of cast iron as influenced by microstructural features and test condition", *Materials Science and Engineering A* , Vol. 456, pp. 373-385.
- Stefanescu, D.M., (2005), "Compacted Graphite Iron", *ASM Handbook*, Vol. 1(Properties and Selection : Irons, Steels, and High Performance Alloys), ASM International.
- Stefanescu, D.M., (1998), "Compacted Graphite Iron", *ASM Handbook*, Vol. 5 (Casting), ASM International.
- Sun, X.J., Li, Y.X., and Chen, X., (2008), "Identification and Evaluation of Modification Level for Compacted Graphite Cast Iron", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 200, pp. 471-480.
- Zhang, Y.Z., Chen, Y., He., R. and Shen., B., (1993), "Investigation of Tribological Properties of Brake Shoe Materials Phosphorous Cast Irons with Different Graphite Morphologies", *Wear* , Vol. 166, hal. 179-186.
- Zhang, Y.Z., Wu, S.J., Liu, W.M., Chen, Y., Shang Guan, B., Tie, X.H. and Nia, F., (2002), "Metallurgical investigations of dry sliding surface layers in phosphorus iron/steel friction pairs", *Wear*, Vol. 252, pp. 269-275.