

PENGARUH PENAMBAHAN MOLYBDENUM (Mo) DAN NIKEL (Ni) TERHADAP STRUKTUR MIKRO, UJI KEKERASAN DAN KETAHANAN AUS BESI COR KELABU

*Sulistyo Endri Purwanto¹, Sugeng Tirta Atmadja².

¹) Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²) Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

* Email: sulistyoendripurwanto@gmail.com

ABSTRACT

Grey cast iron is kind of material that mostly used in parts and spare parts vehicle industries. One among of them is engine block. By using, engine block receive repeated frictions or dynamic load. This process takes place naturally and is not characteristic basic material. But, the material response to external systems when there are surfaces rub against each other. Resulting in increased material loss caused by the relative movement of objects. Therefore, to increase the wear endurance of grey cast iron, the addition of element molybdenum and nickel. There are three specimens tested in this experiment, base material (0,02 % Mo and 0,07% Ni), mixture 1 (0,15 Mo and 0,17 % Ni), and mixture 2 (0,12 % Mo and 0,22 % Ni). Chemical composition test by using spectrometer, testing to determine the micro structure micrographic, hardness test in Rockwell A that be conversed to Brinell, and wear test by using pin on disk tipe. The results showed that an increase in the mechanical properties of gray cast iron after the addition of molybdenum and nickel is the value of hardness are increased in series 197,14 HB, 213,33 HB, and 205,52HB. While the percentage obtained for the wear test material, base material loss of 0,0007 %, 0,0001 of mixture 1 and 0,0008 % of mixture 2.

Key words: grey cast iron, pin on disk, wear test.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan yang pesat dalam industri logam dan mesin akan meningkatkan persaingan dalam upaya peningkatan efisiensi produk. Perkembangan tersebut secara tidak langsung menuntut tersedianya bahan untuk komponen-komponen permesinan yang memiliki karakteristik tertentu sesuai dengan penggunaannya. Salah satunya adalah tingkat keausan suatu komponen.

Besi cor merupakan salah satu dari beberapa jenis material yang saat ini banyak digunakan dalam perindustrian. Beberapa penggunaan dari besi cor adalah untuk bahan dasar pembuatan rangka mesin industri sampai pada komponen-komponen kendaraan bermotor atau mobil, rumah pompa, *gear block*, *engine block* dan sebagainya. Diantara tiga jenis besi cor yang ada, yaitu besi cor putih, besi cor kelabu, dan besi cor nodular, besi cor kelabu (*grey cast iron*) merupakan besi cor yang paling banyak digunakan saat ini.

Besi cor kelabu merupakan paduan Fe-C seperti halnya baja. Material ini merupakan material teknik yang banyak digunakan, hal ini disebabkan oleh kemudahan proses pembuatan, mampu dibuat secara massal dan biaya proses yang kompetitif. Meskipun banyak menawarkan keuntungan, tetapi terdapat beberapa kekurangan yaitu sifat mekaniknya tidak setinggi baja [1]. Besi cor kelabu memiliki keuletan dan kekuatan tarik yang rendah disebabkan grafitnya berbentuk *flake* (serpihan, lempengan melengkung), dimana setiap *flake* merupakan takikan yang dapat menurunkan kekuatan, keuletan, dan ketangguhan.

Untuk memperbaiki sifat mekanisnya, besi cor kelabu lazim dipadu dengan unsur paduan krom,

molybdenum dan vanadium merupakan unsur paduan yang mampu bertindak sebagai penggalak karbida (carbide promoter).

Suatu sistem permesinan akan terdapat kontak antar permukaan komponen, yaitu berupa kontak titik, kontak permukaan, dan kontak garis. Ketika kontak antar komponen tersebut terdapat sebuah gaya mekanik, maka akan timbul suatu fenomena yang disebut dengan keausan. Keausan didefinisikan sebagai kerusakan suatu permukaan benda yang secara umum berhubungan dengan peningkatan hilangnya material yang disebabkan oleh pergerakan relatif benda dan sebuah substansi kontak [2]. Keausan merupakan hal yang sangat penting dalam rekayasa permesinan, namun hal ini sering diabaikan. Proses keausan sangat sulit untuk diamati secara kasat mata, walaupun mudah untuk dikenali. Proses ini berlangsung berangsur-angsur secara alami dan bukan merupakan sifat dasar material, melainkan respon material terhadap sistem luar (kontak permukaan) ketika ada permukaan material yang saling bergesekan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi keausan adalah kecepatan, pembebanan, kekasaran permukaan, dan kekerasan material. Semakin besar kecepatan relatif benda yang bergesekan, maka tingkat keausan semakin tinggi. Demikian pula semakin besar tekanan pada permukaan kontak benda, material akan cepat mengalami keausan. Keausan suatu bahan dapat diuji dengan menggunakan alat uji keausan diantaranya alat uji keausan tipe *pin on disk*. Alat uji keausan harus berdasarkan standar ASTM G 99-04 [3]. Adapun tujuan yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah:

Untuk mengetahui pengaruh penambahan molybdenum dan nikel yang divariasikan terhadap uji kekerasan besi cor kelabu. Untuk mengetahui pengaruh penambahan molybdenum dan nikel yang divariasikan terhadap ketahanan aus besi cor kelabu. Mencari hubungan pengaruh penambahan molybdenum dan nikel terhadap ketahanan aus besi cor kelabu. Lingkup pembahasan penelitian adalah sebagai berikut:

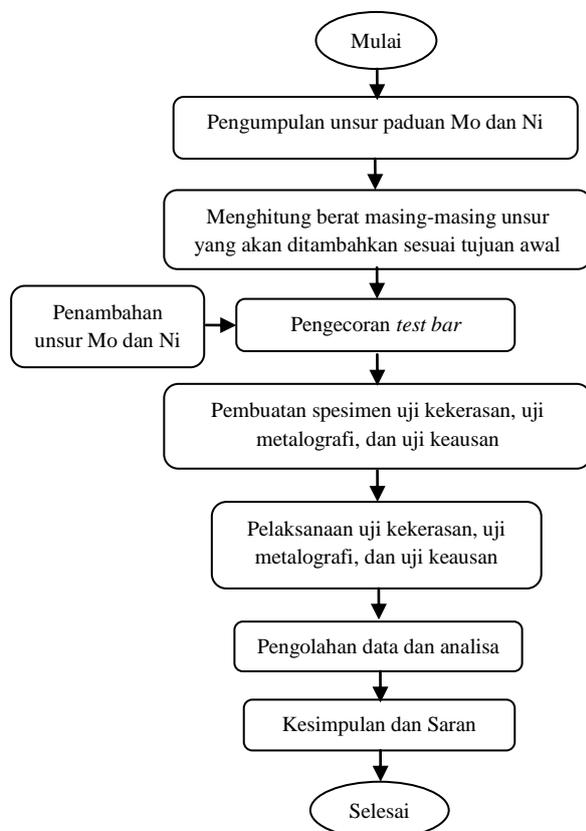
- Material yang di uji adalah besi cor kelabu (*grey cast iron*).
- Unsur yang ditambahkan adalah Molybdenum dan Nikel.
- Pengujian sifat mekanis material yaitu pengujian kekerasan dan ketahanan aus.

2. MATERIAL DAN METODOLOGI

2.1. Besi Cor Kelabu

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah besi cor kelabu dengan kandungan Molybdenum sebesar 0,02% sampai 0,15% dan kandungan Nikel sebesar 0,07% sampai 0,22%. Besi cor kelabu memiliki Berat Jenis antara 6,7 sampai 7,3 gr/cm³, Titik Lebur antara 1150 sampai 1300 °C, Kekuatan Tarik antara 124 sampai 276 Mpa, dan memiliki nilai Kekerasan antara 150 sampai 250 HB.

2.2. Diagram alir penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

2.3. Prosedur Pengujian

Untuk mengetahui pengaruh unsur Mo dan Ni terhadap kekuatan besi cor kelabu, maka pada komposisi material dasar ditambah Mo dan Ni sampai persentase tertentu. Penambahan Mo direncanakan sebesar 0,3% sampai 0,32%, dan penambahan Ni sebesar 0,5% sampai 1,25%. Dalam pembuatan *test bar* meliputi penentuan dimensi *test bar*, desain pola, dan cetakan. Pola yang dipilih dalam pembuatan *test bar* adalah menggunakan pola kayu, alasannya karena murah, cepat dibuatnya dan mudah diolahnya dibanding pola logam. Pola yang akan dibuat berbentuk silinder dengan diameter 25 mm dan panjang 450 mm pola yang dibuat berbentuk *cup* dan *drag* dengan bidang pisah tepat setengah diameternya. Cetakan yang digunakan adalah cetakan pasir yang diletakkan pada permukaan tanah, pasir yang digunakan adalah jenis pasir kwarsa ukuran 60 ditambah bentonit 1-2%, air 5% dan seacoal atau grafit. Bentonit berfungsi sebagai perekat pasir sehingga pasir tidak mudah ambrol. Material dasar yang digunakan dalam proses peleburan antara lain: *pig iron*, skrap baja, besi hancuran, *foundary return*, FeSi75, dan FeMn. *Pig iron* yang digunakan memiliki komposisi Mn 0,1%, Si 1,74%, P 0,042% dan S 0,0057%. *Foundry return* yang dipakai berasal dari material sisa-sisa proses pengecoran terdiri dari FC 15 dan FC 20. FeSi 75 mangan memiliki komposisi kimia Si 79,76%, C 0,077%, S 0,0029% dan Al 1,12%. Skrap baja yang digunakan memiliki komposisi kimia C 0,7%, Si 0,2%, Mn 0,4%, P 0,03% dan S 0,03% FeMn yang digunakan memiliki komposisi C 6,70%, Si 0,71%, Mn 75,5%, P 0,3%, dan S 0,2%. Logam yang telah cair pada penampungannya di tanur induksi dengan temperatur 1200°C-1300°C dialirkan ke ladle besar (kapasitas 60 kg), sebelum dipindahkan ke ladle yang kecil dengan kapasitas ± 15 kg, material paduan dimasukkan terlebih dahulu ke dalam ladle. Selanjutnya baru mulai dilakukan penuangan logam cair dari ladle besar ke ladle kecil dengan harapan material paduan yang ditambahkan dapat larut dan bercampur dengan logam cair tersebut. Untuk mempermudah distribusi grafit ditambahkan inokulan pada logam cair pada saat logam cair pada ladle. Besi cor kelabu dapat ditingkatkan kekuatannya dengan cara melakukan penambahan unsur kromium (Cr), tembaga (Cu), molybdenum (Mo) dan nikel (Ni). Kromium yang ditambahkan berasal dari *ferrochrome medium carbon* dengan kandungan kromium sebesar 65%. Tembaga yang digunakan adalah jenis dari kabel dinamo mobil dengan asumsi kandungan Cu 90%. Unsur molybdenum berasal dari *ferromolybdenum* dengan asumsi kandungan unsur Mo sebesar 60%. Nikel diperoleh dari *ferro-nikel* dengan asumsi kandungan unsur Ni sebesar 90%. Jumlah spesimen yang dibuat berjumlah 36 benda uji masing-masing 12 batang untuk setiap variabel. Sebelum dilakukan proses pemesinan, material yang masih mengandung pasir pada permukaannya dilakukan penggerindaan untuk mempermudah proses pemesinan. Untuk proses pemesinan menggunakan mesin bubut

konvensional atau manual, ini dilakukan sampai memperoleh dimensi akhir yang diharapkan. Untuk keperluan pengujian lelah dimensi spesimen mengacu pada standar JIS Z 2774 dengan diameter kecil 8 mm, diameter besar 12 mm, panjang 100 mm, dan *radius* 24 mm.

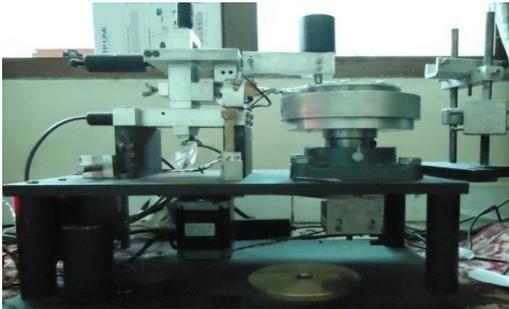
2.4. Pengujian Keausan

Pengujian keausan ini bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai material yang mengalami aus dengan cara menghitung selisih antara berat awal spesimen sebelum pengujian dan berat spesimen setelah pengujian yang dinyatakan dalam satuan gram.

a. Persiapan Pengujian

Dalam proses pengujian keausan ini perlu diperhatikan beberapa hal sebagai berikut:

- Memasang piringan (*disk*) pada alat uji dan pada pemegang spesimen dipasang spesimen.
- Diatas pemegang spesimen dipasang pemberat, dan mengatur jarak spesimen pada radius tertentu dari pusat piringan.
- Setelah semua terpasang dengan baik kemudian motor penggerak piringan dijalankan bersamaan dengan motor penggerak lengan pemegang spesimen.



Gambar 2. Alat uji keausan tipe *pin on disk*



Gambar 3. Spesimen uji keausan



Gambar 4. Abrasive paper (*amplas*)

b. Langkah pengujian

- Sebelum pengujian:
 - Memasang amplas pengabrasi yang telah di sesuaikan dengan ukuran piringan mesin uji.



Gambar 5. Abrasive paper yang telah terpasang pada alat uji keausan

- Menyetel kedataran permukaan piringan yang telah dipasang amplas dan kedataran lengan dengan menggunakan *waterpass*.
- Spesimen terlebih dahulu dibersihkan dengan alkohol kemudian dikeringkan
- Menimbang spesimen untuk mengetahui beratnya sebelum dilakukan pengujian dengan menggunakan neraca digital dengan tingkat ketelitian 0,0001 gram.



Gambar 6. Neraca digital

- Saat pengujian
 - Memasang spesimen pada pemegang spesimen dengan posisi tegak lurus terhadap permukaan datar disk.



Gambar 7. Spesimen yang telah dipasang pada pemegang spesimen

- Memasang beban sebagai gaya penekan spesimen, dengan besar beban yang konstan.
- Menghidupkan saklar motor penggerak dari alat uji.
- Mengatur jumlah variasi putaran: 5, 15, 45 dan 120 putaran.



Gambar 8. Variasi putaran

- Mengembalikan saklar motor penggerak disk pada posisi off.
- Melepaskan beban penekan spesimen.
- Melepaskan spesimen dan dibersihkan dengan alkohol kemudian dikeringkan.
- Menimbang spesimen untuk mengetahui massa yang hilang setelah pengujian.
- Mengulang kembali langkah diatas untuk pengujian selanjutnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Uji Metalografi

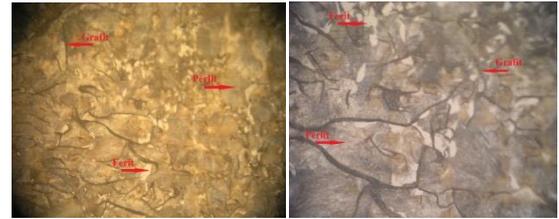
Untuk memperoleh data struktur mikro dari masing-masing spesimen perlu dilakukan pengujian metalografi. Pengujian dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro menggunakan Mikroskop Optik dengan perbesaran 100x. Spesimen yang digunakan untuk pengujian struktur mikro berbentuk silinder dengan ukuran diameter sebesar 10 mm dan tebal 5 mm.



Gambar 9. Struktur mikro spesimen *base material*



Gambar 10. Struktur mikro spesimen campuran 1



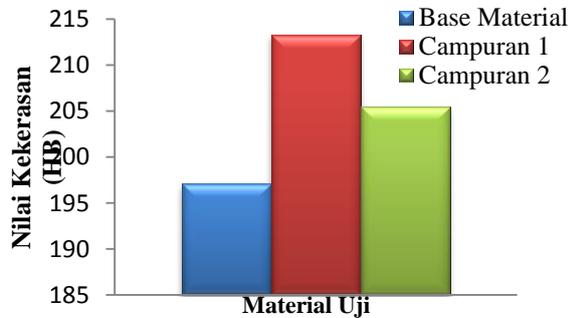
Gambar 11. Struktur mikro spesimen campuran 2

Gambar 9, 10, dan 11 memperlihatkan struktur mikro dari tiap-tiap spesimen dengan perbesaran 100x dan di etsa menggunakan nital, dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa struktur mikro besi cor kelabu *base material*, campuran 1, dan campuran 2 distribusi grafitnya menunjukkan tipe A yang terbagi merata dan orientasi sembarang. Struktur yang dihasilkan adalah memiliki struktur perlit. Bentuk grafitnya berupa serpih sehingga secara sederhana dapat dikatakan bahwa fasa besi cor kelabu berupa ferit/perlit + grafit serpih dengan sifat: agak getas yang dikarenakan ujung-ujung grafit berbentuk serpih tajam, akibatnya konsentrasi tegangan tinggi sehingga mudah patah. Struktur mikro pada Gambar 9 sampai Gambar 11 menunjukkan bahwa metode pencampuran unsur molybdenum dan nikel yang dilakukan tidak sesuai dengan perencanaan awal. Hal ini ditunjukkan pada struktur mikro campuran 2 memiliki matrik ferit yang lebih banyak sehingga akan mempengaruhi kekerasan dan ketahanan ausnya. Lazimnya semakin besar penambahan unsur paduan semakin mampu meningkatkan kekerasan suatu material. Meskipun demikian peningkatan sifat mekanik lebih lanjut dengan cara tersebut sangat sulit dilakukan lagi. Hal ini disebabkan oleh kelarutan unsur paduan dalam matrik memiliki batas tertentu. Penambahan unsur paduan yang melebihi batas kelarutan, menyebabkan unsur tersebut akan terdapat dalam keadaan bebas dan menurunkan sifat mekanik material. Dengan demikian unsur molybdenum dan nikel tidak dapat larut padat dengan sempurna dalam matrik. Meskipun dengan fasa matrik sama, tetapi kandungan unsur molybdenum tiap campuran berbeda. Sehingga tiap-tiap campuran memiliki kekerasan dan ketahanan aus yang berbeda. Mekanisme penguatan bahan seperti ini dikenal dengan mekanisme *solid solutions strengthening*.

3.2 Hasil Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan menggunakan mesin *Rockwell Hardness Tester Model HR 150 A* dengan Skala HRA sehingga beban mayor = 60 kgf dan beban minor = 10 kgf. Perhitungan dengan menggunakan data skala HRA yang diperoleh, maka dapat diketahui Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada material uji campuran 1 kemudian untuk nilai kekerasan terendah pada material uji *base material*. Nilai kekerasan tertinggi sebesar 213,33 kekerasan Brinell. Penyebab kekerasan tinggi juga karena terdapat grafit halus dalam matriks ferit yang dapat dilihat dari struktur mikronya. Nilai kekerasan yang didapat dapat

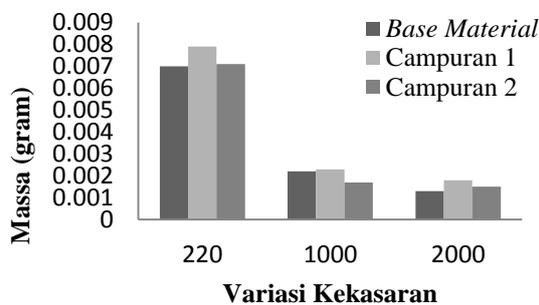
dihubungkan dengan ketahanan ausnya. Pengaruh penambahan unsur-unsur seperti Mo dan Ni dalam logam cair besi cor kelabu akan meningkatkan kekerasan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 12. Semakin tinggi persentase unsur-unsur paduan yang ditambahkan maka semakin besar pula nilai kekerasannya sehingga ketahanan ausnya akan semakin baik.



Gambar 12. Grafik hasil perbandingan nilai kekerasan rata-rata material uji *base material*, campuran 1, dan campuran 2.

3.3 Hasil Uji Keausan

Pengujian keausan menggunakan alat uji keausan tipe *pin on disk*. Pengujian dilakukan di Laboratorium Perancangan Teknik dan Tribologi Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro.



Gambar 13. Grafik hasil perbandingan persentase massa dengan variasi kekerasan

Berdasarkan data pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 13 diatas dapat diketahui bahwa pada *base material*, campuran 1 dan campuran 2 dengan menggunakan kekasaran permukaan yang tinggi yaitu *abrasive paper* 200, persentase material yang hilang akibat keausan menjadi semakin tinggi pula. Untuk *base material* berkurang sebesar 0,0070 gram untuk campuran 1 berkurang sebesar 0,0079 gram, sedangkan untuk campuran 2 berkurang sebesar 0,0071 gram. Hal tersebut menunjukkan semakin tinggi kekasaran permukaan maka akan semakin tinggi pula nilai keausan material tersebut. Meskipun demikian dengan menggunakan *abrasive paper* 1000 terjadi perbedaan persentase nilai keausan yaitu pada *base material* yaitu berkurang sebesar 0,0022 gram dan campuran 2 sebesar 0,0017 gram. Sehingga keausan yang terjadi

pada *base material* lebih baik dibandingkan campuran 2, hal ini dapat disebabkan karena proses penambahan unsur molybdenum dan nikel tidak sesuai dengan perencanaan awal, dapat disebabkan juga karena struktur matrik perlit yang diharapkan pada spesimen campuran 2 tidak tercapai. Hal tersebut diperkuat dengan hasil uji struktur mikrografinya. meskipun dengan fasa matrik yang sama, kandungan unsur molybdenum tiap campuran berbeda sehingga tiap-tiap campuran memiliki nilai kekerasan yang berbeda-beda.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil pengujian dapat disimpulkan, sebagai berikut:

- 1) Terjadi peningkatan nilai kekerasan terhadap *base material* setelah ditambahkan Mo dan Ni, *base material* = 197,14 HB, campuran 2 = 205,52 HB, dan campuran 1 = 213,33 HB.
- 2) Terjadi perbedaan massa yang hilang dalam uji keausan yaitu:
 - a) Untuk *base material* dengan kekerasan 220, persentase massa yang hilang sebesar 0,0070 gram, kekerasan 1000 sebesar 0,0022 gram dan kekerasan 2000 sebesar 0,0013 gram.
 - b) Untuk campuran 1 dengan kekerasan 220, persentase massa yang hilang sebesar 0,0079 gram, kekerasan 1000 sebesar 0,0023 gram dan kekerasan 2000 sebesar 0,0018 gram.
 - c) Untuk campuran 2 dengan kekerasan 220, persentase massa yang hilang sebesar 0,0071 gram, kekerasan 1000 sebesar 0,0017 gram dan kekerasan 2000 sebesar 0,0015 gram.
- 3) Terjadi peningkatan kandungan matrik perlit terhadap *base material* yaitu pada campuran 1 memiliki kandungan matrik perlit lebih banyak. sehingga hal ini berpengaruh terhadap ketahanan ausnya. Bahwa semakin banyak kandungan perlit yang terbentuk maka ketahanan aus akan semakin meningkat.
- 4) Keausan untuk campuran 1 lebih sedikit daripada campuran 2 dan *base material*. Tetapi dengan kekerasan 1000 keausan untuk *base material* lebih sedikit daripada campuran 2 hal itu disebabkan matrik perlit yang diharapkan pada spesimen campuran 2 tidak sesuai perencanaan, selain itu dapat disebabkan karena proses penambahan unsur molybdenum tidak dapat larut padat secara sempurna ke dalam matrik besi cor kelabu.

5. REFERENSI

- [1] Surdia, T., Saito, S., 1995, *Pengetahuan Bahan Teknik*, PT. Pradnya Paramita: Jakarta.
- [2] Blau, P.J, 2009, *Friction Science and Technology from Concept to Applications*, CRC Press, United State of America.
- [3] Isranuri, I., Jamil, Suprianto, 2011, *Pengaruh putaran terhadap laju keausan Al-Si alloy menggunakan metode pin on disk*. Universitas Sumatera Utara: Medan.