

Analisis Pengaruh Unsur Molibdenum Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Ketahanan Aus Ni-hard 4 Setelah *Heattreatment*

Rafika¹, R. Widodo ST., M.Eng², Darma Firmansyah, S.ST., MT²

¹Teknologi Rekayasa Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung, Jalan Kanayakan No.21, Kota Bandung, 40135, Indonesia. Hp. 081286280415

²Teknologi Pengecoran Logam, Politeknik Manufaktur Bandung, Jalan Kanayakan No.21, Kota Bandung, 40135

*E-mail : rafikac38@gmail.com

INFO ARTIKEL

ABSTRAK

Article History:
Received
Accepted
Available online

Kata Kunci:

Ni-hard 4, Molibdenum, Karbida, *heat treatment*, ketahanan aus



Ni-Hard 4 adalah salah satu jenis besi cor putih yang memiliki sifat tahan aus dan kekerasan tinggi yang memiliki kekerasan minimal 59 HRC. Material ini banyak digunakan pada komponen utama mesin penghancur seperti *deflector*, *diffuser*, *grinding roll*, dan dll. Material Ni-Hard 4 ini akan mengalami keausan abrasif hingga sampai ke kondisi tidak terpakai lagi akibat operasi penggunaannya. Untuk meningkatkan kualitas material ini, dilakukan penambah jumlah unsur paduan molibdenum (Mo). Dimana Mo ini salah satu unsur terkuat pembentuk karbida yang akan meningkatkan kekerasan suatu material. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis pengaruh unsur molibdenum terhadap struktur mikro, kekerasan dan ketahanan aus Ni-hard 4 setelah *Heattreatment*. Terdapat 5 variasi kandungan Mo dalam penelitian ini yaitu 0,1%, 0,3%, 0,5%, 0,7% dan 0,9% sebagai pembanding sedangkan suhu *heattreatment* dan waktu holding dibuat konstan. Penelitian ini diawali dengan pembuatan pola *sample* uji, pembuatan cetakan, proses peleburan, dimana unsur Mo ditambahkan pada ladle, setelah itu dilakukan *heattreatment*. Adapun pengujian yang dilakukan yaitu uji komposisi, uji struktur mikro, uji kekerasan metode *Rockwell* dan *Vickers*, serta pengujian keausan. Hasil dari pengujian menghasilkan data nilai kekerasan metode *rockwell* sampai 61,62 HRC, nilai kekerasan metode *vickers* 1487,69 HV pada fasa karbida dan 856,45 HV pada martensit dan menurunkan nilai *wear rate* sampai 0,00028 mg/sec di 1,2% Mo.

1. PENDAHULUAN

Ni-Hard 4 adalah salah satu jenis besi cor putih yang memiliki sifat tahan aus dan kekerasan tinggi sehingga banyak digunakan sebagai bahan pembangun komponen utama mesin penghancur material abrasif dengan gerakan rotasi dan bergesekan pada suhu tinggi seperti penggilingan bahan dasar semen, batu gunung dan lain-lain. Akibat dari sistem operasi yang mengalami gerak rotasi dan bergesekan dengan material kerja serta menerima beban impact /kejutan yang tidak beraturan dan kondisi lingkungan suhu tinggi dengan turbulensi aliran gas maka material Ni-Hard 4 ini akan mengalami keausan abrasif akibat gesekan langsung dengan material kerja dan keausan erosi akibat tumbukan dengan material produk.[1] Hal ini akan mengurangi dimensi dari waktu ke waktu sampai pada kondisi tidak terpakai lagi. Seperti diketahui unsur paduan seperti (*Carbon, Mangan, Silikon, Molibdenum, Nikel, Crom* dan lain-lain) sangat berpengaruh terhadap pembentukan struktur mikro dan sifat mekanik suatu material, dalam hal ini termasuk juga penambahan Unsur Molibdenum (Mo). Molibdenum merupakan unsur pembentuk karbida, Semakin tinggi kadar molibdenum, maka daerah austenit (γ) semakin sempit yang artinya akan bertambah fasa karbida yang nantinya akan dapat meningkatkan kekerasan (*hardenability*) dari suatu material tersebut.[2] Pada penelitian ini akan dilakukan variasi penambahan unsur *Molibdenum* (Mo) pada *Ni-hard 4* yang diharapkan menghasilkan struktur mikro, kekerasan dan ketahanan aus yang baik.

Dalam buku *metallographie* oleh *Dr. sc techn. Schumann*, mengurutkan kecenderungan unsur pembentuk karbida mulai dari yang terkuat diantaranya Mn – Cr – W – Mo – V – Ti. Semakin kekanan semakin kuat.[3] Penambahan unsur molibdenum (Mo) pada material *high chromium white cast iron* akan memberikan dampak yang signifikan terhadap sifat-sifat mekanik diantaranya adalah kekerasan, ketangguhan, dan ketahanan aus pada material ini. Peningkatan nilai kekerasan dan ketahanan aus tersebut diakibatkan oleh pembentukan senyawa karbida M_7C_3 . [4] Pada penelitian Mohamed Mahmoud Mourad. Shima El-hadad. Dkk, mengatakan bahwa "penambahan unsur molibdenum 0,93% dapat memperhalus karbida, serta mampu meningkatkan mechanical properties dan ketahanan abrasif *white cast iron* type IC Ni-Cr-GB.[5] Didukung juga dengan pengaruh unsur paduan pada buku *Ni-hard Data and applications* bahwa "unsur molibdenum dapat meningkatkan kekerasan tanpa mengganggu kestabilan austenite, maka 0,5-1,5% Mo dapat ditambahkan terhadap Ni-hard 4 untuk meningkatkan kekerasan.[2]

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan menggunakan metode *gravity sand casting* dan pasir cetak *greensand*. Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Alat dan Bahan

Nama	Keterangan
Tanur induksi	Kapasitas 120 Kg
Ladle	Kapasitas 20 Kg
FeMo	2 Kg
Cairan Ni-hard 4	120 Kg

Terdapat 5 variatif dalam penelitian ini yaitu variatif Mo 0,1%, 0,3%, 0,5%, 0,7%, dan 0,9%, dengan suhu *heattreatment* dan *holding time* konstan. Pada proses peleburan menggunakan Tanur induksi berkapasitas 120 Kg, penambahan FeMo dilakukan dalam ladle 20 Kg dicor di suhu 1528°C. jumlah cetakan ada 5 buah. Kegiatan penelitian ini menggunakan metode pengecoran logam untuk menghasilkan sampel material sesuai yang diinginkan mulai dari pembuatan pola sampel, pembuatan cetakan, peleburan, pembongkaran, proses perlakuan panas lalu proses pengujian. Setelah semua proses dilakukan, selanjutnya proses pengolahan data hasil pengujian dan analisa hasil. Analisa dari hasil data ini untuk mengetahui apakah tujuan dari penelitian ini tercapai atau tidak sehingga bisa diambil kesimpulan dari penelitian.

Tabel 2 Parameter kontrol Penelitian

Nama	Keterangan
Variasi Mo	0,1%, 0,3%, 0,5%, 0,7%, 0,9%
suhu <i>heattreatment</i>	800°C
<i>Holding time</i>	8 jam

Ada beberapa pengujian yang dilakukan untuk menghasilkan data yang diinginkan, yaitu pengujian komposisi kimia menggunakan mesin *Optical Emission Spectroscopic* (OES) diambil sesaat proses pouring cetakan pertama pada setiap variasi Mo. Sampel dalam cetakan lalu dibongkar dan dipreparasi untuk selanjutnya dilakukan uji metallografi. Pengujian metallografi dimaksudkan untuk mendapatkan data bentuk fasa yang diinginkan terutama distribusi dan pembentukan karbida. Metode analisa menggunakan aplikasi *imagej*. Pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik perbesaran 100, 200, 500 dan 1000. Pengujian selanjutnya yaitu pengujian kekerasan Rockwell dan mikrovickers dengan 1 sampel 5 titik indentasi. Sedangkan untuk pengujian keausan menggunakan metode yang hampir sama dengan prinsip kerja pengujian ketahanan aus berdasarkan standar ASTM G65 (*Conducting Dry Sand/Rubber Wheel Abrasion Test*). Alat ini terdiri dari sebuah roda yang terbuat dari material logam yang berputar dengan kecepatan (rpm). Terdapat juga penunjang lainnya seperti beban (F), dan waktu pengujian (detik). Penggunaan uji keausan untuk mengetahui nilai laju keausan dari setiap variasi komposisi paduan molibdenum pada material Ni-hard 4.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian Komposisi

Hasil pengujian komposisi dari setiap variasi Mo yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 3. Hasil pengujian menunjukkan target komposisi variasi Mo yang telah direncanakan beberapa tercapai dan ada juga yang meleset dari target. Sementara untuk komposisi paduan yang lain masih berada dalam *range* standar ASTM A532. Berikut hasil pengujian komposisi :

Tabel 3 Hasil pengujian komposisi

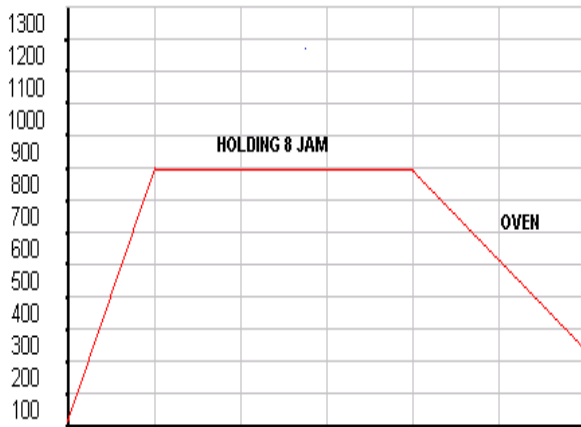
Variasi Mo (%)	Presentase Unsur							Keterangan
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	P	
0,1	2,5-3,6	Max 2,0	Max 2,0	4,5-7,0	7,0-11,0	0,1	Max 0,10	Target
	2,8	1,7	0,6	6,01	8,6	0,13	0,03	Aktual
0,3	2,5-3,6	Max 2,0	Max 2,0	4,5-7,0	7,0-11,0	0,3	Max 0,10	Target
	2,8	1,7	0,7	5,9	8,5	0,35	0,02	Aktual
0,5	2,5-3,6	Max 2,0	Max 2,0	4,5-7,0	7,0-11,0	0,5	Max 0,10	Target
	2,8	1,7	0,7	5,9	8,6	0,61	0,03	Aktual
0,7	2,5-3,6	Max 2,0	Max 2,0	4,5-7,0	7,0-11,0	0,7	Max 0,10	Target
	3,01	1,6	0,7	5,8	8,4	0,92	0,02	Aktual
0,9	2,5-3,6	Max 2,0	Max 2,0	4,5-7,0	7,0-11,0	0,9	Max 0,10	Target
	2,7	1,7	0,7	5,9	8,5	1,2	0,03	Aktual

Beberapa variasi Mo yang meleset dari target diperkirakan akibat cairan yang kurang banyak pada ladle sehingga kandungan Mo lebih dari target, ini karena tidak adanya timbangan cairan untuk menghasilkan berat cairan sesuai perhitungan awal. Berikut komposisi Ni-hard 4 berdasarkan standar ASTM A532 :

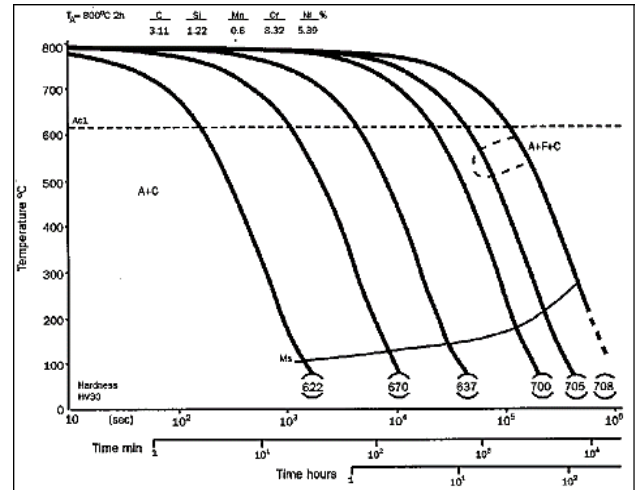
Tabel 4 Komposisi Ni-hard 4 ASTM A532

Klasifikasi	Komposisi (%)						
	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	P
1 D Ni-HiCr	2,5-3,6	Max 2,0	Max 2,0	4,5-7,0	7,0-11,0	Max 1,5	Max 0,10

Setelah dilakukannya proses *heattreatment* di suhu 800°C di holding 8 jam dengan grafik di bawah ini, maka didapatkan hasil pengujian struktur mikro, kekerasan, dan keausan ni-hard 4 dengan variasi jumlah Mo ini.



Gambar 1.2 Grafik Perlakuan Panas

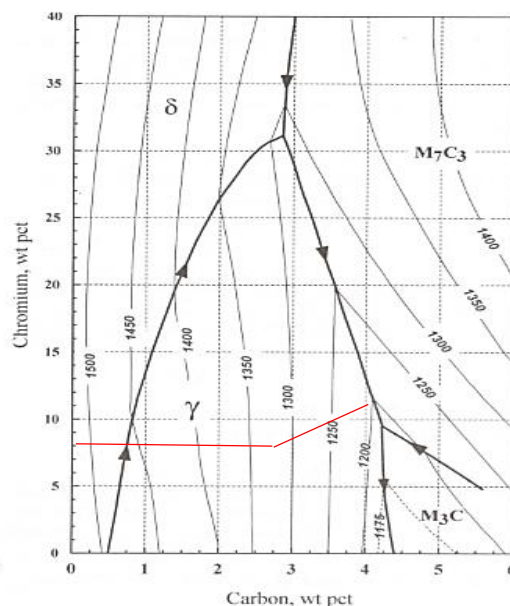


Gambar 1.3 Diagram CCT pada Ni-hard 4 ()

Pemanasan disuhu 800°C bertujuan untuk tercapainya proses *destabilization* dimana austenite menjadi tidak stabil.[6] Ketika austenite tidak stabil, austenite akan mudah bertransformasi menjadi fasa yang diinginkan dalam hal ini fasa martensit. Unsur yang membuat austenite menjadi stabil adalah kandungan carbon dan krom yang banyak pada material ini. Karena kandungan yang banyak ini sehingga membuat austenite tetap stabil dan tidak mudah bertransformasi. Untuk membuat austenite menjadi tidak stabil dan mudah bertransformasi maka kandungan Carbon dan krom harus dikeluarkan. Dimana unsur Carbon dan krom akan membentuk karbida sekunder M_7C_3 dalam matrix austenite sehingga austenite menjadi berkurang dan mudah bertransformasi menjadi martensit. Carbon dan krom bergerak secara difusi, dalam berdifusi membutuhkan waktu yang lebih lama. Maka ditetapkanlah 8 jam agar pembentukan karbida lebih banyak dan austenite akan semakin mudah bertransformasi menjadi martensit sehingga semakin keras. Jika holdingnya singkat, maka austenite masih stabil dan yang bertransformasi jadi martensit hanya sedikit.

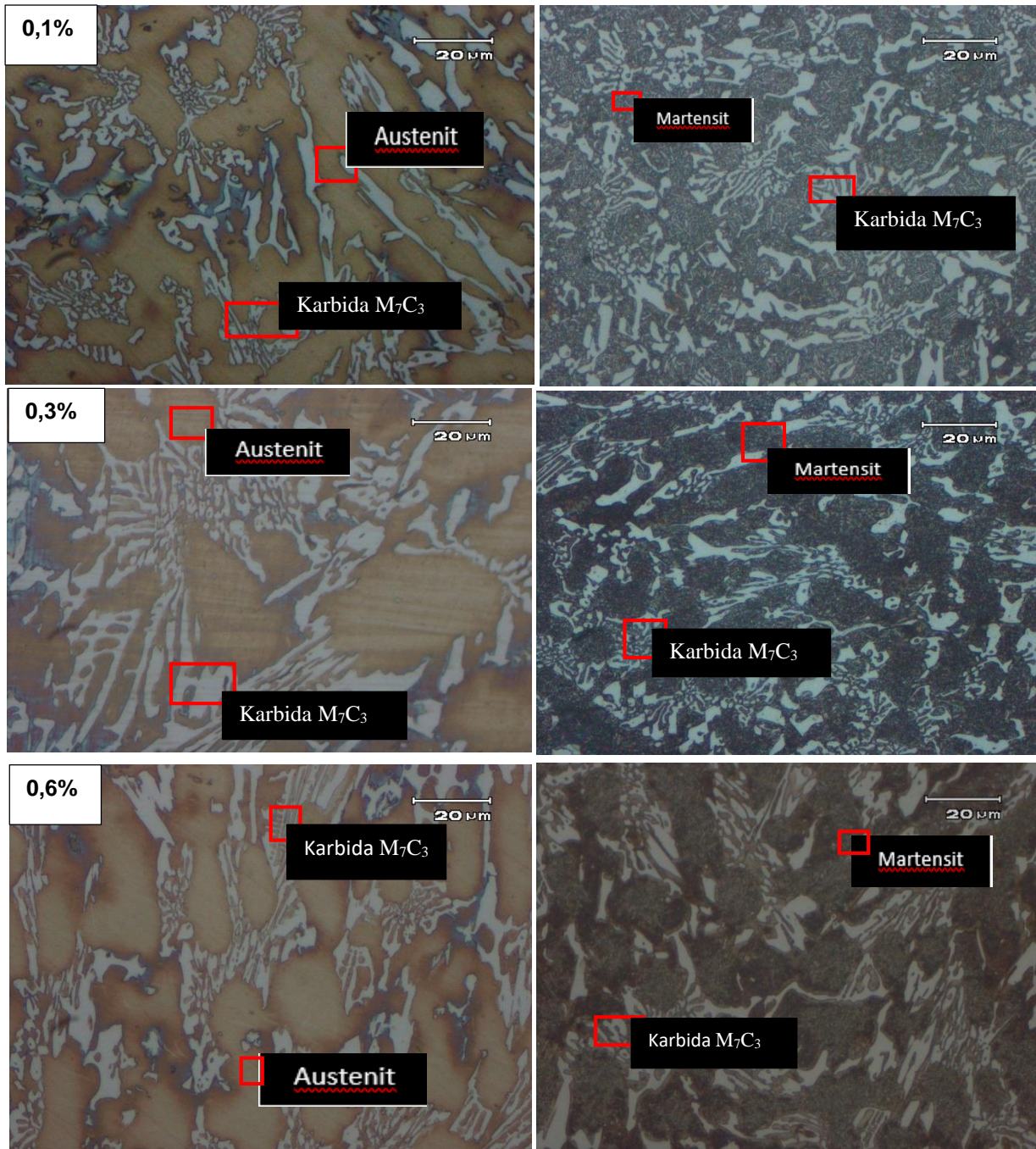
3.2. Pengujian Metalografi

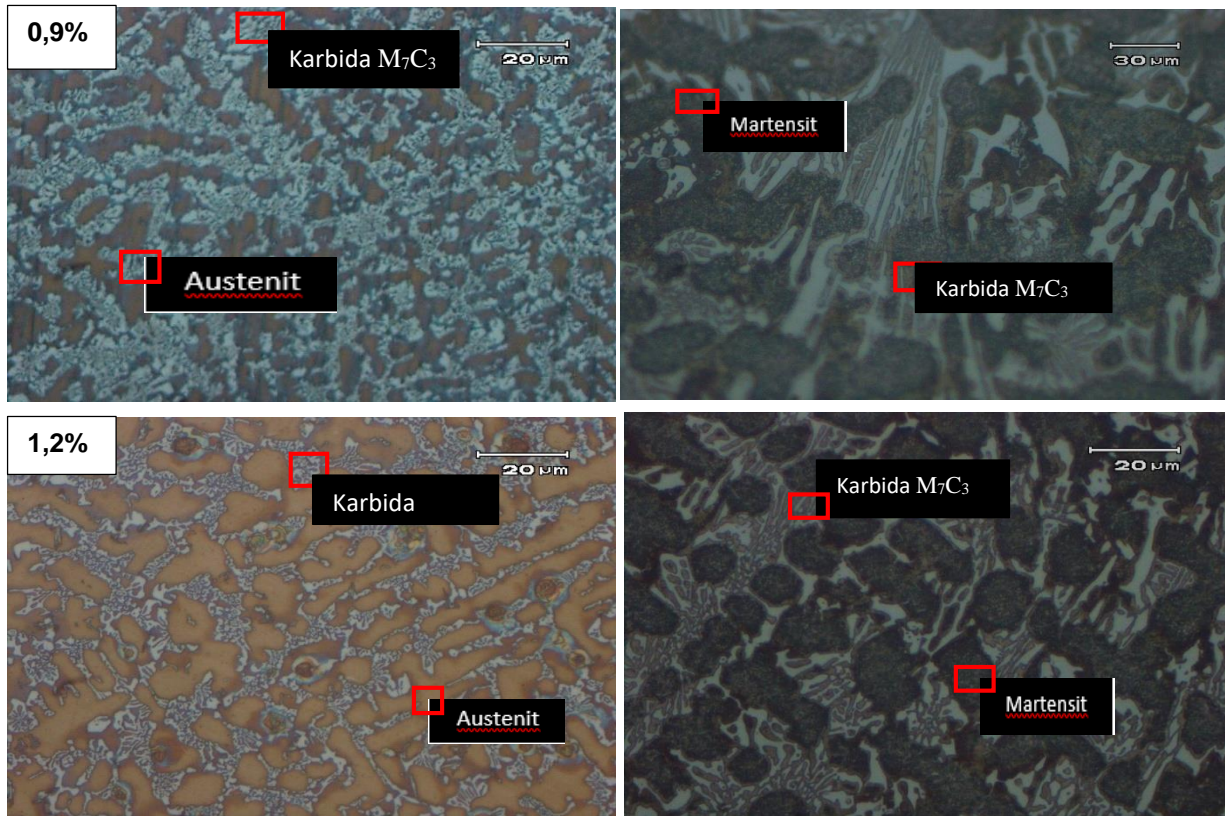
Pengujian metalografi dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik untuk mengetahui presentase fasa struktur mikro baik material *as-cast* dan material akibat proses perlakuan panas. Proses *etching* dilakukan menggunakan vilela. Dalam gambar kondisi *as-cast* fasa yang terbentuk adalah austenite + karbida M_7C_3 . Setelah mengalami proses *heattreatment* austenite bertransformasi menjadi martensit. Dibawah ini grafik *Liquidus surface* pada ni-hard 4 untuk lebih memastikan bahwa fasa yang terbentuk kondisi *as-cast* austenite dan karbida.



Gambar 1.4 Grafik diagram Liquidus surface [7]

Berikut hasil struktur mikro dari masing-masing variasi Mo sebelum dan sesudah proses *heattreatment*.



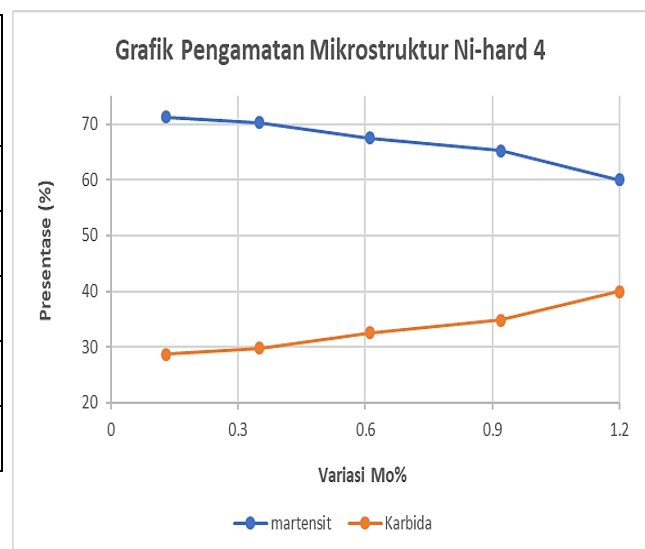


Gambar 3.2 Hasil struktur mikro as-cast dan setelah HT disuhu 800°C holding 8 jam

Untuk membuktikan penambahan jumlah karbida (M_7C_3) pada setiap variasi Mo maka dilakukan pengamatan dan presentase *phasa* dengan menggunakan aplikasi *imageJ*. Dapat dilihat pada gambar 3.2 semakin banyak penambah Mo maka semakin banyak juga karbida yang terbentuk sehingga terjadi peningkatan kekerasan. Dibawah ini adalah tabel hasil presentase dan grafiknya.

Tabel 5 Presentase fasa martensit dan karbida

Variasi	Martensit %	Karbida (%)
0.13	71.29	28.71
0.35	70.23	29.77
0.61	67.46	32.54
0.92	65.22	34.78
1.2	60	40



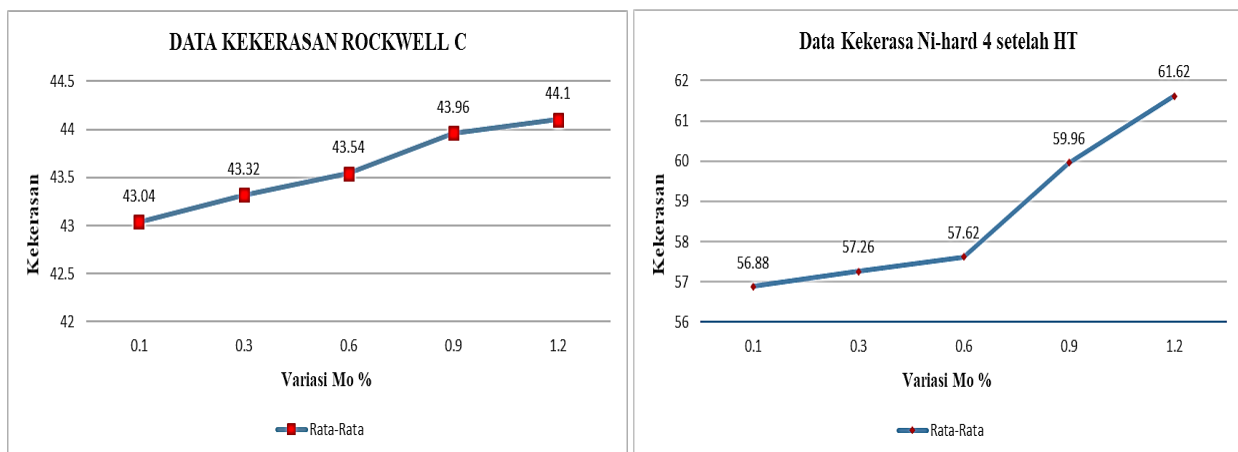
Gambar 3.3 Grafik presentase karbida

3.3. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan yang dilakukan menggunakan metode pengujian *rockweel C* dengan beban 150 kg dan pengujian *mikrovickers*. Pengujian dilakukan dalam kondisi *as-cast* dan setelah proses *heattreatment* (HT). Pengujian *rockweel* dilakukan 5 kali titik indentasi pada setiap sampel dengan variasi Mo berbeda. Dari data setelah hasil indentasi dilakukan perhitungan untuk rata-rata kekerasan HRC dari setiap variasi penelitian yang ditetapkan. Pengujian kekerasan *mikrovickers* dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dari setiap *phasa* yang terbentuk pada struktur mikro untuk setiap variasi ni-hard 4 dengan paduan molibdenum. Pengujian ini dilakukan menggunakan indenter berbentuk *diamond* dengan bahan intan. Besar beban yang digunakan pada pengujian ini 25-200 *gram force*, menyesuaikan dengan luas area austenit atau karbida yang akan diuji. Berikut mesin uji kekerasan dan hasil pengujiannya.

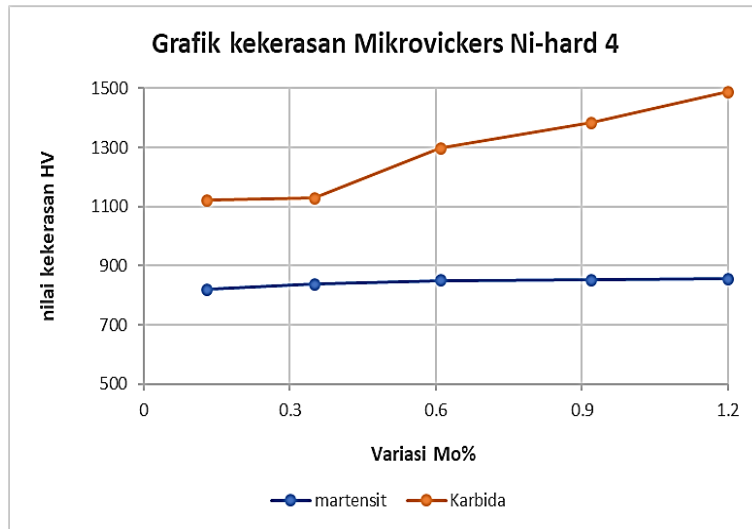


Gambar 3.4 Mesin uji Rockwell dan mesin uji mikrovickers



Gambar 3.5 Hasil pengujian *Rockwell* Ni-hard 4 *as-cast* dan setelah HT

Dari gambar 3.5, dapat dilihat dengan meningkatnya jumlah Mo baik dalam kondisi *as-cast* maupun setelah HT nilai kekerasannya juga meningkat. Hal ini diperkirakan akibat bertambahnya *phasa* karbida pada ni-hard 4, dan peningkatan signifikan terjadi setelah HT karena *phasa* austenit bertransformasi menjadi martensit.



Gambar 3.6 Grafik Hasil pengujian mickrovickers *phasa* ni-hard 4

3.4. Pengujian Keausan

Definisi paling umum dari keausan yang telah dikenal sekitar 50 tahun lebih yaitu hilangnya bahan dari suatu permukaan atau perpindahan bahan dari permukaannya ke bagian yang lain atau Bergeraknya bahan pada suatu permukaan.[8] Ketahanan aus (*wear resistance*) merupakan salah satu sifat mekanik yang sangat penting dalam material tahan gesek, dimana sifat mekanik tersebut menjadi salah satu penentu umur pakai dari material tahan gesek.[4] Sistematika kerja mesin uji keausan yang digunakan pada dasarnya hampir sama dengan prinsip kerja pengujian ketahanan aus berdasarkan standar ASTM G65 (*Conducting Dry Sand/Rubber Wheel Abrasion Test*).[9] Alat ini terdiri dari sebuah roda yang terbuat dari material logam yang berputar dengan kecepatan (rpm). penunjang lainnya seperti beban (F), dan waktu pengujian (detik). Penggunaan uji keausan untuk mengetahui nilai laju keausan dari setiap variasi komposisi paduan molibdenum pada material Ni-hard 4. Hasil pengujian ini hanya berlaku dengan alat atau mesin yang digunakan saat proses pengujian, tidak berdasarkan acuan metode pengujian abrasif yang dianjurkan dalam standard. Berikut cara mengetahui nilai laju keausannya:

$$\text{Wear rate (mg/s)} = \frac{\text{Mass loss (mg)}}{\text{time (s)}}$$

Tabel 6 hasil uji keausan ni-hard 4

Variasi Mo%	Wear Rate (mg/sec)
0,13%	0,0045
0,35%	0,003228
0,61%	0.00217
0,92%	0,00134
1,2%	0,00028

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data yang terkumpul dari hasil penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan yang menjawab tujuan penelitian, yaitu:

1. Jumlah molibdenum berpengaruh terhadap struktur mikro ni-hard 4, dilihat dari adanya peningkatan presentase karbida.

2. Peningkatan terhadap kekerasan dengan metode *Rockwell* baik kondisi as-cast ataupun setelah *Heattreatment* dengan kekerasan tertinggi hingga 61,62 HRC pada 1,2% Mo dan kekerasan karbida hingga 1487,89 HV pada 1,2% Mo.
3. Penambahan Jumlah molibdenum juga berpengaruh terhadap ketahanan aus ni-hard 4, semakin tinggi presentase Mo maka semakin tinggi juga ketahanan ausnya. Ketahanan aus pada variasi 1,2% Mo paling sedikit kehilangan massa yang artinya ketahanan ausnya tinggi hingga mencapai 0,00028 mg/sec.

Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa penambahan molibdenum dari 0,1 sampai 1,2% dapat meningkatkan nilai kekerasan dan ketahanan abrasif ni-hard 4. Penggunaannya disesuaikan dengan pengaplikasiannya. Penambahan diatas 1,2% Mo belum diketahui hasilnya. Untuk itu disarankan agar melakukan penelitian lebih lanjut terkait penambahan Mo diatas 1,2% hingga melewati standar yang ditetapkan ASTM A532 maksimal 1,5% Mo untuk mengetahui apakah nilai kekerasannya naik atau sebaliknya menurun. Dan juga disarankan untuk melakukan pengujian *impact* untuk mengetahui dampak terhadap nilai ketangguhan seiring dari bertambahnya nilai kekerasannya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu baik berupa materi maupun pikiran sehingga penelitian dan paper ini dapat terselesaikan dengan baik. Yang kedua penulis mengapresiasi Jurusan Teknik Pengecoran Logam di Politeknik Manufaktur Bandung atas fasilitas yang dipergunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Purnomo, *Material Tehnik*. Malang, 2017.
- [2] *Ni-Hard Materials Data and Applications*. .
- [3] D. Herman schumann, *Metallographie*. .
- [4] F. Nurjaman, "Pembuatan Grinding Ball Dari Material White Cast Iron Dengan Penambahan Chromium, Moliybdenum, Vanadium, Dan Boron Sebagai Unsur Paduan Pembentuk Karbida," 2012.
- [5] M. M. Mourad, S. El-Hadad, and M. M. Ibrahim, "Effects of Molybdenum Addition on the Microstructure and Mechanical Properties of Ni-Hard White Cast Iron," *Trans. Indian Inst. Met.*, vol. 68, no. 5, pp. 715–722, 2015.
- [6] R. Alvian, "Analisis Ketahanan Erosi Pada Material AISI 4140 dan Ni-Hard 4 untuk Aplikasi Komponen Deflektor dan Diffuser," 2018.
- [7] G. Laird, *Abrasion Resistant Cast Iron Handbook*. 2000.
- [8] J. Almen, 'Mechanical Wear (ed J.T. Burwell), *in american society fot metals*. 1950.
- [9] R. Gilang, "Analisis Pengaruh Penambahan Cromium terhadap Struktur mikro dan sifat mekanik material ASTM A 48 Class 40 B," 2018.
- [10] ASTM A 532 *Standar Specification For Abrasion-Resistant Cast Iron*, Annu.B.ASTM Stand, Vol 1 no.Reapproved, pp.1-2,2006
- [11] D.Mont Stephan hasse, *Taschenbuch der Giebrei-Praxis*.2003