



## Pengaruh unsur Molibdenum terhadap struktur mikro dan kekerasan pada material FC 250 dengan ketebalan spesimen uji bervariasi

### *The effect of Molibdenum towards micro structure and hardness of FC 250 material with specimen thickness variative test*

Cecep Ruskandi, Kus Hanaldi, Holid Maulana

Jurusan Teknik Pengecoran Logam, Politeknik Manufaktur Negeri Bandung, Jl. Kanayakan no. 21, Bandung, Jawa Barat, 40135, Indonesia.

---

#### ARTICLE INFO

#### ABSTRACT

---

Article History:  
Received  
Accepted  
Available online

---

Keywords:  
Gray cast iron  
FC 250  
Molybdenum  
Metal Casting  
Micro Structure

The cast iron consists flakes graphite with ferrite and pearlite as matrix, addition of alloying element to cast iron could increase the strength and hardness of the material. This material is commonly applied in the automotive industry such as in the case of cylinder liner. To enhance cast iron's mechanical properties with a certain thickness with no any formation of carbide as of it doesn't degrade the vibration resistant function, then an adding process of Molybdenum element is conducted. This research aims to analyze the effect of Molybdenum element toward the micro structure and to increase the phase's hardness in the variant of FC 250 material thickness without harm the graphite, and also to know the maximum level of thickness in the case of carbide formation. In this research, there will be some experiments by adding 0,53% Molybdenum on the thickness variant of 5, 10, 15, 20, and 25 mm specimen and 0% Molybdenum as proportion, while other variables such as non-Molybdenum alloy, sand mold, and temperature is intentionally set constant. A whole process of this research is started with the melting process which alloying Molybdenum element is added into ladle and other several experiments which are micro structure observation, brinell test method, microvickers test method, Scanning Electron Microscope test method, and Optical Emission Spectrometry test method. This research results the effect of adding 0,53% Molybdenum element towards FC 250 material micro structure which the amount of graphite less than a whole thickness, the size of smaller graphite, and the distribution of graphite turns to be type D with specimen thickness 10 and 15 mm and in the thickness of 5 mm but formed the ledeburite. The amount of phase ferrite

---

---

*increases around 9-12% and the amount of phase pearlite decreases around 9-12% if it's compared to the same variant of 0% Mo thickness. The effect of adding 0,53% Molybdenum element towards FC 250 material thickness which increases brinell hardness of 44,9 HBS, increases the strength value of microvickers of 46,06 HV in phase ferrite and 42,3 HV in the phase pearlite on each thickness compared to the same thickness in 0% Mo variant. By all the experiments of thickness that had been conducted, it could be concluded that addition Molybdenum element towards FC 250 material could increases the strenght of ferrite and pearlite.*

---

## 1. PENDAHULUAN

*Ferro Casting 250* (FC 250) merupakan jenis logam yang memiliki bentuk grafit *flakes* dan matriks dominan perlit dan sedikit ferrit, pada dasarnya besi cor ini terdiri dari paduan Besi (Fe), Karbon (C), Silikon (Si), Mangan (Mn), sedikit Fosfor (P) dan Sulfur (S). Kelebihan dari FC 250 yaitu memiliki sifat *castability* atau sifat mudah cor, mudah dilakukan proses permesinan, tahan aus karena grafit dapat berfungsi sebagai pelumas, mempunyai kemampuan meredam getaran (*damping capacity*) yang tinggi (Nurfirdian, 2009), namun FC 250 memiliki sifat mekanis kekerasan dan kekuatan yang rendah. Peningkatan kekerasan dan kekuatan pada material FC 250 dapat dipadukan dengan unsur Molibdenum yang dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan tanpa membentuk karbida pada komposisi unsur tertentu.

Molibdenum adalah tambahan paduan yang efektif untuk mempertahankan kekuatan, yang biasanya ditambahkan dalam jumlah 0,5 hingga 1,0% (ASM Volume 1, 2005). Beberapa penelitian menunjukkan besi tuang dengan kandungan unsur Molibdenum hingga 0,5% tanpa membentuk karbida yang cukup banyak pada ketebalan yang tipis (Bevan & Sholtz, 1964). Pada sebuah penelitian dikatakan Molibdenum menunda reaksi perlit lebih kuat daripada menunda reaksi ferrit, oleh karena itu jika ditambahkan Molibdenum dapat memberikan waktu yang lebih singkat bagi ferrit untuk bebas terbentuk dan demikian Molibdenum dapat mempromosikan ferrit (Manuel, Llavona, Dioszegi, & Hernando, 2016). Pada sebuah penelitian yang telah dilakukan oleh Juan Hernandez-Avila, Ph.D. dkk. dikatakan bahwa Molibdenum dapat mempromosikan stabilisasi dari fasa ferrit dalam besi cor, cenderung meningkatkan jumlah konstituen eutektoid. Oleh karena itu, penambahan unsur Molibdenum dapat meningkatkan kekerasan ferrit, hal tersebut karena Molibdenum dilarutkan oleh mekanisme larutan padat dalam fasa ferrit (Hernandez Avila et al., 2015).

Persaingan ketat di industri otomotif yang menjanjikan kontinuitas pesanan massal telah dikuasai oleh industri-industri pengecoran besar yang mengaplikasikan berbagai jenis mesin produksi yang semakin canggih dan dilengkapi dengan pengendalian mutu yang cermat, misalnya pada komponen blok mesin yaitu *cylinder liner*. *Cylinder liner* merupakan salah satu bagian dari beberapa komponen yang terdapat pada blok mesin. Fungsi dari *cylinder liner* adalah untuk melindungi bagian dalam *cylinder block* dari gesekan ring piston. Kerusakan yang sering terjadi pada *cylinder liner* yaitu ketahanan aus yang kurang baik dan mudah tergores, area kerja dari *cylinder liner* berada pada ruang pembakaran yang mengakibatkan panas serta akibat dari pergerakan piston *cylinder liner* juga harus dapat menahan getaran.

Oleh karena itu, untuk meningkatkan performa dan perbaikan sifat mekanis *cylinder liner* dilakukan penambahan unsur Molibdenum pada material besi cor kelabu khususnya FC 250 yang dapat meningkatkan kekerasan pada material, Molibdenum juga dapat mempromosikan stabilisasi dari fasa ferrit dimana fasa ferrit memiliki ketahanan panas yang lebih baik dari perlit serta penambahan jumlah unsur Molibdenum yang efektif dapat menghindari kerusakan pada grafit dan menghindari terbentuknya karbida sehingga tidak menghilangkan fungsi ketahanan getar dan mudah permesinannya.

Penelitian ini bertujuan Menganalisis pengaruh unsur Molibdenum terhadap struktur mikro dan meningkatkan kekerasan matriks ferrit dan perlit pada variasi ketebalan material FC 250 tanpa merusak grafit serta mengetahui ketebalan maksimum terbentuknya karbida.

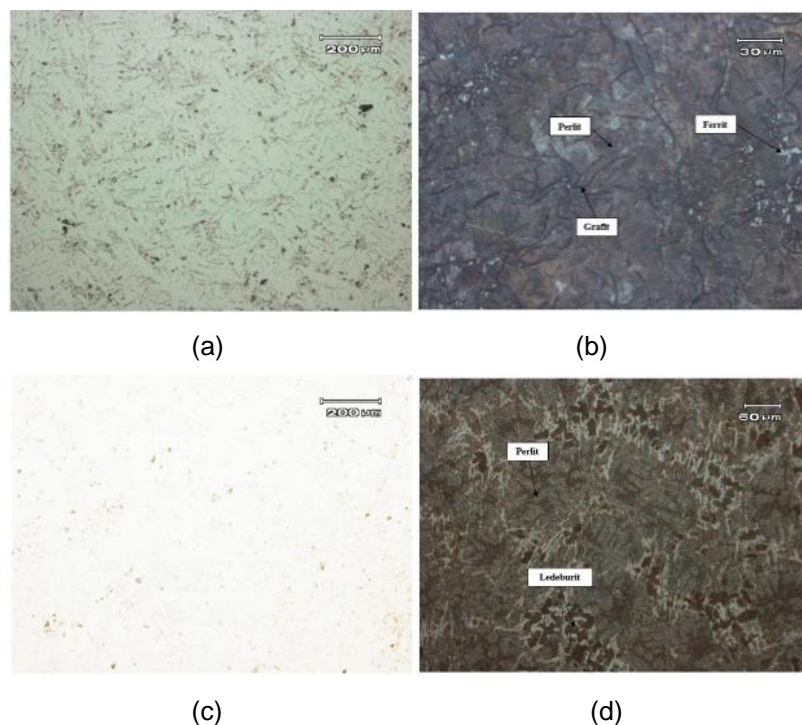
## 2. METODE PENELITIAN

Proses peleburan FC 250 ini dilakukan menggunakan tanur induksi berkapasitas 250 kg dengan bahan peleburan besi daur ulang dan skrap. Proses penuangan dilakukan dengan ladle *lip pouring* berkapasitas 60 kg dengan inokulasi (FeSi) sebanyak 0,04 kg. Penambahan paduan Molibdenum (FeMo) sebanyak 0,16 Kg dengan kemurnian unsur Molibdenum 61,48% dilakukan di dalam ladle sebelum proses *tapping* sehingga saat proses *tapping* cairan akan langsung bereaksi dan bercampur dengan FeMo di dalam ladle. Temperatur *tapping* yang dilakukan adalah 1500°C. Komposisi material FC 250 yang didapat yaitu 3,2% C, 2,1% Si, 0,9% Mn dan 0,53% Mo. Dimensi spesimen yaitu 60 x 30 mm untuk pengujian kekerasan *brinell*, 20 x 10 mm untuk pengujian metalografi dan *microvickers* dengan variasi ketebalan 10, 15, 20, dan 25 mm. Untuk pengujian metalografi dan *microvickers* pada spesimen dengan ketebalan 5 mm dibuat dengan ukuran 10 x 10 mm untuk dilakukan proses *mounting* karena terlalu tipis untuk proses pengamplasan.

Pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui struktur mikro berupa fasa maupun grafit yang terbentuk pada masing-masing variasi Molibdenum pada setiap variasi ketebalan. Pengujian ini dilakukan menggunakan mikroskop optik. Pengujian *brinell* dengan standar JIS Z2243 dilakukan dengan menggunakan indenter bola baja berdiameter 10 mm dan beban penekanan 3000 kgf. Pengujian kekerasan *microvickers* dengan standar JIS Z2244 dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dari setiap fasa ferrit dan perlit yang terbentuk pada struktur mikro. Besar beban yang digunakan pada pengujian ini 10-300 *gram force*. Pengujian SEM dilakukan untuk mengukur jarak interlamellar pada fasa perlit untuk mengetahui perbedaan jaraknya yang berhubungan dengan kehalusan perlit yang diukur pada perbesaran 10.000 kali.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

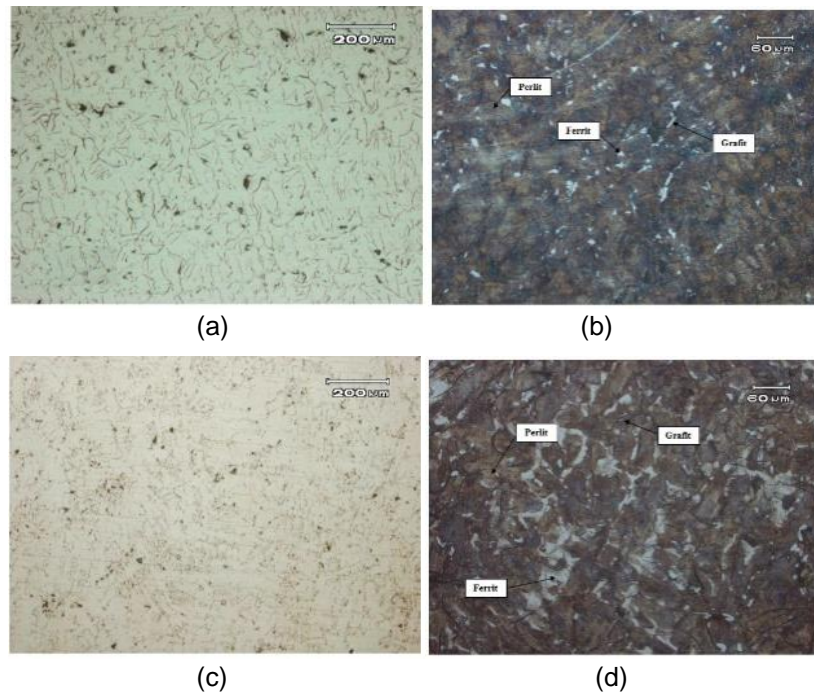
Pada pembahasan ini dibandingkan antara 0% Mo dengan 0,53% Mo dengan ketebalan yang sama dari struktur mikro, nilai kekerasan *brinell* dan *microvickers*.



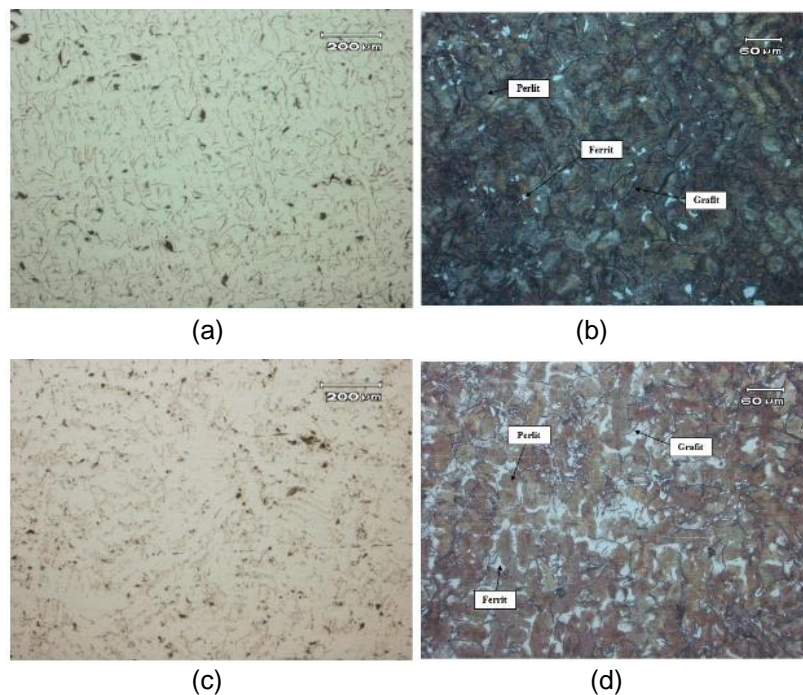
Gambar 1. Struktur mikro FC 250 dengan ketebalan spesimen 5 mm: (a) 0% Mo tanpa etsa perbesaran 100 x, (b) 0% Mo etsa nital 3% perbesaran 500 x, (c) 0,53% Mo tanpa etsa perbesaran 100 x, (d) 0,53% Mo etsa nital 3% perbesaran 200 x

Gambar 1 (a) menunjukkan bentuk grafit I (lamellar) dengan ukuran 5 dan distribusi tipe A, dibandingkan dengan Gambar 1 (c) tidak adanya pembentuk grafit, Gambar 1 (b) struktur mikro yang terbentuk yaitu grafit, ferrit dan perlit, sedangkan pada Gambar 1 (d) struktur mikro yang terbentuk

perlit dan ledeburit. Penambahan Mo pada ketebalan spesimen 5 mm mempengaruhi pembekuan yang cepat sehingga grafit tidak sempat terbentuk dan menjadi ledeburit (pembekuan putih).

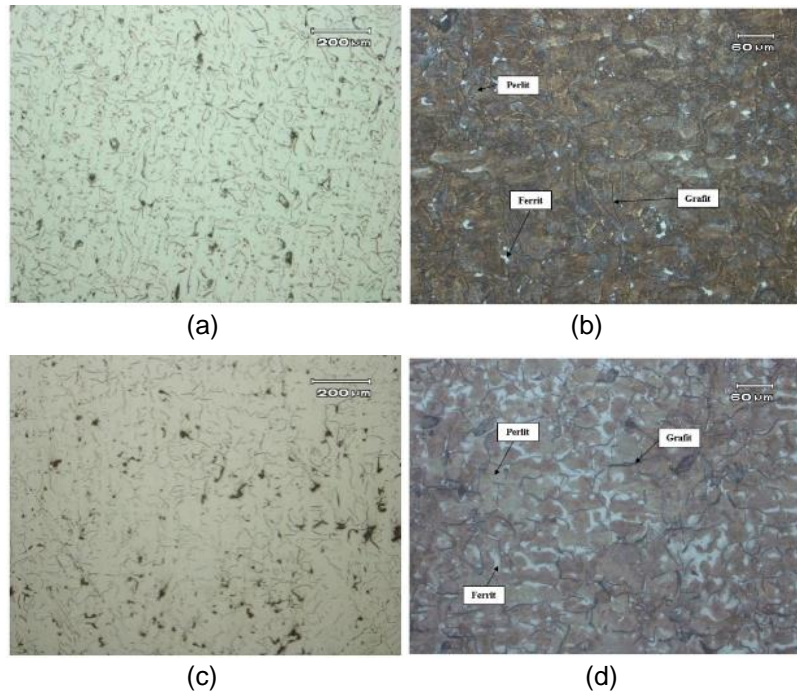


Gambar 2. Struktur mikro FC 250 dengan ketebalan spesimen 10 mm: (a) 0% Mo tanpa etsa perbesaran 100 x, (b) 0% Mo etsa nital 3% perbesaran 200 x, (c) 0,53% Mo tanpa etsa perbesaran 100 x, (d) 0,53% Mo etsa nital 3% perbesaran 200 x

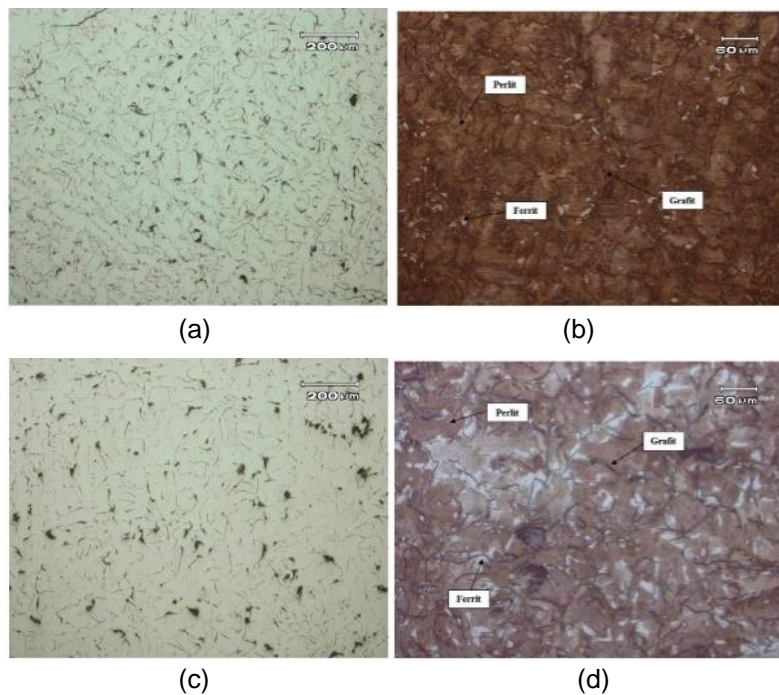


Gambar 3. Struktur mikro FC 250 dengan ketebalan spesimen 15 mm: (a) 0% Mo tanpa etsa perbesaran 100 x, (b) 0% Mo etsa nital 3% perbesaran 200 x, (c) 0,53% Mo tanpa etsa perbesaran 100 x, (d) 0,53% Mo etsa nital 3% perbesaran 200 x

Pada variasi ketebalan spesimen 10 dan 15 mm memiliki kesamaan dari segi bentuk, ukuran dan distribusi grafit pada variasi 0% Mo dan 0,53% Mo, Gambar 2 (a) dan 3 (a) terbentuk grafit I (lamellar) dengan ukuran 4 dan distribusi tipe A, dibandingkan dengan Gambar 2 (c) dan Gambar 3 (c) terbentuk grafit I (lamellar) dengan ukuran 6 dan distribusi tipe D. Struktur mikro yang terbentuk juga sama yaitu grafit ferrit dan perlit ditunjukkan pada Gambar 2 (b, d) dan Gambar 3 (b, d). Pengaruh Mo pada ketebalan spesimen 10 dan 15 mm mengubah ukuran dan distribusi grafit, distribusi grafit tipe D dengan ukuran kecil terjadi karena pembekuan cepat sehingga karbon tidak sempat berkoloni dengan grafit lainnya, tipe grafit D memiliki morfologi yang dapat menurunkan kekuatan material.

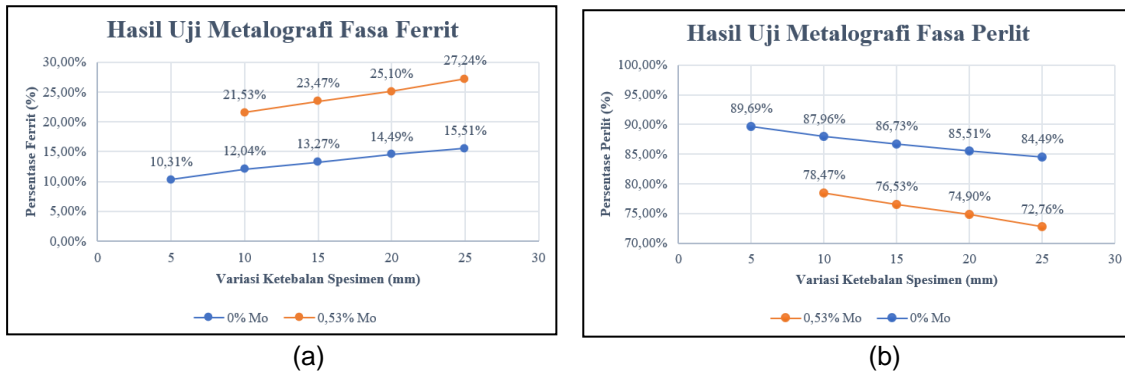


Gambar 4. Struktur mikro FC 250 dengan ketebalan spesimen 20 mm: (a) 0% Mo tanpa etsa perbesaran 100 x, (b) 0% Mo etsa nital 3% perbesaran 200 x, (c) 0,53% Mo tanpa etsa perbesaran 100 x, (d) 0,53% Mo etsa nital 3% perbesaran 200 x



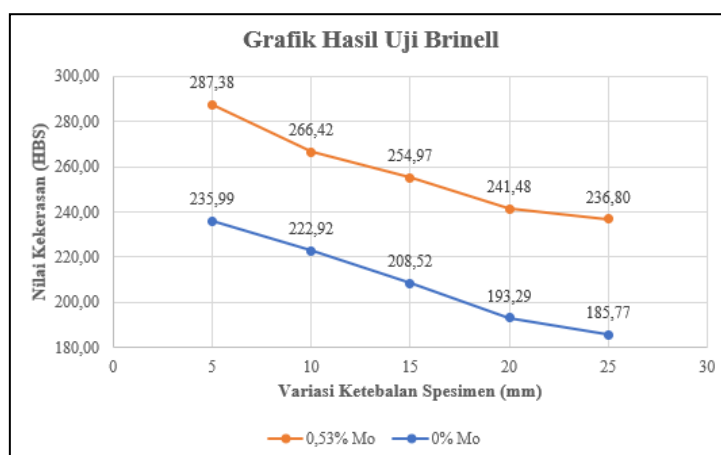
Gambar 5. Struktur mikro FC 250 dengan ketebalan spesimen 25 mm: (a) 0% Mo tanpa etsa perbesaran 100 x, (b) 0% Mo etsa nital 3% perbesaran 200 x, (c) 0,53% Mo tanpa etsa perbesaran 100 x, (d) 0,53% Mo etsa nital 3% perbesaran 200 x

Pada variasi ketebalan spesimen 20 dan 25 mm memiliki kesamaan dari segi bentuk, ukuran dan distribusi grafit maupun struktur mikro yang terbentuk. Gambar 4 (a, c) dan Gambar 5 (a, c) terbentuk grafit I (lamellar) dengan ukuran 4 dan distribusi tipe A. Gambar 4 (b, d) dan Gambar 5 (b, d) struktur mikro yang terbentuk yaitu grafit, ferrit dan perlit. Penambahan Mo pada ketebalan spesimen 20 dan 25 mm cukup efektif karena tidak mengubah ukuran dan distribusi grafit. Grafit tipe A memiliki bentuk serpihan yang seragam dengan distribusinya secara acak, grafit ini terjadi pada besi cor dengan kualitas yang baik serta mempunyai matriks perlitik dan ukuran grafit yang cocok.



Gambar 6. Grafik pengujian metalografi: (a) fasa ferrit, (b) fasa perlit

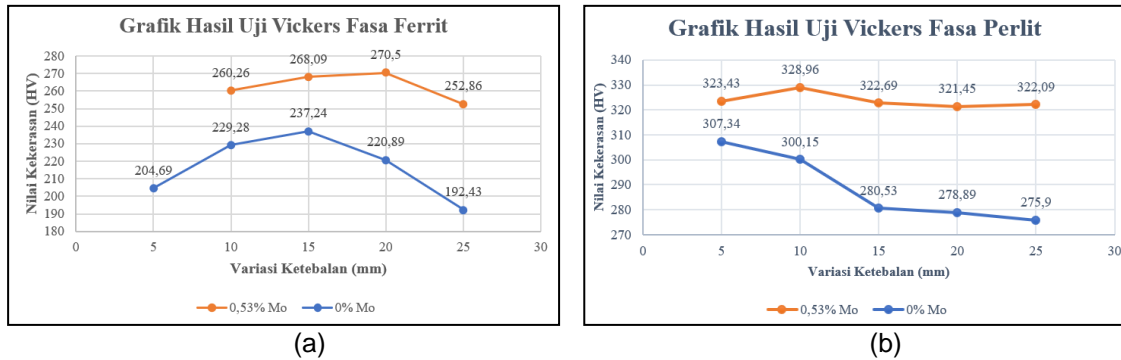
Gambar 6 (a) menunjukkan peningkatan persentase jumlah ferrit pada variasi 0% Mo dari ketebalan 5 mm yang memiliki jumlah ferrit 10,31% hingga ketebalan 25 mm yang memiliki jumlah ferrit 15,51%, jumlah ferrit setelah dipadukan dengan Molibdenum juga bertambah dari ketebalan 10 mm yang memiliki jumlah ferrit 21,53% hingga ketebalan 25 mm yang memiliki jumlah ferrit 27,24%, Jumlah ferrit setelah dipadukan unsur Molibdenum jika dibandingkan dengan tanpa Molibdenum memiliki kenaikan 9-12% pada setiap ketebalan yang sama. Gambar 6 (b) menunjukkan penurunan persentase jumlah perlit dari tebal 5 mm yang memiliki jumlah perlit 89,69% hingga tebal 25 mm yang memiliki fasa perlit 84,49%. Jumlah perlit pada variasi 0,53% Molibdenum juga berkurang dari tebal 10 mm yang memiliki jumlah perlit 78,47% hingga tebal 25 mm yang memiliki jumlah perlit 72,76%. Jumlah perlit setelah dipadukan unsur Molibdenum jika dibandingkan dengan tanpa Molibdenum memiliki penurunan 9-12% pada setiap ketebalan yang sama.



Gambar 7. Grafik pengujian kekerasan *brinell*

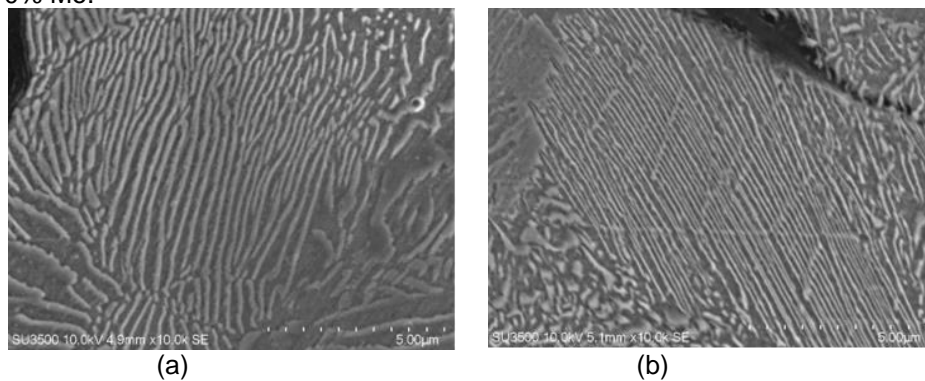
Dari Gambar 7 dapat dianalisis pada setiap peningkatan ketebalan spesimen nilai kekerasan *brinell*-nya turun, hal ini disebabkan karena pengaruh jumlah fasa ferrit yang meningkat pada setiap ketebalan, fasa ferrit memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah dari fasa perlit. Setelah dipadukan

dengan Molibdenum nilai kekerasannya lebih tinggi dibandingkan dengan variasi 0% Mo, rata-rata kenaikan nilai kekerasan pada setiap ketebalan antara 0% Mo dan 0,53% Mo sebesar 44,9 HBS pada setiap variasi ketebalan yang sama.



Gambar 8. Grafik pengujian kekerasan *microvickers*: (a) fasa ferrit, (b) fasa perlit

Gambar 8 (a) dengan penambahan 0,53% Mo memiliki nilai kekerasan ferrit yang lebih besar dari variasi 0% Mo, rata-rata nilai kekerasan ferrit pada variasi 0% Mo yaitu 216,9 HV dan rata-rata nilai kekerasan ferrit pada variasi 0,53% Mo yaitu 262,96 HV, terjadi peningkatan nilai kekerasan ferrit sebesar 46,06 HV setelah dipadukan Mo. Gambar 8 (b) dengan penambahan 0,53% Mo memiliki nilai kekerasan perlit yang lebih besar dari variasi 0% Mo, rata-rata nilai kekerasan perlit pada variasi 0% Mo yaitu 287,91 HV dan rata-rata nilai kekerasan perlit pada variasi 0,53% Mo yaitu 330,21 HV, terjadi peningkatan nilai kekerasan perlit sebesar 42,3 HV setelah dipadukan Mo. Dari hasil pengujian *brinell* disimpulkan bahwa penambahan paduan unsur Mo meningkatkan kekerasan *brinell*-nya, namun pada hasil pengujian metalografi dengan penambahan paduan unsur Mo meningkatkan jumlah ferrit yang bersifat lunak dan perlit bersifat lebih keras dari ferrit, pada pengujian *microvickers* ini nilai kekerasan ferrit dan perlit meningkat setelah dipadukan unsur Mo, hal ini membuktikan kenaikan kekerasan uji *brinell* meskipun pada variasi 0,53% Mo jumlah ferrit lebih banyak dan jumlah perlit yang lebih sedikit dari variasi 0% Mo.



Gambar 9. Hasil pengujian SEM dengan ketebalan spesimen 15 mm : (a) 0% Mo etsa nital 3% perbesaran 10.000 x, (b) 0,53% Mo etsa nital 3% perbesaran 10.000 x

Gambar 9 (a) variasi 0% Mo rata-rata jarak interlamellar perlitnya yaitu 177,25  $\mu\text{m}$  dan Gambar 9 (b) variasi 0,53% Mo rata-rata jarak interlamellar perlitnya 78,75  $\mu\text{m}$ , dapat disimpulkan dengan penambahan paduan unsur Molibdenum jarak interlamellar perlitnya lebih rapat yang mengakibatkan perlit lebih keras. Berbanding lurus dengan pengujian *microvickers* dimana kekerasan perlit naik setelah dipadukan unsur Molibdenum.

#### 4. KESIMPULAN

Pengaruh penambahan 0,53% unsur Molibdenum terhadap struktur mikro material FC 250 yaitu jumlah grafit yang lebih sedikit pada seluruh ketebalan, Ukuran grafit yang lebih kecil dan distribusi grafit menjadi tipe D pada ketebalan spesimen 10 dan 15 mm dan pada ketebalan 5 mm terbentuk ledeburit. Jumlah fasa ferrit meningkat 9-12% dan jumlah fasa perlit menurun 9-12% jika dibandingkan dengan

ketebalan yang sama pada variasi 0% Mo. Pengaruh penambahan 0,53% unsur Molibdenum terhadap kekerasan material FC 250 yaitu meningkatkan kekerasan *brinell* sebesar 44,9 HBS, meningkatkan nilai kekerasan *microvickers* sebesar 46,06 HV pada fasa ferrit dan 42,3 HV pada fasa perlit pada setiap ketebalan jika dibandingkan dengan ketebalan yang sama pada variasi 0% Mo. Dengan seluruh pengujian kekerasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa penambahan unsur Molibdenum terhadap material FC 250 dapat meningkatkan kekerasan fasa ferrit dan perlit.

#### **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. Yang ke dua penulis mengapresiasi Jurusan Teknik Pengecoran Logam di Politeknik Manufaktur Negeri Bandung atas fasilitas yang dipergunakan dalam penelitian ini.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- ASM Volume 1. (2005). *Properties and Selection : Irons , Steels , and High Performance Alloys Section : Publication Information and Contributors Publication Information and Contributors*.  
<https://doi.org/10.1002/jcb.240590830>
- Bevan, J., & Sholtz, W. (1964). *AFS Transactions*.
- Hernandez Avila, J., Salinas Rodriguez, E., Rivera Landero, I., Cardoso Legorreta, E., Flores Badillo, J., & Reyes Valderrama, M. I. (2015). The effect of molybdenum on the microstructure of nodular iron. *European Scientific Journal*.
- Manuel, J., Llavona, A., Dioszegi, A., & Hernando, J. C. (2016). *Influence of Molybdenum on Mechanical and Thermal Properties in Lamellar Graphite Cast Iron*.
- Nurferdian. (2009). *Pengaruh Penambahan Kandungan Silikon Pada Besi Cor Kelabu Dengan Metode Fluiditas Strip Mould Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro*.