

# ANALISIS PENGARUH FOSFOR PADA MATERIAL FC 250 TERHADAP SIFAT MEKANIK

**Yudha Mauliyana**

Politeknik Manufaktur Negeri Bandung  
Jl Kanayakan No. 21 – Dago, Bandung - 40135  
Phone/Fax : 085793543222  
Email: [yudhamauliyana@gmail.com](mailto:yudhamauliyana@gmail.com)

## Abstrak

Pada penelitian ini dilakukan pengembangan mengenai pengaruh fosfor pada material FC 250 terhadap sifat mekanik. Dalam hal ini FC 250 digunakan sebagai *electrode connector* pada proses elektrolisis pembuatan aluminium di PT. Indonesia Asahan Aluminium (Inalum). Pada aplikasinya, *electrode connector* akan dipecah setelah anoda karbon habis terpakai (kurang lebih 30 hari). Penganalisaan pengaruh fosfor dilakukan pada variasi presentase fosfor 0.3%, 0.5%, 0.7% dan 0.9%. Terdapat beberapa hal pokok yang dilakukan untuk menunjang tujuan penelitian, diantaranya; menentukan specimen uji, pembuatan specimen uji, pengujian, dan penganalisaan hasil pengujian. Adapun pengujian yang dilakukan adalah uji komposisi, uji struktur mikro, uji kekerasan dan uji tarik. Hasil dari penelitian ini yaitu untuk mendapatkan pengaruh fosfor pada material FC 250 dengan sifat mekanik yang paling optimal untuk digunakan sebagai bahan *electrode connector*.

**Kata kunci:** FC 250; Fosfor.

## Abstract

*In this research done development about the effect of phosphorus of the material FC 250 on mechanical properties. In this case the FC 250 is used as an electrode connector on the process of making electrolytic aluminum in PT. Indonesia Asahan Aluminium (Inalum). In application, the electrode connector will split after the consumable carbon anodes (approximately 30 days). Analyzing the effect of variations in the percentage of phosphorus performed on 0.3% phosphorus, 0.5%, 0.7% and 0.9%. There are some basic things that are done to support the purpose of the research, including; determine the test specimen, the manufacture of test specimens, testing, and analyzing test results. The tests were conducted testing the composition, microstructure test, hardness test and tensile test. The results of this study is to obtain the effect of phosphorus on the FC 250 materials with optimum mechanical properties for use as an electrode connector.*

**Keywords:** FC 250; Phosphorus.

## A. Pendahuluan

FC 250 merupakan besi cor kelabu bergrafit lamelar yang memiliki kuat tarik minimal 250 MPa. Kandungan bahan paduan dalam FC 250 antara lain; Karbon (C) 3.4%, Silikon (Si) 2.0% dan Fosfor (P) 0.1-0.5%<sup>1</sup> serta penambahan Mangan (Mn) tergantung dari struktur mikro

yang diinginkan (mangan 0,1% menghasilkan besi cor kelabu *ferrite* dan mangan 1,2% menghasilkan besi cor kelabu *pearlit*)<sup>2</sup>. Besi cor kelabu merupakan material yang banyak digunakan di industri karena memiliki beberapa keuntungan, diantaranya; mudah dituang dalam bentuk yang rumit, mudah dilakukan proses

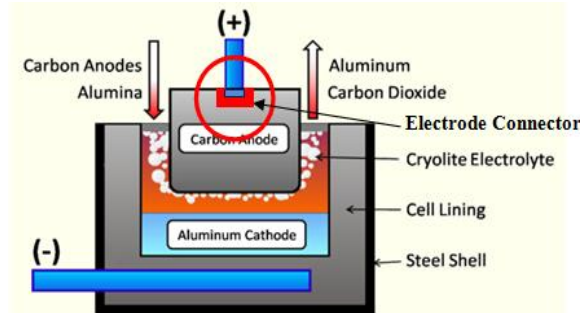
---

<sup>1</sup>Nomogram

---

<sup>2</sup>Davis.ASM Special hand book.1999.hal:32

permesinan, mampu meredam getaran dengan baik, kekuatan yang cukup tinggi dan harganya yang relatif murah. Dalam penelitian ini FC 250 digunakan sebagai *electrode connector* pada proses elektrolisis pembuatan aluminium di PT. Indonesia Asahan Aluminium (Inalum).



**Gambar 1** *Electrode Connector* Pada Proses Elektrolisis

Analisa dilakukan pada pecahan *electrode connector* yang sudah tidak terpakai. Selanjutnya dilakukan pengujian komposisi, sehingga didapatkan data komposisi seperti pada tabel dibawah ini.

**Tabel 1** Komposisi Unsur *Electrode Connector*

Unsur	C%	Si%	Mn%	S%	P%	Cr%
Komposisi	3.21	1.44	0.73	0.13	0.71	0.02

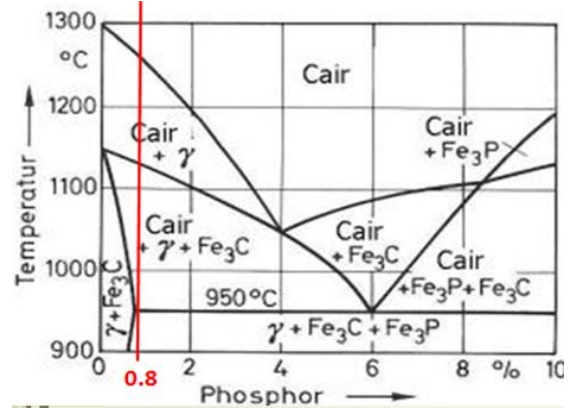
Berdasarkan tabel komposisi diatas, kandungan fosfor (P) sebesar 0.71% termasuk tinggi bila dibandingkan dengan komposisi FC 250 pada umumnya.

Berdasarkan pemaparan diatas, fosfor dijadikan sebagai variabel bebas dalam penelitian untuk mengetahui pengaruh fosfor pada material FC 250. Untuk itu penulis akan melakukan penelitian dengan judul *Analisis Pengaruh Fosfor Pada Material FC 250 Terhadap Sifat Mekanik*.

### B. Tinjauan Pustaka

Kandungan fosfor (s.d 0.5%) dapat meningkatkan fluiditas cairan hingga mampu cor

kebagian-bagian produk yang tipis, namun menurunkan *machinability*. Fosfor termasuk dalam golongan unsur paduan yang mempersempit daerah austenite ( $\gamma$ ) paduan besi-fosfor.

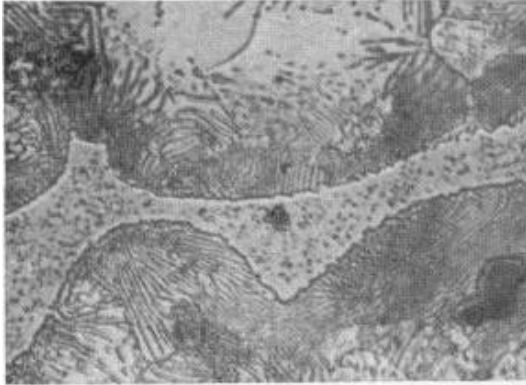


**Gambar 1** Diagram Ternern Fe-Fe<sub>3</sub>C-P Dengan Kandungan C=3% (R. Vogel & K. Roehrig)

Kandungan P didalam besi akan membentuk eutektik yang disebut dengan phosphideutektik atau steadit. Steadit adalah eutektikum ternern dari besi phospid ( $Fe_3P$ ), sementit ( $Fe_3C$ ) dan austenit ( $\gamma$ ). Steadit merupakan struktur yang keras sehingga keberadaannya juga akan meningkatkan kekerasan dan ketahanan gesek dari material besi cor.



**Gambar 2** Struktur Besi Cor Dengan Phospideutektik



**Gambar 4** Steadit Didalam Struktur Besi Cor Perlitik

### C. Metodologi Penelitian

Berdasarkan jenisnya, penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif. Penelitian kuantitatif adalah penelitian ilmiah yang sistematis terhadap bagian-bagian dan fenomena serta hubungan-hubungannya.

Adapun langkah-langkah penelitian ini terdiri dari: penganalisaan data spesimen Uji dari PT. Inalum, penentuan spesimen uji, penentuan alat uji, pembuatan spesimen uji, pengujian dan analisa hasil pengujian.

#### Penganalisaan data spesimen uji

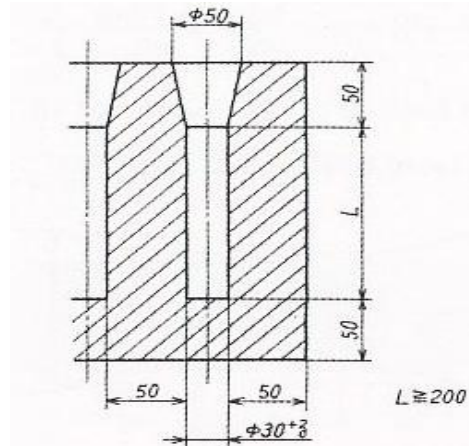
Spesimen yang di dapat dari PT. Inalum yaitu berupa potongan kecil dari *anode connector* setelah dipecah. Selanjutnya spesimen diolah untuk mendapatkan data-data yang menunjang bagi penelitian.



**Gambar 5** Spesimen Uji dari PT. Inalum

### Penentuan Spesimen Uji

Penentuan spesimen uji untuk uji struktur mikro dan uji kekerasan mengacu pada spesimen uji tarik standar JIS Z 2201. Hal ini dilakukan agar data yang dihasilkan memiliki keterkaitan kondisi yang sama.



**Gambar 6** Dimensi Sampel Uji Tarik Besi Tuang Kelabu<sup>3</sup>

### Penentuan Alat Uji

Alat uji yang digunakan terdiri dari:

1. Spektrometri (uji komposisi).
2. Seperangkat alat penggerindaan dan pengamplasan serta mikroskop (uji struktur mikro).
3. Alat uji kekerasan Brinel.
4. Alat uji tarik.

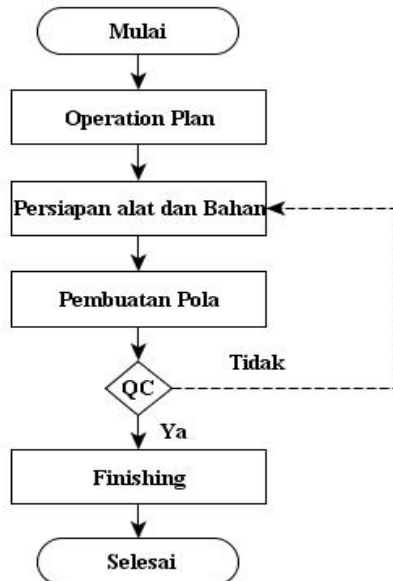
### Pembuatan Spesimen Uji

Pembuatan spesimen diawali dengan pembuatan pola terlebih dahulu. Dimensinya berdasarkan standar JIS Z 2201.

#### 1. Pembuatan Pola

Pola spesimen dibuat menggunakan kayu mahoni. Berdasarkan bentuknya, pola spesimen dibagi menjadi 2 bagian utama, yaitu 1. bagian cawan tuang, dan 2. bagian batang silinder. Adapun proses pembuatannya berdasarkan diagram alir dibawah ini.

<sup>3</sup> JIS G 5501/1999



**Gambar 7** Diagram Alir Pembuatan Pola Spesimen

## 2. Pasir Cetak

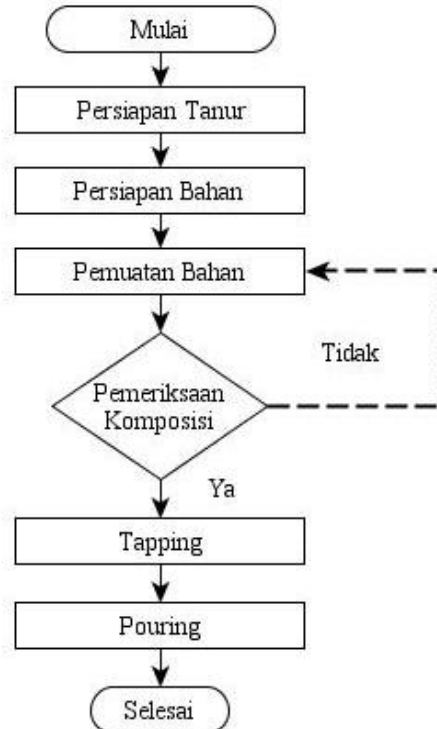
Pasir cetak yang digunakan adalah pasir cetak *greensand*. Penggunaan pasir cetak ini dikarenakan mempunyai suhu yang lebih tinggi dari suhu penuangan bahan FC 250.

## 3. Pembuatan Cetakan

Pembuatan cetakan spesimen uji tarik menggunakan metode cetakan tangan. Berdasarkan dimensi dan konstruksinya metode ini dinilai paling cocok dan ekonomis jika dibandingkan dengan penggunaan metode cetakan mesin.

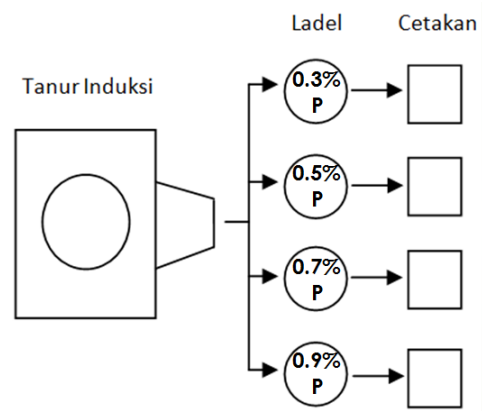
## 4. Peleburan

Proses peleburan menggunakan tanur induksi dengan kapasitas 350 kg. Diagram alir proses peleburan seperti pada gambar dibawah ini.



**Gambar 8** Diagram Alir Peleburan

Pemuatan bahan diawali dengan memasukan *return* material terlebih dahulu. Material ini dipilih karena memiliki bentuk yang masif sehingga rongga dasar tanur induksi dapat tertutup dengan maksimal dan proses peleburan dapat berlangsung dengan cepat.



**Gambar 9** Sketsa Peramuian Presentase Fosfor di dalam Ladel

## 5. Pembongkaran dan Pengerjaan Lanjut

### Coran

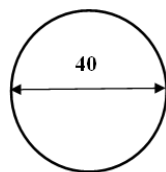
Proses pembongkaran dan pengerjaan lanjut tuangan memiliki tahapan yang cukup panjang seperti yang tertera pada gambar diagram alir dibawah ini:

### Pengujian

Pengujian yang dilakukan meliputi; uji komposisi, uji struktur mikro, uji kekerasan, dan uji tarik. Adapun pembahasannya akan dijelaskan sebagai berikut:

### Uji Komposisi

Spesimen uji untuk uji komposisi dengan material besi cor harus dilakukan melalui pendinginan cepat. Spesimen uji berbentuk silinder dengan diameter 40 mm dan tebal 10 mm.

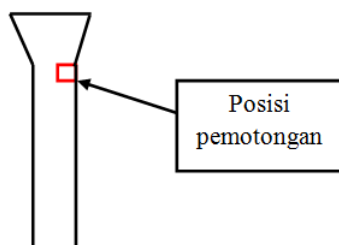


**Gambar 10** Spesimen Uji Komposisi

Kemudian dilakukan penggerindaan menggunakan gerinda perata. Setelah didapatkan bidang yang *flat*, selanjutnya di uji menggunakan alat spektrometri.

### Uji Struktur Mikro

Uji struktur mikro dilakukan untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada spesimen. Spesimen uji diambil dari bar uji tarik yang dipotong dengan ukuran 20x10x10,

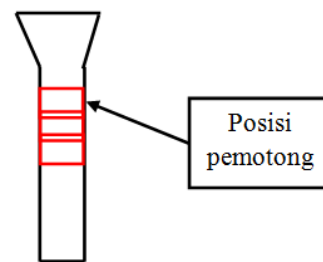


**Gambar 11** Posisi Pemotongan Spesimen Uji Struktur Mikro

Kemudian dilakukan pengamplasan menggunakan gerinda duduk dengan amplas dari mesh paling kasar ke mesh paling halus (120, 180, 240, 360, 600, 800, 1000). Selanjutnya dilakukan polesing menggunakan pasta intan. Lalu di etsa menggunakan bahan nital 3%, dicelupkan selama 3-5 detik. Selanjutnya dilakukan pengamatan dibawah mikroskop.<sup>4</sup>

### Uji Kekerasan

Spesimen uji kekerasan mengambil bagian batang dari spesimen uji tarik. Uji kekerasan Brinel menggunakan standar JIS Z 2243.



**Gambar 12** Posisi Pemotongan Spesimen Uji Kekerasan

Setiap spesimen dengan variasi presentase yang berbeda dibuat 3 buah specimen uji kekerasan. Hal ini dikarenakan pengujian kekerasan brinel akan menghasilkan hasil penetrasi yang cukup luas. Sehingga, satu spesimen akan digunakan untuk satu kali penetrasi.

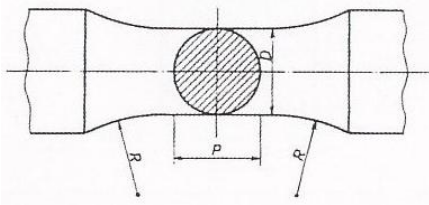
**Tabel 1** Sifat Mekanik FC Pada Sampel Uji<sup>5</sup>

Symbol of grade	Tensile strength N/mm <sup>2</sup>	Hardness HB
FC100	100	201
FC150	150	212
FC200	200	223
FC250	250	241
FC300	300	262
FC350	350	277

<sup>4</sup>ASM Metals Handbook, Vol 09 Metallography and Microstructures  
<sup>5</sup> JIS G 5501/1995

## Uji Tarik

Spesimen uji tarik yang digunakan mengacu pada standar JIS Z 2201. Berikut dimensi harus sesuai seperti gambar dibawah ini:



**Gambar 13** Standar Uji Tarik<sup>6</sup>

**Tabel 3** Standar Uji Tarik

Tipe dari sampel uji	Dimensi Coran Dari Sampel (diameter)	Panjang paralel P	Diameter D	Radius filel R
8 A	Kira-kira 13	Kira-kira 8	8	minimum 16
8 B	Kira-kira 20	Kira-kira 12,5	12,5	minimum 25
8 C	Kira-kira 30	Kira-kira 20	20	minimum 40

## Analisa Hasil Pengujian

Setelah semua proses selesai maka data yang dihasilkan dianalisa untuk mendapatkan kesimpulan dari penelitian. Hasil analisa harus bisa menjawab tujuan dari penelitian.

## D. Hasil Penelitian dan Pembahasan Pola Spesimen Uji

Pola spesimen uji dibuat menggunakan kayu mahoni. Adapun dimensinya mengacu pada standar JIS G 5501 yaitu (uji tarik FC 250). Pola yang dibuat sebanyak 4 buah.



**Gambar 14** Pola Spesimen Uji Tarik

## Cetakan

Cetakan yang dibuat berjumlah 4 cetakan dengan masing-masing cetakan terdapat 4 rongga spesimen uji. Hal ini diuraikan berdasarkan kebutuhan pengujian, yaitu:

1. 12 spesimen untuk kebutuhan uji tarik
2. 4 spesimen untuk kebutuhan uji struktur mikro dan uji kekerasan.

Pasir cetak yang digunakan yaitu pasir cetak *greensand*. Metode pembuatan cetakan secara manual (ditumbuk).



**Gambar 15** Cetakan Spesimen Uji

## Peleburan

Proses peleburan menggunakan tanur induksi dengan kapasitas 250 kg. Proses peramuan dan pemuatan bahan pada dasarnya membuat material FC 250. Namun untuk menentukan variasi presentase fosfor yang berbeda, dilakukan peramuan/penambahan fosfor didalam ladle dengan kapasitas full 24 kg.



**Gambar 16** Pemuatan Bahan Peleburan

Presentase fosfor yang ditargetkan yaitu 0.3%, 0.5%, 0.7% dan 0.9% P. Didalam satu cetakan

terdapat 4 rongga cetak, yang diperkirakan berat totalnya 8 kg/cetakan. Untuk itu peramuan pada ladle dilakukan setengah kapasitas ladle yaitu sebesar 12 kg. Sehingga proses *pouring* dibagi menjadi 4 tahap.

Uji komposisi dilakukan 4 tahap. Cairan dituang kedalam cetakan uji komposisi setelah peramuan didalam ladle selesai (sebelum *pouring*).



**Gambar 17** Spesimen Uji Komposisi

Adapun komposisi unsur setelah dilakukan uji komposisi menggunakan alat spektrometri ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

**Tabel 4** Komposisi unsur yang terjadi

Unsur	C	Si	Mn	S	P	Cr
Spesimen 1	3.2	1.6	0.66	0.0	0.4	0.07
Spesimen 2	3.2	1.5	0.66	0.0	0.8	0.07
Spesimen 3	3.1	1.5	0.68	0.0	1.0	0.07
Spesimen 4	3.2	1.5	0.70	0.0	1.1	0.07

Berdasarkan tabel diatas, presentase fosfor (P) tidak sesuai dengan yang ditargetkan. Hal ini bisa terjadi disebabkan oleh beberapa kemungkinan, antara lain:

1. Kandungan/kemurnian dari bahan paduan Fe-P yang diperkirakan 26% bisa lebih tinggi dari itu.
2. Pada saat *tapping* volume cairan yang dikeluarkan kurang dari 12 kg. Hal ini terjadi karena proses *tapping* dilakukan secara perkiraan.

Walaupun presentase komposisi yang dicapai tidak mencapai target yang diinginkan, namun hal itu tidak mengharuskan proses peleburan dilakukan pengulangan. Hal ini masih bisa mewakili variasi presentase kandungan fosfor untuk dilakukan penganalisaan.

### **Pembongkaran dan Pengerjaan Lanjut Coran**

Proses pembongkaran cetakan dilakukan secara terpisah. Hal ini dilakukan agar spesimen dengan variasi presentase yang berbeda tidak tertukar.

### **Pengujian**

Setelah didapatkan hasil coran, maka tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian. Pengujian yang dilakukan terdiri dari 3 pengujian, yaitu:

#### **Uji Struktur Mikro**

Uji struktur mikro mengacu pada standar ASTM E3-01. Tahap pertama pada pengujian ini yaitu pembuatan spesimen uji. Tahap kedua yaitu penggerindaan dari mesh terkasar sampai mesh terhalus. Tahap ketiga yaitu pemolesan menggunakan alumina dan pengetsaan nital 3%<sup>7</sup> dan tahap ke empat yaitu pengamatan dibawah mikroskop.

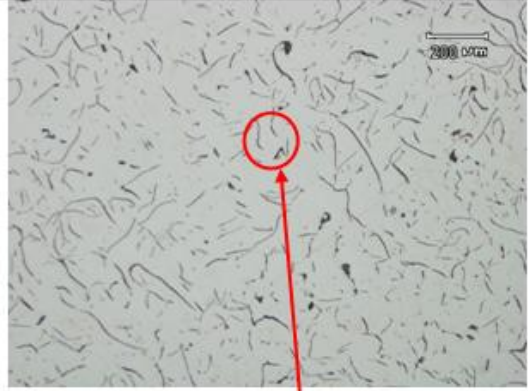



**Gambar 18** Spesimen Uji Struktur Mikro

<sup>7</sup> ASM Metals Handbook, Vol 09 Metallography and Microstructures

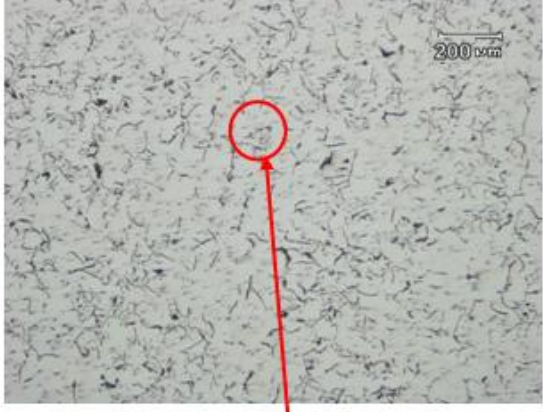
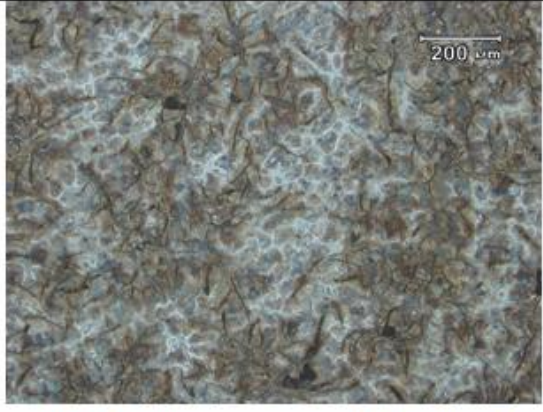
Berikut hasil pengamatan dibawah mikroskop terdapat pada tabel dibawah ini:

**Tabel 5** Data Struktur Mikro FC 250, 0.42% P


Grafit : Lamelar Bentuk : 1 Ukuran : 4 Type : A
Perbesaran 100x

Pearlit : 96.08% Steadit : 3.92% Etsa : Nital 3%
Perbesaran 100x

Pada spesimen 1 dengan presentase fosfor 0.42%, pada struktur mikro sebelum dilakukan pengetsaan, terlihat grafit lamelar dengan bentuk 1, ukuran 4 dan tipe A. Kemudian pada struktur mikro setelah dilakukan etsa menggunakan nital 3%, terbentuk fasa perlit 96.08% dan steadit 3.92%. Pada komposisi 0.42% P, steadit muncul dibatas butir.

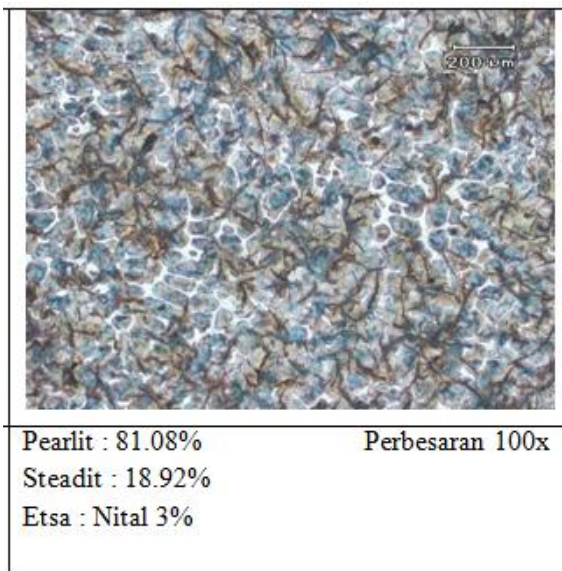
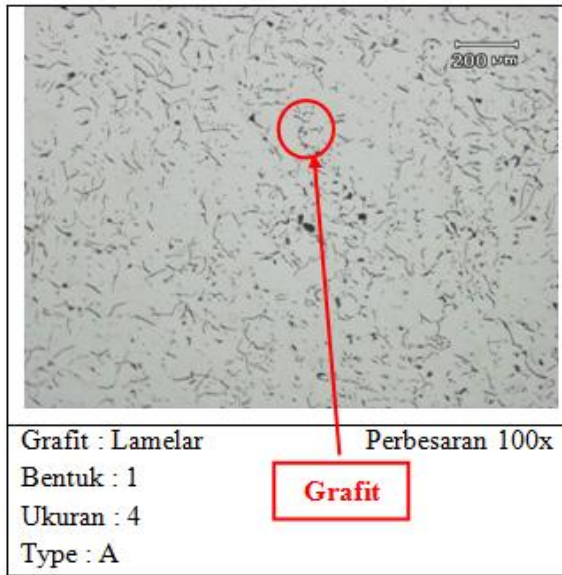
**Tabel 6** Data Struktur Mikro FC 250, 0.81% P


Grafit : Lamelar Bentuk : 1 Ukuran : 5 Type : A
Perbesaran 100x

Pearlit : 82.73% Steadit : 17.27% Etsa : Nital 3%
Perbesaran 100x

Pada spesimen 2 dengan presentase fosfor 0.81%, pada struktur mikro sebelum dilakukan pengetsaan, terlihat grafit lamelar dengan bentuk 1, ukuran 4 dan tipe A. Kemudian pada struktur mikro setelah dilakukan etsa menggunakan nital 3%, terbentuk fasa 82.73% perlit dan 17.27% steadit. Seiring dengan kenaikan presentase fosfor, presentase fasa steadit pun meningkat. Steadit muncul dibatas butir dengan bentuk yang cenderung runcing.

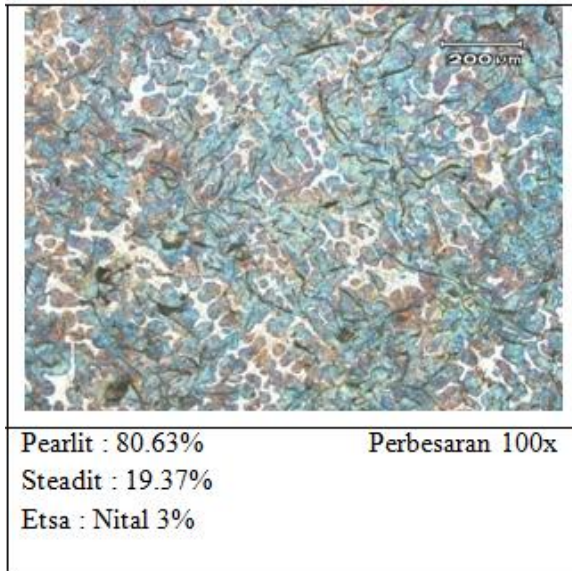
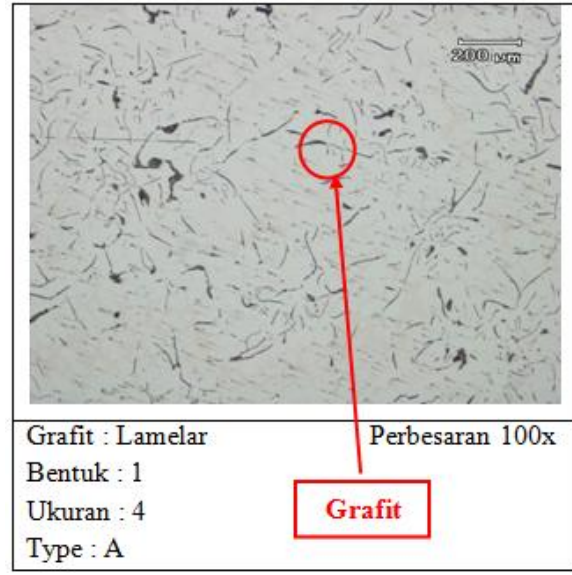


**Tabel 7** Data Struktur Mikro FC 250, 1.06% P

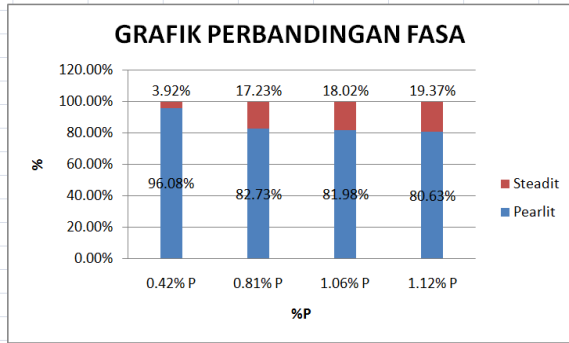


Pada spesimen 3 dengan presentase fosfor 1.06%, pada struktur mikro sebelum dilakukan pengetsaan, terlihat bentuk grafit lamelar dengan bentuk 1, ukuran 4 dan tipe A. Kemudian pada struktur mikro setelah dilakukan pengetsaan menggunakan nital 3%, terbentuk fasa 81.08% perlit dan 18.92% steadit. Presentase steadit kembali meningkat seiring dengan naiknya presentase fosfor.

**Tabel 8** Data Struktur Mikro FC 250, 1.12% P



Pada spesimen 3 dengan presentase fosfor 1.12%, pada struktur mikro sebelum dilakukan pengetsaan, terlihat bentuk grafit lamelar dengan bentuk 1, ukuran 4 dan tipe A. Kemudian pada struktur mikro setelah dilakukan pengetsaan menggunakan nital 3%, terbentuk fasa 80.63% perlit dan 19.37% steadit. Presentase steadit meningkat seiring dengan naiknya presentase fosfor.



Gambar 19 Grafik Perbandingan Fasa

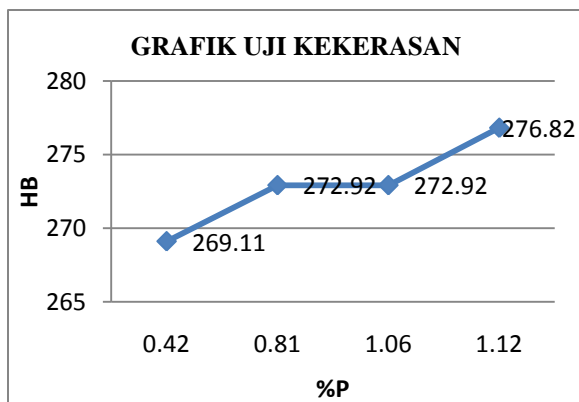
Dari keempat struktur mikro, seiring dengan naiknya presentase fosfor 0.42%, 0.81%, 1.06% dan 1.12%, diikuti dengan naiknya presentase fasa steadit.

### Uji Kekerasan

Uji kekerasan dilakukan menggunakan metode *Brinell* dengan mengacu pada standar JIS Z 2243.



Gambar 20 Spesimen Uji Kekerasan Brinell



Gambar 21 Grafik Uji Kekerasan Brinell

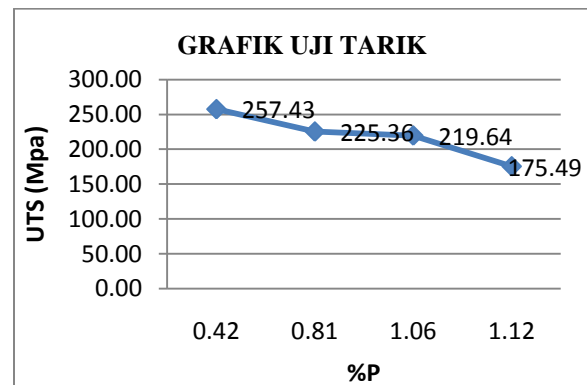
Berdasarkan data diatas dapat disimpulkan bahwa nilai kekerasan menggunakan uji kekerasan *Brinell* memiliki grafik yang naik dari presentase fosfor 0.42%, 0.81%, 1.06% dan 1.12%. Adapun perhitungan harga kekerasan *brinell* lebih rinci terlampir pada lampiran 2.

### Uji Tarik

Spesimen uji tarik yang digunakan mengacu pada standar JIS Z 2201.



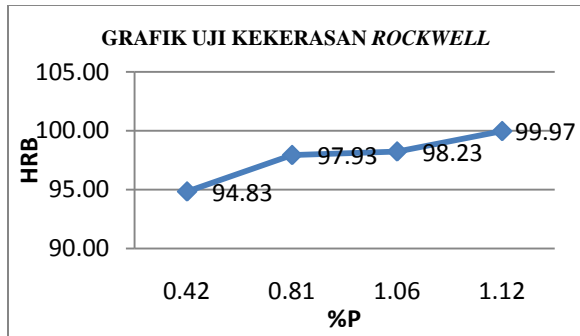
Gambar 22 Spesimen Uji Tarik



Gambar 23 Grafik Uji Tarik

Pada grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai kuat tarik memiliki grafik yang menurun dari presentase fosfor 0.42%, 0.81%, 1.06% dan 1.12%. Hal ini berbanding terbalik dengan nilai kekerasan menggunakan metode brinell.

Untuk lebih meyakinkan hasil analisa, dilakukan pengujian kekerasan menggunakan metode lain yaitu *Hardness Rockwell B* (ASTM E 18) dan mikro *Vickers* (ASTM A 92). Sehingga didapatkan hasil seperti pada tabel di bawah ini.



**Gambar 24** Grafik Uji Kekerasan Rockwell (HRB)



**Gambar 25** Jejak Penekanan (Pearlite-kiri, Steadit-kanan)

Berdasarkan data di atas dapat diketahui bahwa nilai uji kekerasan menggunakan metode *Rockwell* memiliki grafik yang naik seiring dengan bertambahnya presentase fosfor 0.42%, 0.81%, 1.06% dan 1.12%. Hal ini selanjutnya dibuktikan dengan pengujian kekerasan fasa menggunakan metode mikro *Vickers* dan hasilnya fasa *steadit* 565 HV lebih tinggi dibandingkan dengan *pearlit* 368 HV.

## 5. Kesimpulan

Dengan naiknya presentase fosfor pada variasi 0.42%, 0.81%, 1.06% dan 1.12%, terdapat pengaruh terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada spesimen uji, diantaranya:

1. Meningkatkan nilai kekerasan yang tidak terlalu signifikan.
2. Menurunkan nilai kekuatan tarik.
3. Pada struktur mikro terjadi kenaikan presentase fasa *steadit*,

## Saran

1. Mengacu pada grafik uji tarik dan uji kekerasan, FC 250 dengan variasi presentase fosfor 0.42%, 0.81%, 1.06% dan 1.12% memiliki nilai kekuatan tarik yang menurun dan nilai kekerasan yang naik. Untuk mendukung data tersebut di atas, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan melakukan uji impak atau uji puntir.
2. Berdasarkan fungsinya, *electrode connector* menerima arus listrik yang cukup besar pada proses elektrolisis pembuatan aluminium. Untuk itu perlu diketahui seberapa besar hambatan listrik yang terjadi pada material tersebut.
3. Berdasarkan referensi *Iron Casting Handbook* bahwa kandungan fosfor dapat meningkatkan fluiditas cairan hingga mampu cor bagian-bagian produk yang tipis. Pernyataan tersebut dapat dijadikan penelitian lanjut mengenai pengaruh fosfor pada FC 250 terhadap sifat mampu alir cairan.

## Referensi/Daftar Pustaka

- [1] Japanese Standart Association. 2004. *JIS Handbook 1. Jepang. Japanese Standarts*
- [2] ASM Handbook Committee. 1998. *ASM Handbook Volume 1, 9, 15. USA. ASM Internasional.*
- [3] Surdia, Tata, Chijiwa, Kenji. 2006. *Teknik Pengecoran Logam*. PT. Pradnya Paramita. Jakarta
- [4] Walton, Charles F and Opar, Timothy J. 1981. *Iron Castings Handbook*. Iron Casting Society.
- [5] Brown, Jhon R (editor). 2000. *Foseco Ferrous Foundrymen's Handbook*. Osford Botter Worth. Heineman.
- [6] Davis H E, Troxell G E and Hauck G F W. 1982. *The Testing Of Engineering Materials*. Japan. Kosaido Printing.
- [7] Krause D E. *Gray Iron Unique Engineering Material*. Iron Casting Research Institute.