

PENCEGAHAN PEMBEKUAN PUTIH PADA BESI COR KELABU FC-250 MENGUNAKAN TEKNOLOGI INOKULASI

Soedihono

Jurusan Teknik Pengecoran Logam, Politeknik Manufaktur Negeri Bandung
Jl Kanayakan No. 21 – Dago, Bandung - 40135
Phone/Fax : 022. 250 0241 / 250 2649
Email: dihono@polman-bandung.ac.id

Abstrak

Beberapa industri pengecoran logam nasional masih memiliki keterbatasan dalam penguasaan teknologi produksi, maka sering di-jumpai produk besi cor dalam negeri belum memenuhi ketentuan standar industri, terutama pada pembuatan suku cadang mesin yang mempunyai gradasi tebal dinding seperti konstruksi ekor burung (dove tale).

Dove tale memiliki perbedaan tebal dinding sangat ekstrim yang berpengaruh pada perbedaan laju pendinginan. Dibagian sudut tajam laju pendinginannya sangat cepat dan dibagian pangkal sangat lambat. Besi cor kelabu adalah salah satu jenis material multi crystalline, pembentukan struktur mikronya dipengaruhi oleh laju pendinginan, komposisi unsur kimia dan proses perlakuan lebur (inokulasi). Akibat laju pendinginan sangat cepat, bagian ujung dove tale cenderung terjadi pembekuan putih, keras dan tidak bisa diproses pengerjaan mesin.

Penulis telah melakukan penelitian untuk menyelesaikan permasalahan pembekuan putih melalui proses inokulasi, menggunakan metoda experiment dengan pendekatan metode Taguchi. Perbaikan berawal dari penentuan faktor-faktor dan nilai level yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas produk, kemudian dijadikan dasar dalam pemilihan Orthogonal Array. Efektifitas proses inokulasi erat kaitannya dengan jenis dan jumlah unsur kimia serta metoda yang dipergunakan, maka ditentukan tiga fariabel jenis penggunaan bahan inokulasi, tiga fariabel jumlah pemuatan bahan inokulasi dan tiga fariabel metoda inokulasi yang dilakukan pada pelaksanaan eksperimen untuk pencegahan pembekuan putih (pengerasan) pada konstruksi ekor burung.

Berdasarkan penelitian tersebut didapat hasil bahwa struktur mikro terbaik untuk faktor kendali yang dapat mencegah terjadinya pembekuan putih (pengerasan), dan menghasilkan keseragaman kekerasan besi cor kelabu pada konstruksi ekor burung melalui proses inokulasi adalah menggunakan metoda transfer ladle dengan pemberian sebanyak 0,25% bahan super seed ® 75, yang memiliki kandungan unsur kimia 0,1% Calcium, 0,6 – 1% Strontium dan maksimal 0,5% Aluminium.

Kata kunci: *Besi Cor Kelabu, Kesetaraan karbon, Struktur mikro, Kekerasan, Inokulas.*

1. Pendahuluan

Besi cor kelabu merupakan salah satu jenis material *multy crystalline*, yang sifatnya sangat dipengaruhi oleh kandungan struktur mikro, yang terkandung didalamnya. Pembentukan sangat dipengaruhi oleh laju pendinginan, komposisi unsur kimia dan proses perlakuan lebur (inokulasi).

Pengaruh laju pendinginan cepat, kandungan karbon tinggi dan silikon rendah, serta kurangnya jumlah *nucleus* saat prose pembekuan, proses pembentukan *grafit* menjadi lambat dan dihasilkan *sementit*. Pengaruh dari *sementit*, besi cor kelabu yang dihasilkan sangat keras dan rapuh, yang dapat mengakibatkan

terjadinya permasalahan pada proses dan penggunaan berikutnya. Kejadian seperti tersebut diatas sering terjadi pada proses pengecoran benda cor kelabu yang memiliki sudut tajam, seperti konstruksi baji, ekor burung.

Konstruksi ekor burung mempunyai gradien tebal dinding sangat ekstrim, di bagian ujungnya tipis dan bagian pangkal tebal. Pada bagian ujung yang tipis terjadi laju pendinginan sangat cepat yang dapat menghasilkan pembekuan putih dihasilkan sementit. Sedangkan di bagian pangkalnya yang tebal laju pendinginan lambat, cenderung menghasilkan pembekuan kelabu dihasilkan grafit.

Karena *sementit* sangat keras dan rapuh sedangkan *grafit* lunak, maka ketidak seragaman struktur mikro dapat mengakibatkan permasalahan pada proses dan penggunaan berikutnya.

Harus dicari solisinya agar benda cor yang memiliki dinding tipis tidak terjadi pembekuan putih

1.1. Permasalahan

Paduan besi dan karbon memiliki dua sistem kesetimbangan: sistem stabil dan *metastabil*. Sistem stabil karbon menempatkan diri sebagai *grafit*, sedangkan pada sistem *metastabil* karbon membentuk senyawa kimia Fe_3C yang disebut *sementit*.

Kerentanan pada sistem *metastabil* ($Fe-Fe_3C$), terjadinya tendensi pembekuan putih, yang cenderung mengembangkan zona besi putih atau berbintik-bintik (*melit*). Mengingat bahwa zona pembekuan putih sangat keras dan rapuh, Maka sebagai alternatif, pembekuan putih harus diperkecil dengan cara mengupayakan terjadinya pembekuan abu-abu. Supaya dihasilkan besi besi cor kelabu yang memiliki kekuatan tinggi, kekerasan rendah dan tahan terhadap. Upaya yang harus dilakukan adalah mengkorelasikan berbagai faktor, seperti: komposisi unsur kimia, suhu penuangan, perlakuan lebur (inokulasi), geometri coran [7, 2,3,7], bahan cetakan [8].

Komposisi unsur kimia, suhu penuangan selalu sama, geometri coran dan bahan cetakan untuk coran yang rumit sulit dibuat berbeda. Maka alternatif realistis untuk mencegah terjadinya pembekuan putih dilakukan melalui proses perlakuan lebur. Tujuannya: mempercepat / mempengaruhi proses pembekuan untuk mendorong pembentukan *grafit* dan menghasilkan struktur yang seragam.

Efektifitas proses *inokulasi* dipengaruhi oleh metoda proses, jenis dan jumlah bahan inokulasi yang dipergunakan, maka sampailah pada permasalahan:

Sampai seberapa jauh harus mengkorelasikan proses, jumlah dan jenis bahan inokulasi agar tidak terjadi pembekuan putih dan dihasilkan struktur mikro seragam pada besi cor kelabu FC-250, yang memiliki gradasi ketebalan dinding?

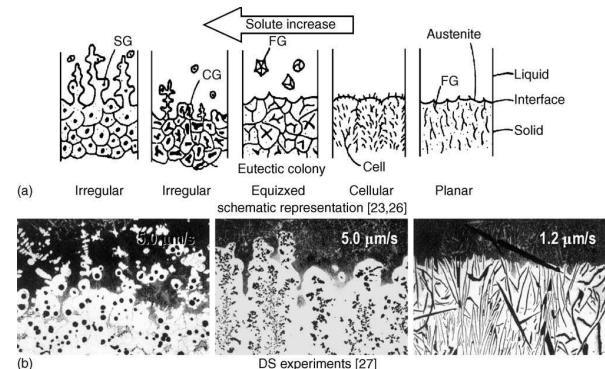
2. Tinjauan Pustaka

Besi cor kelabu FC-250 adalah salah satu jenis besi cor kelabu yang tergolong penggunaannya paling banyak di industri mesin, untuk pembu-

atan komponen mesin dan perkakas. Spesifikasi FC-250 (ASTM), sebagai berikut [6]:

Masa jenis	: 7,2 kg/dm ³
Suhu cair	: 1145 °C
Kekuatan tarik	: 250,000 psi, untuk benda uji dicor pada diameter 30 mm
Kekerasan	: mm
Struktur mikro	: 170 – 229 HB
	: “A” <i>grafit</i> ukuran 2-4,
Unsur kimia	: <i>perlit</i> – <i>ferit</i>
	: C= 3,0-3,2%, Si= 1,6-1,9%, P _{max.} = 0.25 %, S _{max.} = 0,12%

Sifat-sifat tersebut di atas sangat erat kaitannya dengan jenis dan jumlah struktur mikro dan *grafit* yang terkandung di dalamnya. Pembentukannya dihasilkan melalui proses pendinginan dari suhu pengecoran hingga suhu kamar. Ketika proses pendinginan berlanjut, pembekuan dimulai dengan pembentukan kristal austenit. Kemudian diteruskan dengan pembentukan cell eutektik, yang terdiri dari potongan-potongan *grafit* halus (*grafit eutektik*) dan *Austenit*. Sel-sel *eutektik* semakin lama besi semakin membesar yang kemudian saling bersentuhan pada saat membe-ku seluruhnya (gambar -2.1).



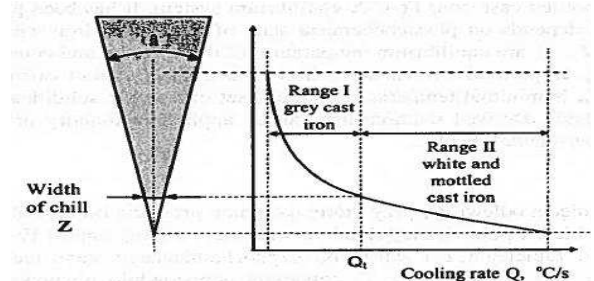
Keterangan:

DS: Directional solidification, CG: compacted graphite, FG: Ferricular *Grafit*, SG: spheroidal graphite.

Gambar 2.1: Skema dan Arah Pembekuan Besi Cor

2.1. Pembekuan Putih atau Kelabu

Paduan besi dan karbon membentuk dua sistem keseimbangan, sistem stabil dan *metastabil*. Pada sistem stabil karbon menempatkan diri sebagai *grafit*, menghasilkan warna patahan kelabu. Sedangkan pada sistem *metastabil* karbon membentuk senyawa kimia Fe_3C , menghasilkan pembekuan putih.



Gambar 2.2: Pengaruh Laju Pendinginan dan Tebal Dinding Terhadap Warna Pembekuan [21]

Kerentanan pada sistem *metastabil* adalah terjadinya pembekuan putih dan bintil-bintil hitam yang menyebabkan besi cor menjadi keras. Hal ini terjadi akibat dari laju pendinginan cepat dan tendensi pembekuan putih tinggi. Berdasarkan pada analisa teoritis pembekuan putih besi cor kelabu dipengaruhi oleh laju pendinginan, komposisi unsur kimia dan perlakuan lebur^[15, 24]. Adapun benda berbentuk baji tebal kritis dinding benda cor (S_{cr}) dan lebar total pembekuan putih (W), menurut (ASTM Standar A367-55T) dapat diketahui menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$S_{cr} = 2 p CT \quad [13] \quad (2.1)$$

$$W = \frac{4 n p}{\cos(\alpha/2)} CT \quad [13] \quad (2.2)$$

Dimana untuk besi cor kelabu:

$$p = \frac{a}{\pi} \left(\frac{2^5 T_s^3}{L_e \phi^3 C_{ef}^2} \right)^{1/6} \quad [15] \quad (2.3)$$

$$(CT) = \left[\frac{1}{N_{Cr} (1 - f_\gamma) \mu^3 \Delta T_{sc}^8} \right]^{1/6} \quad [13] \quad (2.4)$$

Catatan:

S_{cr} : tebal kritis dinding coran

W : lebar total pembekuan putih

P : laju pendinginan

A : kemampuan bahan cetakan menyerap panas: $0.10 \text{ J}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{0.5} \cdot ^\circ\text{C})$,

T_s : Suhu transformasi stabil^(2.7)

c_{ef} : panas spesifik austenit proeutectic

ϕ : koefisien perpindahan panas

L_e : Panas laten graphite eutektik

CT : tendensi pembekuan putih

μ : koefisien pertumbuhan *grafit*

(f_γ) : jumlah fraksi austenit proeutektik,

(ΔT_{sc}) : interval suhu *euteknik stabil* – suhu *eutektik metastabil*,

N_{cr} : Jumlah cell kritis pada $T \approx T_c$

Perbedaan antara suhu transformasi stabil (*graphite eutektik*) dengan suhu transformasi *metastabile* (*iron carbide eutektik*) (gambar 2.3), dikenal dengan interval suhu *euteknik stabil* – suhu *eutektik metastabil*, yang dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

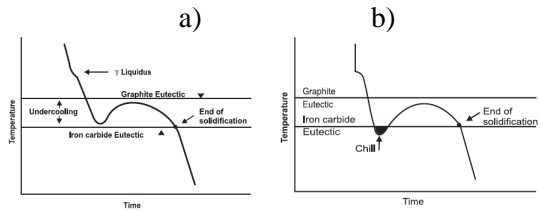
$$(\Delta T_{sc}) = T_s - T_c \quad [15] \quad (2.5)$$

Catatan:

ΔT_{sc} : interfal suhu *euteknik stabil* – suhu *eutektik metastabil*.

T_s : Suhu tranformasi stabil

T_c : Suhu transformasi *metastabile*



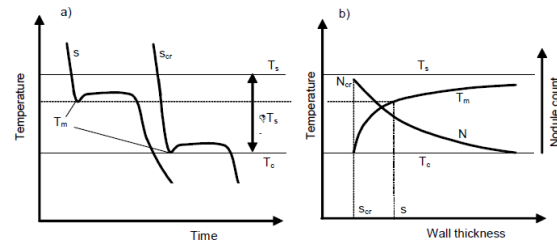
Gambar 2.3. a): Kurva Formasi *Grafit*, b) Kurva Formasi *Sementit* [19].

$$(f_\gamma) = \rho_m g_\gamma / (\rho_\gamma + g_\gamma (\rho_m - \rho_\gamma)), \quad (2.6)$$

Catatan:

- ρ_m : berat jenis besi cair = $7.1 \text{ g}/\text{cm}^3$,
- ρ_γ : berat jenis austenit = $7.51 \text{ g}/\text{cm}^3$,
- g_γ : Berat austenit (g_γ) = $(C_e - C) / (C_e - C_\gamma)$,

Jumlah *cell eutektik* (N) erat kaitannya dengan jumlah populasi dari partikel yang tersedia untuk nukleasi *grafit eutektik* (N_s) dan perbedaan suhu saat pemberian inokulasi dengan pembentukan *cell eutektik* (b). Secara garis besar dapat diketahui kaitan kurva pendinginan dengan potensi nucleusi *grafit* adalah sebagai berikut:



Gambar 2.4 a). Kurva pendinginan, b) potensi nucleusi *grafit* pengaruh tebal dinding coran terhadap suhu eutektik terendah, jumlah nodule N , N_{cr} : jumlah nodule kritis dan S_{cr} tebal dinding kritis [11]

Pada saat pembekuan setiap partikel (inti *grafit*) akan menghasilkan sel *eutektik* tunggal, yang menentukan jumlah sel eutektik. Karena penambahan partikel akan menambah jumlah *cell eutektik* (N) dan koefisien pertumbuhan *grafit* (μ), maka setiap penambahan partikel untuk neukleasi dapat diprediksi akan menaikkan suhu *under cooling*

$$(T_m) = T_s - \Delta T_m = T_s - \left[\frac{4C_{ef} Q^3}{\pi^3 L_e N_v \mu^3 (1 - f_\gamma)} \right]^{1/3} \quad [15] \quad (2.7)$$

Dimana:

T_s : Suhu tranformasi stabil

T_c : Suhu tranformasi *metastabile*

C_{ef} : Efektif panas spesifik dari austenit proeutectic

Q : Laju pendinginan di awal pembekuan

L_e : Panas laten *graphite eutectic* = $2028.8 \text{ J}/\text{cm}^3$

N_v : populasi dari partikel yang tersedia untuk nukleasi grafit

μ : koefisien pertumbuhan grafit,

(f_γ) : jumlah fraksi austenit proeutektik,

ΔT_m : Perbedaan antara suhu transformasi stabil dengan suhu terendah pembekuan grafit

Nilai C_{ef} , L_γ , L_e , c , μ , dan lain lain dapat dilihat pada data Thermalphysical Besi Cor Kelabu (tabel 2.1).

Table 2.1: *Thermophysical Data* Besi Cor Kelabu [13]

Parameter	Nilai
Kalor laten dari grafit eutektik	$L_e = 2028.8 \text{ J/cm}^3$
Kalor laten austenit	$L_\gamma = 1904.4 \text{ J/cm}^3$
Panas spesifik besi cor	$c = 5.95 \text{ J/(cm}^3 \cdot \text{)}^\circ\text{C}$
Koefisien pertumbuhan grafit eutektik	$\mu = (9.2-6.3\text{Si}^{0.25}) \times 10^{-6} \text{ cm}/(\text{ }^\circ\text{C}^2 \cdot \text{s})$
Kemampuan bahan cetakan menyerap panas	$a = 0.10 \text{ J/(cm}^2 \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{)}^\circ\text{C}$
Koefisien hubungan garis kelarutan JE', E'S', dan BC dalam sistem Fe-C	$\beta = 0.001 \text{ } 55^\circ\text{C}^{-1}$
Suhu beku grafit eutektik	$T_s = [1154.0+5.25\text{Si}-14.88\text{P}]^\circ\text{C}$
Kandungan karbon di dalam grafit eutektik	$C_e = (4.26-0.30\text{Si}-0.36\text{P})\%$
Maksimum kandungan karbon di dalam austenit pada suhu T_s	$C_\gamma = (2.08-0.11\text{Si}-0.35\text{P})\%$
Suhu cair austenit untuk C_γ	$T_{ly} = [1636-113(2.08+0.15\text{Si}+0.14\text{P})]^\circ\text{C}$
Berat jenis austenit	$\rho_\gamma = 7.51 \text{ g/cm}^3$
Berat jenis besi cair	$\rho_m = 7.1 \text{ g/cm}^3$
Jumlah fraksi austenit proeutektik	$f_\gamma = \rho_m g_\gamma / [\rho_\gamma + g_\gamma (\rho_m - \rho_\gamma)]$

3. Eksperimen

Penelitian dilakukan menggunakan metoda experimental dengan pendekatan *Taguchi*. Rangkaian eksperimen dilakukan dengan mengombinasikan tiga jenis bahan inokulasi: Superseed @ 75, FeSi-75, Super Select S-70, dengan tiga variasi pemuatan 0,5%, 0,35% dan 0,2% dan tiga metoda *Transfer Ladle*, *Pouring Ladle* dan *In Mould*. Hasil eksperimen diuji di laboratorium logam untuk mengetahui sifat

mekanik, komposisi dan struktur mikro.

3.1. Rancangan Eksperimen

Apabila dipergunakan metoda "*Full Factorial*" dibutuhkan sebanyak $3^3=27$ kali eksperimen. Supaya diperoleh jumlah eksperimen, yang ekonomis dengan hasil sama, eksperimen dilakukan menggunakan pendekatan *Taguchi* dengan jumlah eksperimen sebanyak $3^{(3-1)}=9$. rancangan eksperimen dapat dilihat pada tabel-3.1

Tabel 3.1: Eksperimen Untuk Sembilan Coran

No. Exp.	Bahan Inokulasi		Metd. Inokulasi
	Jenis	Jml	
Exp-1	Superseed @ - 75	0,50%	<i>Transfer Ladle</i>
Exp-2	Superseed @ - 75	0,35%	<i>Pouring Ladle</i>
Exp-3	Superseed @ - 75	0,25%	<i>In mould</i>
Exp-4	Fe-Si 75	0,45%	<i>Pouring Ladle</i>
Exp-5	Fe-Si 75	0,50%	<i>In mould</i>
Exp-6	Fe-Si 75	0,25%	<i>Transfer Ladle</i>
Exp-7	Super Select S-70	0,50%	<i>In mould</i>
Exp-8	Super Select S-70	0,35%	<i>Transfer Ladle</i>
Exp-9	Super Select S-70	0,25%	<i>Pouring Ladle</i>

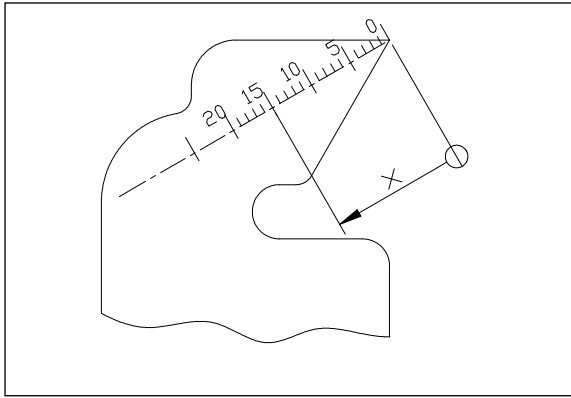
Untuk mengoptimalkan kinerja proses inokulasi, ditentukan rasio kandungan Mn:S=12 dan kandungan Sulfur =0,05%, maka Mn= 0,6%. Secara keseluruhan komposisi unsur kimia adalah tabel 3.2.

Tabel 3.2: Komposisi Unsur Kimia

Jumlah	Komposisi Unsur Kimia				
	C	Si	Mn	P	S
Nom.(%)	3,3	2,4	0,6	0,1	0,05
Tol. (%)	3,25-3,35	2,35-2,45	0,6 \pm 0,06	0,1	0,05 0,05

3.2. Benda Uji dan Titik Pengujian

Benda uji dibuat dari penampang bagian tengah *dove tale*. Masing-masing benda uji dibuat sampel untuk pemeriksaan *metallografi* dan uji



Gambar-3.5: Lokasi Titik Penujian Jarak $-x$ Dari Ujung Sudut *Dove Tale*.

4. Hasil & Pembahasan

Data komposisi unsur kimia didapat dari pengujian sampel yang diambil dari cairan yang dibuat dengan metoda pembekuan putih (*chill*). Sampel uji *chill* diuji menggunakan spectrometer yang terdapat di laboratorium logam Politeknik Manufaktur Bandung.

Tabel 4.1: Kandungan Unsur Kimia

Sampel	Komposisi Unsur Kimia (%)				
	C	Si	Mn	P	S
Exp-1	3,45	2,37	0,64	0,011	0,006
Exp-2	3,29	2,23	0,63	0,12	0,007
Exp-3	3,25	2,23	0,61	0,011	0,007
Exp-4	3,45	2,37	0,64	0,011	0,006
Exp-5	3,29	2,23	0,63	0,12	0,007
Exp-6	3,25	2,23	0,61	0,011	0,007
Exp-7	3,45	2,37	0,64	0,011	0,006
Exp-8	3,29	2,23	0,63	0,12	0,007
Exp-9	3,25	2,23	0,61	0,011	0,007

4.1. Pemeriksaan *Grafit* dan Struktur Mikro

Pemeriksaan *grafit* dan struktur mikro menggunakan mikroskop optik dengan lensa okuler pada pembesaran 500 kali.

4.2. Eksperimen

Tabel 4.2: Hasil Pemeriksaan Metallografi

No. Exp.	Jarak x mm	Grafit			Struk.Mikro	
		B	D	U.	Perlit	Ferit
Exp-1	1 ^{±0,5}	I	D&B	6-7	10%	90%
	5 ^{±0,5}	I	A	5-6	60%	40%
	10 ^{±0,5}	I	A	3-4	60%	40%
	15 ^{±0,5}	I	A	3-4	70%	30%
Exp-2	1 ^{±0,5}	I	D	6-7	10%	90%
	5 ^{±0,5}	I	A	4-5	40%	60%
	10 ^{±0,5}	I	A	3-4	50%	50%
	15 ^{±0,5}	I	A	3-4	50%	50%
Exp-3	1 ^{±0,5}	I	E	6-7	40%	60%

	5 ^{±0,5}	I	A	4-5	80%	20%
	10 ^{±0,5}	I	A	3-4	90%	10%
	15 ^{±0,5}	I	A	3-4	90%	10%
Exp-4	1 ^{±0,5}	I	A	6-7	80%	20%
	5 ^{±0,5}	I	A	4-5	95%	5%
	10 ^{±0,5}	I	A	3-4	95%	5%
Exp-5	15 ^{±0,5}	I	A	3-4	90%	10%
	1 ^{±0,5}	I	A,B	6-7	60%	40%
	5 ^{±0,5}	I	A	4-5	95%	5%
Exp-6	10 ^{±0,5}	I	A	3-4	95%	5%
	15 ^{±0,5}	I	A	3-4	95%	5%
	1 ^{±0,5}	I	A,B	6-7	40%	60%
Exp-7	5 ^{±0,5}	I	A	4-5	90%	10%
	10 ^{±0,5}	I	A	3-4	90%	10%
	15 ^{±0,5}	I	A	3-4	90%	10%
Exp-8	1 ^{±0,5}	I	A	6-7	50%	50%
	5 ^{±0,5}	I	A	4-5	95%	5%
	10 ^{±0,5}	I	A	4-5	95%	5%
Exp-9	15 ^{±0,5}	I	A	3-4	95%	5%
	1 ^{±0,5}	I	A	5-6	20%	80%
	5 ^{±0,5}	I	A	4-5	50%	50%

Keterangan:

B: Bentuk Grafit, D: Distribusi Grafit, U: Ukuran Grafit.

4.3. Pengolahan Data

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa struktur mikro hasil eksperimen melalui proses inokulasi tidak ditemukan *sementit* maupun *ledeburit*, maka warna pembekuan yang dihasilkan abu-abu.

4.3.1. Pengaruh Bahan Inokulasi

Penggunaan bahan inokulasi Superseed @75 menghasilkan jumlah kristal ferit terbanyak dan seragam.

Penggunaan FeSi 75 menunjukkan hasil kristal perlit paling banyak dan tidak seragam.

Sedangkan penggunaan Super Select S-70 menghasilkan kekerasan campuran kristal perlit dan ferit paling seragam.

4.3.2. Pengaruh Jumlah Pemberian Bahan Inokulasi

Dari pengamatan tabel 13 dapat disimpulkan bahwa:

1. Pemberian 0,5% bahan inokulasi menghasilkan jumlah ferit terbanyak.
2. Pemberian 0,35 % bahan inokulasi menghasilkan kristal tidak homogen,

3. Pemberian 0,25 % bahan inokulasi menghasilkan kristal paling hogen.

Superseed ®75 mengandung 73-78% Si, 0,1% Ca, 0,6 – 1% Sr, 0,5% Al. Superselect S-70 memiliki unsur 71,98% Si, 1,4% Ca, 1,98% Ba, 1,89% Al. Sedangkan FeSi-75 memiliki kandungan 75% Si dan 0,19% Al. Sr adalah unsur paling dominan untuk menurunkan dan menyeragamkan kekerasan, kemudian Ba dan seterusnya adalah Si.

Sr, Ba dalam proses pembekuan besi cor menempatkan diri sebagai nucleus (inti kristal), maka keberhasilan menurunkan dan menyeragamkan kekerasan karena jumlah nucleus lebih banyak, sehingga transformasi eutektik terjadi lebih cepat. *Under cooling* dapat dicegah, kristal sementit tidak terbentuk dan pada dinding tipis tidak terjadi pengerasan.

5. Kesimpulan

1. Bahan inokulasi super seed ® 71 memiliki kemampuan paling tinggi mencegah terjadinya pembekuan putih pada bagian sudut tajam coran, dan menghasilkan keseragaman paling struktur mikro paling.
2. Pemberian sebanyak 0,25% dari berat coran dihasilkan struktur mikro paling seragam.
3. Metoda pemberian bahan inokulasi yang paling tepat adalah memasukan bahan inokulasi ke dalam *Transfer Ladle*.
4. Ca, Ba, Sr dan Al adalah unsur kimia kunci, sedangkan ferrosilikon hanya berfungsi sebagai median pembawa unsur-unsur aktif yang kritis, yang diperlukan dalam rangka untuk memberikan elemen-elemen kecil untuk menghasilkan konsentrasi yang tepat dan untuk menghasil kinerja kelarutan inokulasi yang optimal.
5. Barium (Ba) sebagai unsur pembentuk *nucleus* yang terkandung didalam bahan inokulasi *Super Select S-71* memperlihatkan fungsinya sebagai bahan pembentuk nucleus paling baik, yang dapat menyeragamkan struktur mikro.
6. Sr (strontium) adalah unsur pembentuk nucleus yang terkandung di dalam bahan inokulasi *Super Select S-71*, yang mampu menghasilkan kristal ferit lebih kuat dari unsur lain.
7. Aluminium (Al) hanya berfungsi sebagai pembentuk shell nucleus.
8. FeSi selain berfungsi untuk memperjauh perbedaan suhu transformasi eutektik stabil dan metastabil, juga sebagai media pembawa unsur kimia inokulasi masuk kedalam besi cair.

Daftar Pustaka

1. Wilhelm Domke, 1982, “*Werstoffkunde und Werkstoffpuefung*”. Published by Verlag W. Girardet. Essen, Germany.
2. Charles F. Walton, 1981, “*Iron Casting Handbook*”, Published by Iron Casting Society, Inc. England.
3. Ernst Brunhuber, Dipl.-Ing, 1983, “*Gieserei Lexikon*”, Edisi -12, Penerbit Fachverlag Schele & Schoen GMBH. D-1000 Berlin 61.
4. Hermann Schumann, 1983, “*Metallographie*”, 11. Auflage, VEB Deucher Verlag fuer Grundstoffindustrie, Leipzig,
5. W Patterson, 1963, “*Gusseisen-Handbuch*”, second edition, Penerbit Gieserei-Verlag GMBH, Duesseldorf,
6. Robert Wlodawer, 1977, “*Gelenkte Erstarung von Gusseisen*”, edisi-10, Penerbit Giesserei-Verlag GMBH, Duesseldorf.
7. Taylor Lyman, 1973, “*Metallography, Structure and Phase Diagrams*”, American Society For Metals, first printing, ASM Handbook Committee, USA.
8. Tata Surdia, Chijiwa K, “*Teknik Pengecoran Logam*”, Penerbit PT Pradnya Paramita, Bandung.
9. Elkem Foundry Products Division, “CAST IRON INOCULATION” www. Foundry. Elkem.com.
10. M. Górny, 30.03.2009, “Mechanism of silicon influence on chills in ductile iron”, Published by University of Science and Technology, Reymonta 23St, 30-059 Kraków, Poland* e-mail: mgorny@agh.edu.pl
11. G.M. Goodrich “Cast Iron Microstructure Anomalies and Their Causes, Published by AFS Transactions.
12. E. Fraś , M. Górny, W. Kapturkiewicz, H. Ló, April 2008 “ Chilling Tendency and Chill of Cast Iron, Published by TSINGHUA SCIENCE AND TECHNOLOGY.
13. M. Trepczyńska-Ł., 24.04.2009, “ White and gray solidification of the Fe-C eutectic, Published quarterly as the organ of the Foundry Commission of the Polish Academy of Sciences, E-mail address: trema@utp.edu.p.