

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

## M3-007 "PERSENTASE *FINE SPONGE* TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BESI TUANG KELABU YANG DIBENTUK MELALUI PROSES PENGECORAN"

**Sigit Pradana  
Muhamad As'adi**

Program Studi Teknik Mesin UPN "Veteran" Jakarta  
Jl.RS Fatmawati Pondok Labu  
Jakarta Selatan 12450 Telp. 021 7656971 ext.195 Fax.021 75904177  
Email :sigit\_pradana@yahoo.com

### **ABSTRAK**

*Besi spons (sponge iron) adalah salah satu bahan utama dalam pembuatan baja. Proses pembuatan sponge iron menggunakan teknologi HYL yaitu mereduksi pelet bijih besi secara langsung (Direct Reduction Proses) dengan gas pereduksinya CO dan H<sub>2</sub>. Dalam proses pereduksian bijih besi tersebut, terdapat produk samping (limbah) yaitu besi spons halus (fines sponge iron). Pada pabrik pembuatan baja biasanya fines sponge ini hanya digunakan untuk pembuatan Cold Brequette Iron (CBI) saja. Pada tulisan ini akan membahas tentang penggunaan fines sponge untuk pembuatan besi tuang kelabu. Proses pembuatan besi tuang kelabu dengan cara pengecoran dan peleburan. Peleburan terjadi di dalam tanur induksi, dengan campuran bahan baku yaitu besi wantah dengan fines sponge sebanyak 2 ton, adapun penambahan campuran fines sponge dalam peleburan adalah sebanyak 10%, 20%, 30% dan 40%. Penambahan fines sponge pada proses pembuatan besi tuang kelabu ternyata berdampak pada tingkat kekerasan, bentuk grafit dan struktur mikro dari besi tuang. Besi tuang akan semakin menurun tingkat kekerasannya dan meningkatnya tingkat keuletannya (ductile) sebanding dengan banyaknya penambahan fines sponge pada peleburan. Selain dapat membantu penyediaan bahan baku alternatif untuk industri pembuatan besi skala kecil dan menengah, fines sponge juga dapat menghasilkan produk besi tuang yang dapat digunakan dalam peralatan konstruksi ringan untuk rumah tangga.*

*Kata Kunci : fines sponge, besi tuang, kekerasan dan struktur mikro*

## 1. Pendahuluan

Besi spons (*sponge iron*) adalah salah satu bahan utama dalam pembuatan baja. Proses pembuatan sponge iron menggunakan teknologi HYL yaitu mereduksi pelet bijih besi secara langsung (*Direct Reduction Proses*) dengan gas pereduksinya CO dan H<sub>2</sub>. Dalam proses pereduksian bijih besi tersebut, terdapat produk samping (limbah) yaitu besi spons halus (*finer sponge iron*). Pada pabrik pembuatan baja biasanya *finer sponge* ini hanya digunakan untuk pembuatan *Cold Brequette Iron* (CBI) saja.

*Finer sponge* adalah besi spons berbentuk agregat dengan ukuran 3 mm, atau yang lebih dikenal dengan spons halus. Konsep pencampuran ini memberikan suatu metode yang baru untuk dapat mengefisienkan penggunaan bahan baku. Penggunaan besi spons pada pembuatan besi tuang saat ini masih dalam pengembangan.

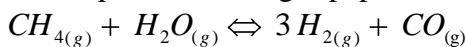
Penggunaan besi spons pada percobaan ini adalah untuk membuat besi tuang kelabu. Proses pembuatannya dilakukan dalam tanur listrik busur inti, kapasitas peleburan 2 ton. Pencampuran besi spons pada proses peleburan bervariasi yaitu : 10%, 20%, 30% dan 40%.

## 2. Tinjauan Pustaka

### Proses Pembuatan Besi Spons

Proses pembuatan besi spons menggunakan teknologi HYL yaitu dengan mereduksi pelet bijih besi secara langsung (*Direct Reduction Proses*) dengan gas pereduksi CO dan H<sub>2</sub>. Gas pereduksi diperoleh dari gas alam (gas *methane* atau CH<sub>4</sub>) yang direduksi dengan uap air lewat jenuh pada temperatur sekitar 830<sup>0</sup>C di dalam suatu unit yang disebut reformer.

Reaksi pembentukan gas pereduksi adalah sebagai berikut :



$$\Delta G^o = 16,37T - 16,37T \ln T + 5,81 \cdot 10^{-3} T^2 + 0,37 \cdot 10^5 T^{-1}$$

Sedangkan reaksi reduksi langsung adalah sebagai berikut :

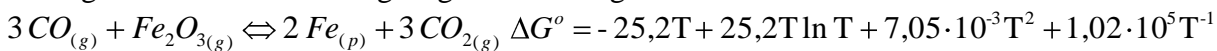
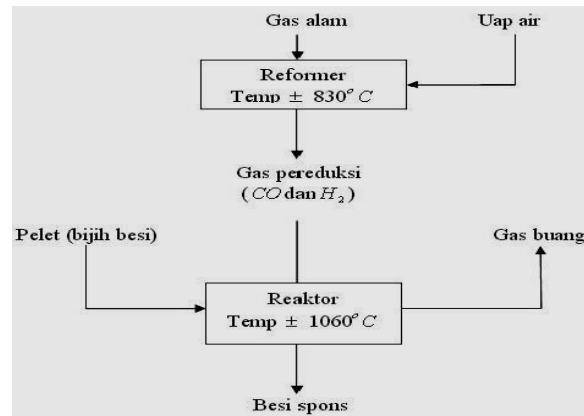


Diagram alir proses pembuatan besi spons, secara skematis ditunjukkan gambar dibawah ini.



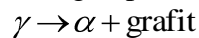
Spons halus adalah besi spons yang berbentuk agregat dengan ukuran kurang dari 3 mm dan merupakan bahan limbah proses produksi besi spons. Proses degradasi spons akibat penanganan material terjadi juga pada saat transportasi dari gudang pengiriman menuju dapur peleburan.

## Besi tuang kelabu

Besi tuang adalah suatu paduan antara besi (Fe) – carbon (C) – silisium (Si) dimana kandungannya 2 – 4% C dan 0,5 – 3% Si dengan melalui *palung* reaksi *eutectic* selama pendinginan. Identifikasi adanya perbedaan besi tuang satu dengan yang lain ditunjukkan oleh perbedaan unsur-unsur utama.

Besi tuang kelabu (*grey cast iron*) : besi tuang dengan identifikasi permukaan patahan (*fracture surface*) berwarna kelabu. Warna kelabu disebabkan oleh adanya struktur grafit. Struktur ini terjadi selama pendinginan dimana unsur karbon bebas (*grafit*) yang berbentuk berupa serpih. Struktur ini bersifat ulet dan berkekuatan yang relatif lebih rendah.

Struktur utama dan sifat dari tiap-tiap besi tuang kelabu ditetapkan oleh bagaimana perubahan struktur dari austenit (*austenite*) selama reaksi yang terjadi pada fasa eutektoid (*eutectoid*) dibawah kondisi kesetimbangan perubahan. Perubahan ini terjadi dari fasa austenit ke grafit dan ferit (*ferrite*).



Fasa austenit adalah suatu larutan padatan (*solid solution*) karbon dalam besi  $\gamma$ . Sedangkan fasa perlit merupakan mikro struktur berupa lamel-lamel antara ferit dan sementit, dimana fasa tersebut bersifat kuat dan ulet. Fase sementit (*sementite*) merupakan ikatan intermetalik (*intermetallic compound*) dari karbida dalam besi  $\alpha$ . Sifat struktur tersebut bersifat getas dan keras. Ferit merupakan suatu larutan padatan karbon dalam besi  $\alpha$ . Struktur ini bersifat lunak dan liat (ulet).

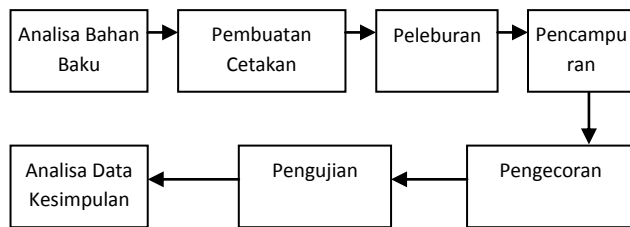
# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

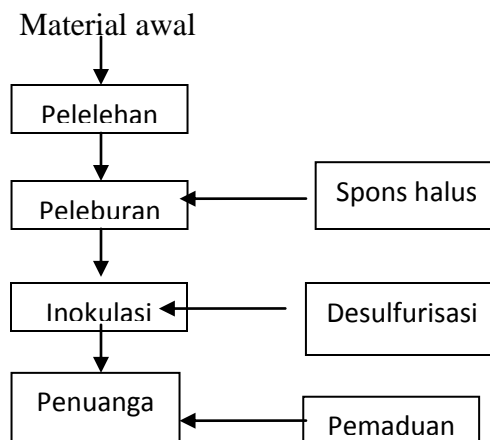
Salah satu komposisi paling utama dalam besi tuang kelabu selain karbon adalah silisium atau secara umum disebut silikon (Si). Selama proses peleburan unsur silisium akan berikatan dengan besi membentuk ferri-silisium yang akan berpengaruh menaikkan kekerasan dan kekuatan.

Struktur grafit merupakan bentuk karbon bebas yang terjadi akibat penggrafitan sementit selama proses pendinginan. Ditinjau dari bentuk, ukuran dan jumlah strukturnya memberikan pengaruh terhadap sifat mekanik dari besi tuang kelabu. Secara umum dalam struktur besi tuang kelabu terdapat 85% kandungan karbonnya terbentuk sebagai grafit sehingga akan mengakibatkan sifat besi tuang bersifat keras dan getas.

### 3. Metodologi Penelitian Diagram Alir Penelitian



Proses pembuatan besi tuang kelabu yang dilakukan diawali dengan seleksi bahan baku utama dan penimbangan, selain itu dilakukan persiapan lain dari peralatan utama maupun pendukung. Selanjutnya bahan baku dimasukkan ke dalam dapur dan dapur mulai dihidupkan. Proses pembuatan atau langkah kerja proses digambarkan pada gambar di bawah ini.



#### 1. Pelelehan.

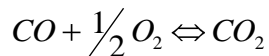
# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

Pelelehan (*smelting*) adalah proses perubahan fisik (*perubahan fasa*) dari padat menjadi cair tanpa disertai dengan reaksi kimia. Dengan adanya bahan alternatif berupa spons halus dalam leburan, maka prosesnya menjadi peleburan dan di dalamnya disertai dengan terjadinya reaksi kimia yang disebut peleburan (*smelting*). Selama proses peleburan akan terjadi pemurnian oksidasi yaitu pendistribusian unsur-unsur pengotor ke dalam fasa lain yaitu kerak (*slag*).

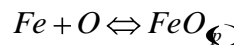
Reaksi-reaksi oksidasi selama peleburan adalah sebagai berikut:

a. Oksidasi Karbon



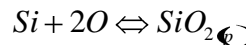
$$\Delta G^\circ = 2,64T - 2,64T \ln T - 1,21 \cdot 10^{-3} T^2 + 2,89 \cdot 10^5 T^{-1}$$

b. Oksidasi Besi



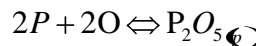
$$\Delta G^\circ = 6,14T - 6,14T \ln T - 2,83 \cdot 10^{-3} T^2 + 0,3 \cdot 10^5 T^{-1}$$

c. Oksidasi Silisium



$$\Delta G^\circ = 3,06T - 3,06T \ln T - 0,64 \cdot 10^{-3} T^2 + 0,19 \cdot 10^5 T^{-1}$$

d. Oksidasi Phosphor

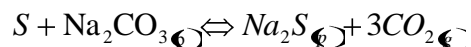
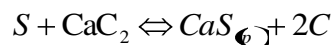


$$\Delta G^\circ = -28,89T + 38,94T \ln T - 53,5 \cdot 10^{-3} T^2 - 0,2 \cdot 10^5 T^{-1}$$

## 2. Desulfirisasi.

Desulfurisasi merupakan proses pengurangan sulfur. Proses ini dilakukan karena pembentukan grafit terjadi pada kadar sulfur rendah, oleh karena itu proses pengurangan kadar sulfur merupakan persyaratan yang penting dan diharapkan dibawah 0,10%.

Desulfurisasi umumnya dilakukan dengan menambah senyawa karbida ( $CaC_2$ ) atau soda ash ( $Na_2CO_3$ ) kedalam logam cair. Penambahan ini akan menghasilkan reaksi sebagai berikut :



## 3. Inokulasi.

Secara umum inokulasi merupakan proses penambahan sejumlah kecil material pada logam cair yang berbentuk untuk membentuk inti-inti selama proses kristalisasi. Pada besi tuang kelabu, inokulasi bertujuan untuk memperbaiki bentuk serpih grafit sehingga diharapkan diperoleh jenis grafit yang sesuai. Selain itu dengan inokulasi dapat dicegah terbentuknya karbida besi yang tidak diinginkan.

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

Pada besi tuang kelabu material yang ditambahkan berupa inokulan seperti silisium (*silicon*) atau karbon, akan tetapi yang umum digunakan berupa ferrosilicon (FeSi) dengan kandungan silisium 85% atau 50,75%. Bahan lain yang jarang digunakan calcium-silicon (CaSi) selain itu sukar larut dan tidak mengandung unsur-unsur aktif inokulan seperti Ca, Ba, Al dan sebagainya.

Efektifitas inokulasi tergantung kepada beberapa variabel meliputi :

- a. Komposisi kimia material awal, misal unsur silisium lebih besar 1%.
- b. Persentase komposisi kimia inokulan.
- c. Waktu kontak antara inokulasi saat penuangan.
- d. Temperatur logam cair.
- e. Metoda inokulasi.

#### 4. Pemaduan.

Pemaduan merupakan proses penambahan unsur paduan ke dalam besi tuang kelabu untuk mengubah struktur mikro dan sifat mekanik yang diinginkan. Pengaruh utama unsur paduan terhadap sifat kimia, fisik dan mekanik besi cor antara lain :

1. Jumlah grafit dan ratio grafit-karbida.
2. Bentuk, ukuran dan distribusi grafit.
3. Struktur matrik.
4. Sifat struktur yang terbentuk.

#### 4. Penuangan.

Setelah pelelehan mencapai *grade* dan temperatur yang telah ditentukan kemudian dituang kedalam ladle, sekaligus ditambahkan inokulan dengan jumlah tertentu. Sebelum proses penuangan dilakukan persiapan pembuatan spesimen besi tuang, dimana di dalamnya terdapat pembuatan persiapan pola dan pembuatan cetakan.

##### a. Persiapan Pola.

Langkah pertama dalam pembuatan spesimen dengan pengecoran adalah membuat pola (*pattern*). Beberapa ketentuan yang harus diperhatikan dalam pembuatan pola antara lain :

- Bentuk akhir benda kerja (spesimen) harus ditentukan terlebih dahulu.
- Pola harus memberikan kompensasi untuk pengerutan, kelebihan untuk proses penyelesaian (*machinig*) dan penyelesaian sudut kemiringan sehingga memudahkan dalam pembuatan *gating* sistem.

##### b. Pembuatan Cetakan.

Cetakan terbuat dari pasir *silica* dengan menggunakan proses  $CO_2$ . prinsip pembuatannya yaitu :

- Bahan cetakan berupa pasir dengan bahan pengikat menggunakan sodium silikat (air gelas,  $Na_2O.SiO_2$ ). Selanjutnya cetakan tersebut ditup dengan gas sehingga  $CO_2$  membentuk sodium karbonat

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

dan hidrosodium silikat. Dengan peniupan secara berkesinambungan mengakibatkan cetakan akan mengeras, tanpa pemanasan.

• Bentuk cetakan silinder.

spesimen yang dibuat adalah

## Spesifikasi

## Peralatan

### 1. Tanur listrik busur inti

- Jenis : tanur  
Daya listrik : 380 volt, 350 kW  
Volume krus : 2 ton besi tuang  
Pabrik pembuatan : Rusia  
Tahun pembuatan : 1960

### 2. Alat Penujang

- Alat ukur temperatur : *CS Meter, pyrometer optic*  
Merk pabrik : *Met lab. Foundry inspection system*  
Alat ukur karbon ekivalen : *CS Meter, Ceq.*  
Merk pabrik : *Met lab. Foundry inspection system.*

### 3. Mesin Pencampur

Sebagai pencampur bahan-bahan cetakan seperti pasir silica, *water glass* dan sebagainya.

Unsure (%)	Besi kasar	Besi tua	Spons halus
Fe	94,21	93,80	89,52
C	3,37	3,14	2,25

## Peleburan

listrik busur inti

## Komposisi Bahan Leburan

Mempersiapkan bahan-bahan yang diperlukan dalam proses pengecoran sesuai komposisi yang diinginkan. Pembuatan besi tuang kelabu dalam percobaan ini digunakan bahan baku utama meliputi besi kasar, besi tua, dan spons halus. Pengendalian komposisi leburan selama operasi dilakukan dengan sistem perhitungan bilangan karbon ekivalen dengan menggunakan alat karbon ekivalen meter.

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

Si	2,78	2,93	
Mn	0,58	0,53	
P	0,10	0,12	0,074
S	0,01	0,14	0,012
FeO			9,30
Fe as metal			82,26
Metalisai			89,88
SiO <sub>2</sub>			1,061
CaO			0,012
MgO			0,87
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			1,05

## Kondisi Peleburan

- Temperatur penuangan
- Total coran 2 ton dengan
- Variasi penambahan fines 10%, 20%, 30%, dan 40%.

dari dapur ke ladle, 1275 °C .  
asumsi berat besi tua 10% .  
sponge ditetapkan yaitu :

## Percobaan Dan Pengujian

Percobaan peleburan dilakukan simulasi penambahan spons halus ke dalam dapur. Simulasi penambahan terlihat pada tabel dibawah ini. Penambahan spons halus ke dalam leburan disimulasi dari 10%, 20%, 30%, dan 40% terhadap berat total bahan baku peleburan sebesar 2 ton. Sedangkan cara penambahan spons halus dilakukan setelah bahan baku utama lebur semua membentuk (*liquid poll*).

No percobaan	Besi wantah (kg)	Besi tua (kg)	Spons halus (kg)
1	1600	200	200
2	1400	200	400
3	1200	200	600
4	1000	200	800

Bentuk coran besi tuang kelabu, hasil percobaan berupa silinder yang secara skematis digambarkan seperti terlihat pada gambar dibawah ini, dengan panjang rata-rata benda uji 200mm dan dengan diameter rata-rata 40mm. Produk coran selanjutnya akan dianalisa komposisi kimia, pengujian kekerasan dan pemeriksaan metalografi.





Berdasarkan hasil penelitian akan diperoleh data-data sebagai berikut :

Data Metalografi.

- Bentuk dan panjang flake karbon
- Mikro struktur
- Foto metalografi

Data Dari CS Meter.

- Komposisi kimia

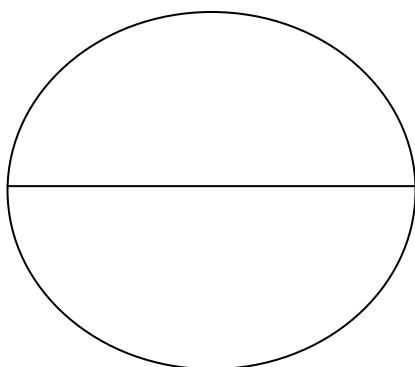
Data Dari Uji Mekanik.

- Uji Kekerasan

## Uji Kekerasan Dan Uji Metalografi

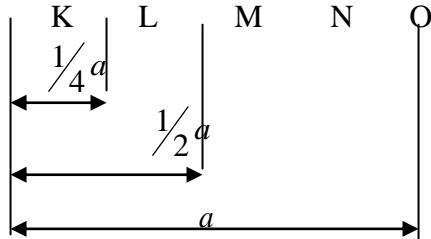
Pengujian dilakukan sepanjang lebar produk coran dan sebelum dilakukan pengujian sampel dilakukan preparasi berupa polesing agar permukaan terlihat lebih rata.

Sample pengujian berupa silinder. Secara skematis gambar permukaan silinder yang akan diuji kekerasan digambarkan seperti pada gambar dibawah ini.



# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009



## Hasil dan Pembahasan

Bentuk spesimen silinder merupakan contoh uji hasil percobaan dimana selanjutnya akan dilakukan pengujian yaitu pemeriksaan komposisi, metalografi dan uji kekerasan. Hasil dan data percobaan akan ditabelkan sebagai berikut.

## Komposisi Kimia Hasil Percobaan

Pengujian komposisi kimia hasil coran, diuji dari produk coran setelah besi cor dituang. Berdasarkan uji spectrometer, hasil pengujian dapat dilihat pada tabel.

Unsur	Batasan %		Percobaan : penambahan spons halus			
	Min	Maks	10%	20%	30%	40%
C	2,50	4,00	3,81	3,07	2,96	2,85
Mn	0,40	1,00	0,49	0,44	0,38	0,33
Si	1,00	3,00	2,22	1,98	1,73	1,49
P	0,05	1,00	0,098	0,096	0,093	0,091
S	0,05	1,00	0,023	0,023	0,024	0,024
Ceq			3,92	3,73	3,54	3,35

Pengujian kekerasan berupa makro (macro hardness), sedangkan operasi pengujian dan spesifikasi alat sebagai berikut :

- Alat : *schenck treble*
- Beban : 100 kgf
- Waktu identasi : 30 detik

Hasil uji kekerasan dari besi tuang kelabu dapat ditabelkan seperti terlihat pada tabel dibawah ini.

Penambahan spons halus	Penetrasi kekerasan makro brinell, HB					
	K	L	M	N	O	Rata-rata

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

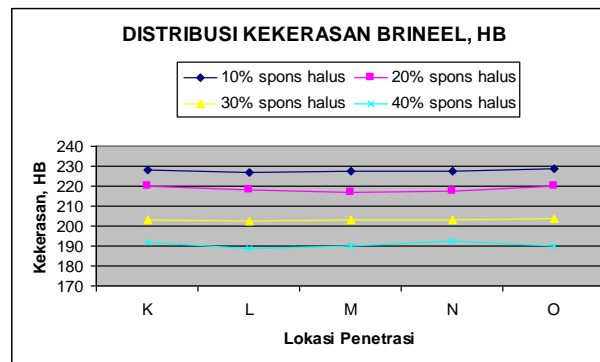
10%	228,3	226,7	227,2	227,4	228,8	227,7
20%	219,8	218,2	216,7	217,5	219,7	218,0
30%	203,4	202,8	203,4	203,3	203,5	203,3
40%	192,1	188,6	189,9	189,3	192,5	190,1

Hasil pemeriksaan metalografi dari besi tuang kelabu hasil percobaan terlihat pada tabel dibawah ini.

Penambahan spons halus	Panjang Karbon Serpih ( $10^{-2} mm$ )				
	P	Q	R	S	T
10%	0,10	0,11	0,10	0,10	0,11
20%	0,12	0,10	0,8	0,12	0,12
30%	0,12	0,12	0,10	0,13	0,13
40%	0,12	0,12	0,9	0,12	0,13

## Pembahasan Sifat Mekanis

Dalam percobaan ini di dapat hasil dari pengujian kekerasan. Adapun hasil pengujian ditunjukkan pada grafik dibawah ini.



Jika dilihat dari grafik di atas maka semakin bertambahnya jumlah penggunaan besi spons maka nilai kekerasan akan menurun. Hal ini disebabkan karena terjadinya penurunan karbon sebagai unsur dimana senyawa karbon telah bersenyawa membentuk  $Fe_3C$  yang nantinya akan mempengaruhi sifat-sifat mekanis dari besi tuang kelabu ini.

Penggunaan spons halus yang digunakan sebagai bahan baku memiliki komposisi yang cenderung lebih baik dibandingkan dengan *scrap*, mulai dari keseragamannya, komposisi kimia dan bentuk ukurannya.

## Komposisi Kimia

### 1. Unsur Karbon

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

Unsur karbon cenderung menurun sesuai dengan bertambahnya jumlah penggunaan spons halus. Sebagaimana dalam data komposisi kimia dari bahan baku yaitu spons halus dapat diketahui banyak mengandung besi (Fe) dan unsur besi ini ternyata berikatan dengan unsur karbon yang membentuk sementit ( $Fe_3C$ ).

Hal ini berpengaruh pada tingkat kekerasan besi tuang kelabu, yaitu dengan berkurangnya unsur karbon pada besi tuang kelabu mengakibatkan turunnya kekerasan pada besi tuang kelabu.

## 2. Unsur Mangan

Unsur mangan juga berkecenderungan menurun sesuai dengan bertambahnya jumlah penggunaan spons halus. Mangan berpengaruh pada proses penggrafitan yaitu memperlambat penggrafitan. Sebaliknya dalam pembentukan sementit mangan merupakan unsur yang menstabilkan proses pembentukan sementit.

Selain itu pula mangan akan bereaksi dengan belerang yang nantinya akan membentuk sulfida mangan ( $MnS$ ).

## 3. Unsur Silisium

Keberadaan silisium dalam proses peleburan akan mempengaruhi fasa Fe-C-Si. Kandungan silisium menentukan beberapa bagian dari karbon terikat dengan besi dan beberapa bagian berbentuk grafit setelah tercapai keadaan seimbang. Pengaruh silisium pada besi tuang hampir sama dengan unsur karbon, yaitu dengan berkurangnya kadar silisium maka besi tuang pun semakin menurun kekerasannya.

## 5. Unsur Fosfor

Fosfor sebagian besar akan larut dalam ferit dan yang lainnya akan membentuk besi fosfor ( $Fe_3P$ ) yang nantinya akan mempengaruhi pembentukan larutan stedit. Ikatan yang terbentuk dari fosfor ini bersifat sangat keras dan rapuh. Selain itu keberadaan fosfor ini akan menurunkan titik cair dan menaikkan keenceran bahan.

Penurunan kadar fosfor akan menyebabkan besi tuang yang menggunakan spons halus lebih banyak, akan mengalami penurunan kekerasan dan kerapuhan.

## 6. Unsur Sulfur

Unsur sulfur yang meningkat menyebabkan sulitnya pembentukan grafit, sehingga jumlah sementit meningkat. Semakin besar jumlah penggunaan spons halus, kadar sulfur bertambah. Ini berarti bahwa semakin besar kadar sulfur maka akan semakin banyak sementit yang terbentuk.

Kadar sulfur yang berlebihan akan membentuk gas-gas yang nantinya akan membentuk rongga-rongga (*blow hole*).

## Struktur Mikro.

Bentuk grafik yang terjadi adalah termasuk tipe-A, yaitu terdistribusi merata dengan grafit berupa serpih berbentuk bengkok terorientasi sembarang. Pada daerah pinggir fasa sementit banyak dan akan semakin berkurang di daerah tengah sedangkan untuk grafitnya semakin ketengah semakin panjang dan pencabangannya berkurang dan relatif halus.

Semakin banyak jumlah penggunaan spons halus maka semakin banyak pula sementit yang terbentuk dan grafitnya berkurang dan bentuk grafitnya yang semakin panjang dengan cabang yang sedikit.

Hal ini disebabkan oleh kadar komposisi kimia dan laju pendinginan. Apabila kadar komposisi kimia memiliki lebih banyak unsur karbon maka grafit akan mudah terjadi, sedangkan untuk laju pendinginan akan mempengaruhi bentuk dari pembentukan grafit, semakin tinggi laju pendinginan maka grafit yang terbentuk adalah pendek, bercabang dan agak besar. Pengaruhnya terhadap sifat mekanis adalah semakin banyak jumlah karbon pada besi tuang menyebabkan besi tuang tersebut memiliki kekerasan yang tinggi dan cenderung lebih getas. Sedangkan untuk grafitnya semakin sedikit jumlahnya dan bentuknya dengan pencabangan yang sedikit maka menyebabkan kekerasannya berkurang.

## 5. Hasil dan Pembahasan

### Kesimpulan

Hasil penelitian proses pembuatan besi tuang kelabu dengan penggunaan bahan alternatif spons halus, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Jenis besi tuang yang dipeloleh adalah besi tuang kelabu dengan grafit tipe-A (grafit terbagi merata dengan orientasi sembarang).
2. Semakin banyak jumlah persentase penggunaan spons halus, kekerasan besi tuang akan semakin menurun.
3. Semakin banyak jumlah persentase penggunaan spons halus, persentase kadar komposisi karbon, mangan, silisium dan fospor menurun, sedangkan persentase kadar sulfurnya meningkat.
4. Semakin banyak jumlah persentase penggunaan spons halus, sementit yang terbentuk pun semakin banyak dan menyebabkan karbon serpih (grafit) semakin panjang, jumlahnya sedikit dan pencabangannya menjadi lebih pendek.
5. penggunaan besi tuang kelabu dari proses peleburan dengan pencampuran spons halus, dapat digunakan untuk kontruksi ringan dan ornamen rumah tangga.

## DAFTAR PUSTAKA

## Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

---

1. ASM, "*Metal Handbook Vol.8, Metallography Srtucture and Phase Diagrams*", 8<sup>th</sup> edition, American Sociaty For Metal, Park Ohio 1973.
2. Howard F. "*Foundry Engineering*", John Welly & Son Inc, New York 1966.
3. Heine R. W., "*Principles of Metal Casting*", TMH, tata Mc Graw Hill Publishinh Company, Ltd. New Delhi 1978.
4. JIS Hand Book 1993 "*Ferrous Material and Metallurgy*", Japanese Standard Association 1987.
5. *Operating manual*, Vol. I of III, Divisi Perawatan Pabrik Besi Spons HYL III DR Plant PT. Krakatau Steel.
6. *Operating manual*, Vol. IV of V, Divisi Perawatan Pabrik Besi Spons HYL III DR Plant PT. Krakatau Steel.
7. Pusdiklat PT. KRAKATAU STEEL, "*Baja dan Besi Cor*", Materi Pelatihan Pengetahuan Bahan, Cilegon 1985.
8. Sudira T., Chijiwa, K., "*Teknik Pengecoran Logam*", cetakan keenam, Pradnya Paramita, Jakarta 1991.
9. Sudira Tata., Saito, Shinroku, "*Pengetahuan Bahan Teknik*", Pradya Paramita, Jakarta 1999.