

ANALISIS PENAMBAHAN MAGNESIUM DAN CERIUM SEBAGAI PEMBULAT GRAFIT BESI TUANG NODULAR

Moh. Jufri*

ABSTRAK

Besi Tuang *Nodular* adalah salah satu jenis dari besi tuang yang *grafitnya* berbentuk bulat dan mempunyai sifat mekanik yang relatif lebih baik dibandingkan jenis besi tuang lainnya. Pembentukan *grafit* bulat dalam Besi Tuang *Nodular* dipengaruhi oleh unsur magnesium dan logam tanah jarang. Logam tanah jarang dapat diperoleh dari limbah pertambangan timah telah banyak dilakukan dan berhasil mendapatkan *cerium oksalat* ($Ce_2(C_2O_4)_3 \cdot xH_2O$). *Cerium oksalat* yang dihasilkan akan dicoba sebagai unsur pembulat *grafit* pada proses pengecoran besi tuang *nodular*. Pada penggunaan sebagai pembulat *grafit* dan dipadukan dengan logam tanah jarang lainnya seperti *lanthanum* (La), *neodymium* (Nd), *samarium* (Sm) dan lainnya dengan sebutan *Cerium Rich Miscmetal*. Hasil pengujian menunjukkan penambahan *cerium oksalat* sebesar 0.025% dapat meningkatkan jumlah *grafit* bulat sebesar 18.75%, menurunkan kekuatan mekanis yang diakibatkan adanya porositas akibat adanya dekomposisi *cerium oksalat*, menimbulkan terbentuknya *grafit* serpih, inklusi dan penyusutan mikro.

1. PENDAHULUAN

Pertambangan timah besar yang ada di Indonesia saat ini telah menimbulkan banyak masalah terhadap lingkungan. Salah satu masalah yang timbul adalah sisa pemrosesan biji timah berupa *tailing* yang banyak mengandung logam tanah jarang dan unsur lainnya yang bersifat racun terhadap tanah. Bahkan didalam sisa hasil pemrosesan tersebut terkandung juga bahan radioaktif yang sangat membahayakan bagi lingkungan.

Penelitian mengenai pemanfaatan limbah pertambangan timah telah banyak dilakukan dan berhasil mendapatkan *cerium* (III) *oksalat* ($Ce_2(C_2O_4)_3 \cdot xH_2O$) dengan kemurnian yang cukup tinggi, lebih kurang 90%. Proses pemanfaatan limbah tersebut belum dapat dilakukan dalam skala produksi mengingat konsumsi *cerium oksalat* untuk industri tidak begitu besar. Sebagai kelanjutan dalam penelitian diatas, *cerium oksalat* yang dihasilkan akan dicoba sebagai unsur pembulat *grafit* pada proses pengecoran besi tuang *nodular* (BTN). Pada penggunaan sebagai pembulat *grafit* (*noduliser*), *cerium* biasanya dipadukan dengan logam tanah jarang lainnya seperti *lanthanum* (La), *neodymium* (Nd), *samarium* (Sm) dan lainnya dengan sebutan *Cerium Rich Miscmetal*. *Ce-*

rium oksalat hasil pemanfaatan limbah mempunyai kandungan yang berbeda dengan *miscmetal* yaitu *cerium* (Ce), *thorium* (Th), karbon (C) dan oksigen (O) dengan kadar *cerium* tertinggi 56%.

Pengecoran besi tuang lebih banyak menggunakan magnesium sebagai pembulat *grafit* pada proses pengecoran BTN. Selain mudah didapat dalam bentuk Magnesium *ferrosilicon* magnesium (Fe-Si-Mg), penggunaan magnesium dirasa cukup efektif dalam pembentukan *grafit* bulat dan pengikatan belerang (S). Sedangkan *cerium* merupakan logam tanah jarang yang relatif lebih rendah penggunaannya dibandingkan magnesium dalam pembentukan *grafit* bulat.

Besi Tuang *Nodular* (BTN) atau dikenal juga dengan besi tuang ulet (*ductile Iron*) adalah salah satu jenis dari besi tuang yang *grafitnya* berbentuk bulat dan mempunyai sifat mekanik yang relatif lebih baik dibandingkan jenis besi tuang lainnya. Pembentukan *grafit* bulat (*nodular*) dalam Besi Tuang *Nodular* (BTN) dipengaruhi oleh unsur magnesium dan/atau logam tanah jarang yang dinamakan unsur pembulat *grafit* (*noduliser*).

Cerium oksalat juga dapat digunakan sebagai pembulat *grafit* karena pada temperatur tinggi *cerium*

* Moh. Jufri, Staff Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Malang

oksalat akan terdekomposisi menjadi cerium atau *cerium* oksida dan karbon monoksida (CO). Pengaruh cerium dalam besi tuang nodular sudah jelas, sedangkan karbon monoksida merupakan gas yang dalam proses pengecoran sangatlah dihindari karena dapat menyebabkan porositas. Untuk itu, karakteristik besi tuang nodular yang dihasilkan oleh cerium oksalat yang dipadukan dengan magnesium perlu dilakukan. Besi tuang nodular atau secara internasional disebut sebagai *ductile iron* adalah jenis besi tuang dimana bentuk *grafitnya* adalah bulat secara 2 dimensi atau bola secara 3 dimensi. Proses pembekuan besi tuang nodular sama dengan pembekuan besi tuang yang lainnya, hanya saja selama pembekuan diberikan aditif yang akan merangsang terbentuknya *grafit* bulat.

Bentuk *grafit* yang bulat ini akan menyebabkan nilai kekuatan dan elongasi besi tuang nodular meningkat sehingga mengungguli besi tuang kelabu atau besi tuang mampu tempa (*malleable*) dalam aplikasi struktural. Kekuatan dan elongasi besi tuang *nodular* juga dapat ditingkatkan lagi dengan proses perlakuan panas menjadi *austenitic ductile iron* (ADI). Umumnya komposisi kimia besi tuang *nodular* berbeda dengan jenis besi tuang lainnya. Material dasar (*raw materials*) yang digunakan harus lebih murni dibandingkan untuk pembuatan besi tuang kelabu atau besi tuang mampu tempa. Dalam bentuk cair, besi tuang *nodular* mempunyai sifat fluiditas tinggi, mampu cor yang sangat baik tetapi tegangan permukaannya cukup tinggi. Cetakan pasir yang digunakan juga harus kokoh, memiliki kepadatan yang tinggi dan mampu memindahkan panas dengan baik.

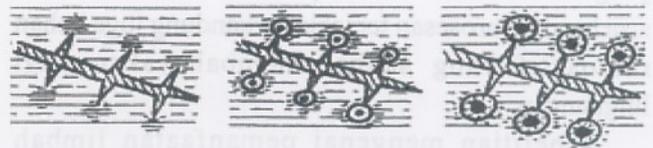
Pembentukan *grafit* bulat selama pembekuan akan meningkatkan volume di mana akan mengkompensasi penyusutan akibat transformasi fasa cair – padat. Penggunaan riser dalam cetakan dapat diminimalkan berbeda dengan besi tuang kelabu dan besi tuang mampu tempa yang memerlukan riser yang cukup besar dan banyak, sehingga *yield* besi tuang *nodular* jauh lebih tinggi. Besi tuang *nodular* dapat dipadukan dengan sejumlah kecil nikel, *molibden*, dan tembaga untuk meningkatkan kekuatan dan mampu kerasnya. Penambahan *molibden* akan meningkatkan kekuatan tetapi harus terkontrol sebab cenderung mengakibatkan segregasi interselular apabila berlebihan. *Molibdenum*, krom, tembaga dan *nickel* dapat ditambahkan untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi, oksidasi, abrasi dan aplikasi temperatur tinggi.

1.2. Mekanisme Pembentukan *Grafit* Bulat

Saat ini terdapat beberapa teori tentang pembentukan dan pertumbuhan *grafit* bulat dalam besi tuang *nodular*. Teori-teori tersebut didasarkan atas penelitian selama beberapa puluh tahun, dengan kesimpulan yang sangat berbeda satu dengan yang lainnya. Teori leburan (*Melt Theory*) dianggap sebagai teori yang paling sedikit menimbulkan pertanyaan dan dapat menjelaskan hilangnya struktur dendrit dalam besi tuang *nodular*.

1.2.1 Teori sementit

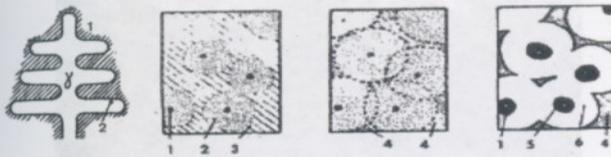
Pada awal perkembangan besi tuang *nodular*, *grafit* bulat didapat dengan perlakuan panas dengan struktur yang bebas sementit, sehingga pembentukan *grafit* bulat ini dianggap sebagai dekomposisi karbon dari sementit atau yang dikenal dengan "*Cementite theory*". Morrogh menyatakan bahwa pembentukan *grafit* bulat tidak terjadi selama logam dalam keadaan cair tetapi pembentukannya dimulai saat pembekuan. *Grafit* bulat terbentuk di sekitar dendrit sesaat sebelum reaksi eutektik terjadi. Setelah nuklus terbentuk maka dekomposisi sementit akan berlangsung sehingga pertumbuhan *grafit* bulat akan berlangsung. Ilustrasi prosesnya dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 1. Pembentukan *grafit* bulat berdasar "*Cementite Theory*"

1.2.2. Teori Austenit

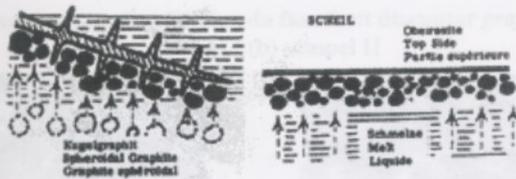
Hasil penelitian De Sy mengemukakan teori bahwa *grafit* bulat terbentuk pada daerah penyusutan (*shrinkage cavities*) dan tanpa mengalami reaksi eutektik. Dalam pembentukan campuran kristalnya, *grafit* bulat dibentuk oleh sistem austenit super jenuh (*supersaturated austenite*), teori ini dikenal dengan "*Austenite Theory*". Pengendapan partikel *grafit* terjadi pada dendrit austenit dan tumbuh berdasar transformasi peritektik. Pembentukan *grafit* bulat dalam austenit super jenuh dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2. Pembentukan *grafit* bulat dalam austenit super jenuh.

1.2.3. Teori Leburan (*Melt Theory*)

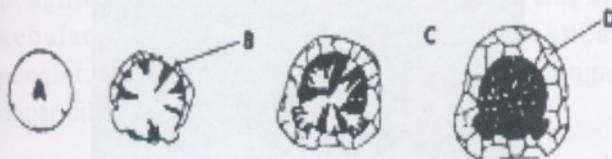
Schenil mengatakan bahwa nukleasi dan pertumbuhan awal *grafit* bulat terjadi saat logam dalam kondisi cair. Pertumbuhan selanjutnya terjadi karena difusi karbon dalam cairan melalui austenit. Dendrit austenit yang terbentuk akan membeku bersama dengan *grafit*, membentuk struktur baru. Dendrit yang terbentuk akhirnya hilang karena terdesak oleh pertumbuhan *grafit* bulat yang lebih cepat.



Gambar 3. Pembentukan *grafit* diantara lengan dendrite

1.2.4. Teori Gelembung Udara (*Bubbles Theory*)

Teori ini berkembang setelah ditemukannya beberapa unsur yang dapat berfungsi sebagai pembulat *grafit*. Fakta memperlihatkan adanya kesamaan efek yang ditimbulkan oleh unsur-unsur pembulat *grafit* yaitu pembentukan gas dalam logam cair. Karsay dalam publikasinya menyatakan bahwa gelembung kecil gas hasil evolusi dari penambahan pembulat *grafit* merupakan tempat ideal untuk pertumbuhan nukleus. *Grafit* akan tumbuh secara radial dari permukaan luar kedalam gelembung udara seperti terlihat pada gambar 4.

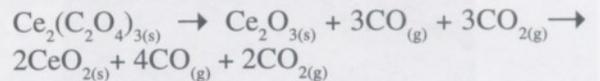


Gambar 4. Pertumbuhan *grafit* bulat dalam gelembung udara

1.2.5. Cerium Oksalat

1. Cerium (III) oksalat dengan rumus kimia $Ce_2(C_2O_4)_3$ merupakan salah satu jenis senyawa logam *cerium* trivalen. Bentuk senyawanya adalah kristal sehingga sering dapat dirumuskan dengan $Ce_2(C_2O_4)_3 \cdot xH_2O$ mempunyai sifat tidak melarut dalam air yang mengandung hidroksida, karbonat, oksalat, fosfat dan *fluorit*, sedikit larut dalam acetat dan sulfat, larut dalam nitrat dan klorida (*bromida*). Senyawa ini mempunyai sifat yang cukup stabil dan dapat berubah menjadi *cerium* oksida (CeO_x) dengan kalsinasi pada temperatur $1000^\circ C$ [Karsay S.I,1980].

Dekomposisi cerium oksalat mengikuti persamaan reaksi : $Ce_2(C_2O_4)_3(s) \rightarrow 2Ce_{(s)} + 6CO_{2(g)}$
 2. Pada temperatur yang lebih tinggi, *cerium* oksalat akan membentuk *cerium* oksida atau *ceria* yang mempunyai tingkat paling stabil di antara senyawa-senyawa *cerium* lainnya [Henning W.A, 1992]. Persamaan reaksinya adalah :



2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Proses Pembuatan Material Uji

Dalam proses pembuatan ini material uji ini perlu dipersiapkan bahan berupa alumina, komposisi keramik, minyak goreng, dan air. Di samping itu, peralatan yang digunakan meliputi, *sievers* (ayakan), *poot mill*, *pevecorn* (cetakan), timbangan, *drying* (pengering), mesin uji kekerasan, penumbuk, dan tungku. Dilanjutkan dengan prosentase variabel penelitian, fabrikasi spesimen (benda uji berbentuk silinder), pembuatan spesimen, dan proses pembakaran pada tungku

2.2. Waktu dan Tempat Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini berlangsung pada tanggal 20 Oktober s/d 08 November 2004. Bertempat di Lab. Unit Pelayanan Teknis-Lembaga Industri Kecil, Departemen Prindustrian dan Perdagangan, Jl. Sunandar Priyo Sudarmo No.22 Malang, sedangkan untuk pengujian specimen bertempat di Lab. CNC dan Pengujian Logam Balai Latihan Kerja Industri Surabaya. Jl Dukuh Menanggal III/29 Surabaya.

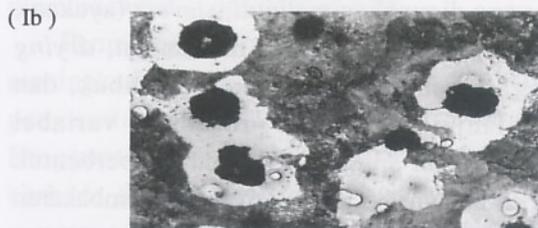
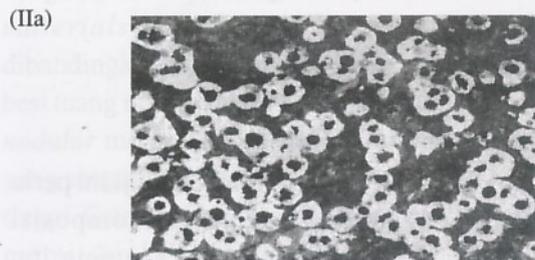
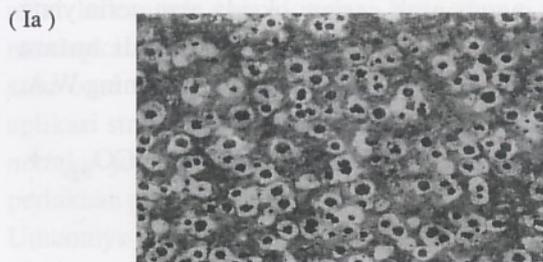
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian Mikrostruktur

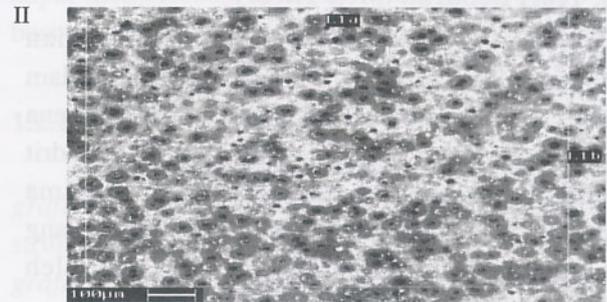
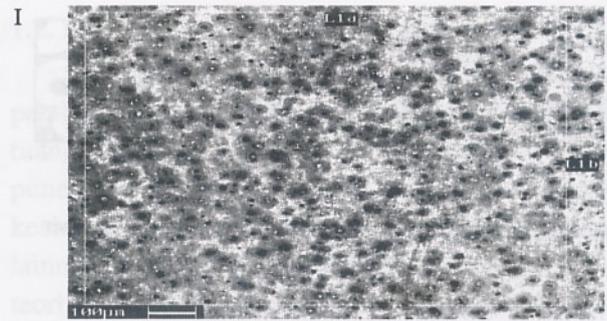
Hasil pengujian Mikrostruktur yang berupa jumlah *grafit* bulat per- mm^2 , persen fasa dan tingkat kebulatan, dapat dilihat pada tabel 1. Selain dilakukan pengambilan gambar juga dilakukan analisa EDX untuk mengetahui komposisi inklusi atau fasa.

Tabel 1. Hasil pengujian jumlah nodul, persen fasa dan tingkat kebulatan grafit

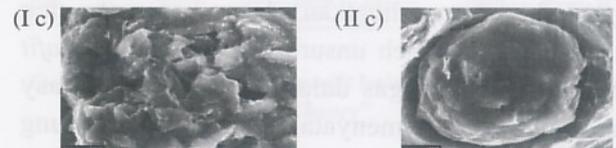
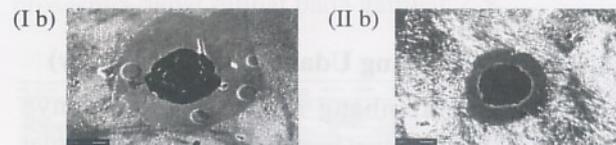
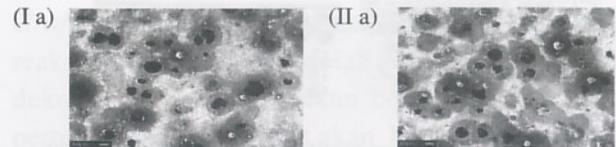
Sample	Jumlah nodul per- mm^2	% ferit	% perlit	% nodularity
I	304	45	55	70
II	290	40	60	64



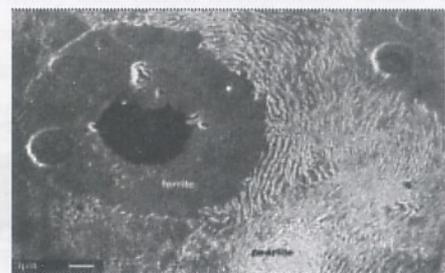
Gambar 1. Mikrostruktur besi tuang *nodular* hasil pengecoran, (a) perbesaran 100X, (b) perbesaran 500x, etsa 2% Nital



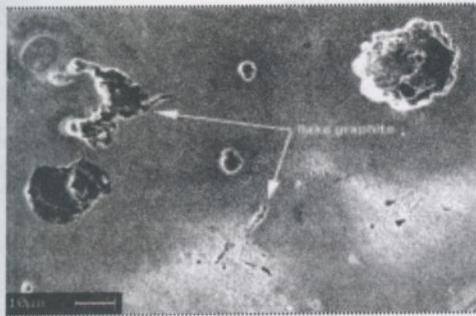
Gambar 2. Mikrostruktur dengan SEM untuk penghitungan jumlah *grafit* bulat per- mm^2 , perbesaran 100x, etsa 2% nital



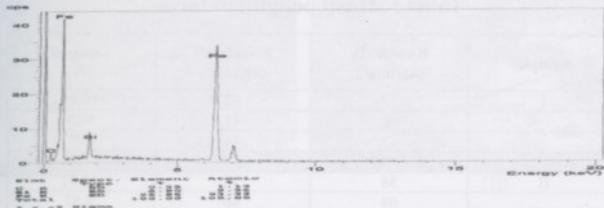
Gambar 3. Mikrostruktur dengan SEM (a) perbesaran 500 kali (b) perbesaran 3000 kali (c) perbesaran 7000 kali, (a) dan (b) dietsa dengan 2% nital (c) permukaan grafit sampel patahan



Gambar 4. Penampakan SEM memperlihatkan fasa ferrit dan perlit disekitar *grafit* bulat, perbesaran 2500 kali, etsa 2% natal

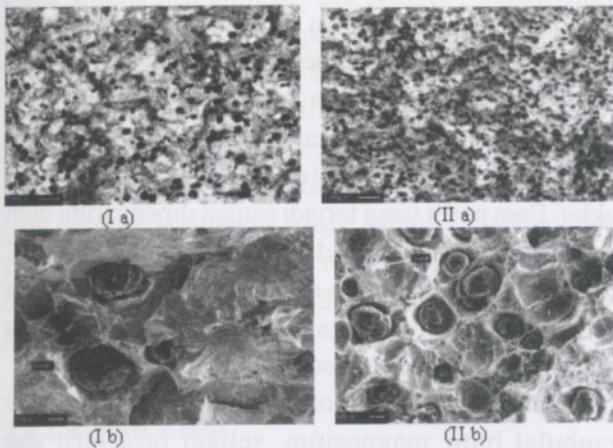


Gambar 5.. Penampakan SEM memperlihatkan *grafit* berbentuk serpihan dalam matriks perlit sampel II, perbesaran 2500 kali, etsa 2% nital



Gambar 6. Analisa EDX pada fasa ferit diseputar *grafit* (a) sampel I (b) sampel II

3.1.2. Patahan

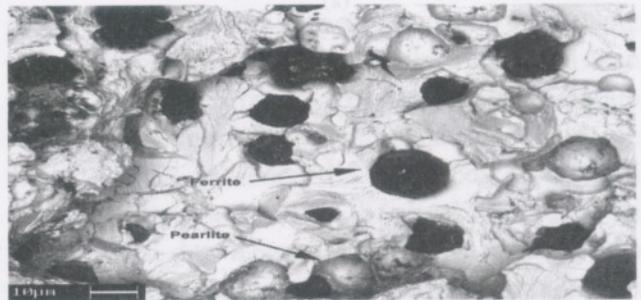


Gambar 7. Penampakan patahan dengan menggunakan SEM (a) perbesaran 100 kali (b) perbesaran 800 kali

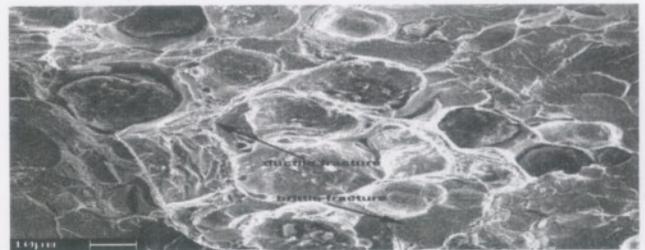
Dari pengamatan patahan, dilakukan penghitungan ulang jumlah nodul dan tingkat kebulatan *grafit*, selain itu juga dilakukan penghitungan persen porositas. Hasil penghitungan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil penghitungan jumlah nodul, tingkat kebulatan *grafit* dan porositas dari sampel patahan

Sample	Jumlah nodul per-mm ²	nodularity (%)	Porositas (%)
I	260	70	1
II	320	80	4

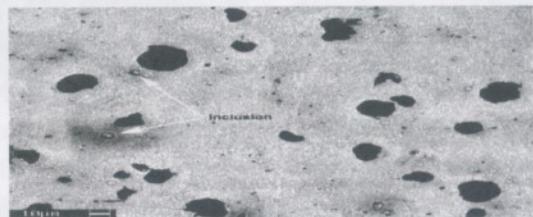


Gambar 8.. Penampakan patahan menggunakan SEM dengan detektor *back scattered* memperlihatkan fasa ferit dan perlit, perbesaran 1000 kali

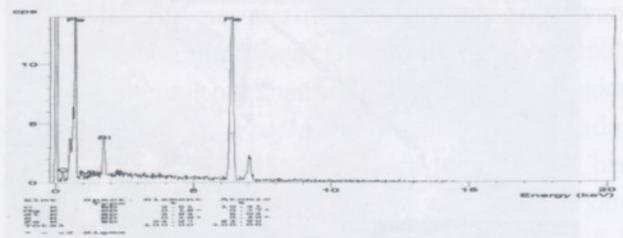


Gambar 9. Penampakan patahan menggunakan SEM memperlihatkan adanya 2 jenis perpatahan yaitu perpatahan getas dan ulet, perbesaran 1000 kali

3.1.3. Inklusi

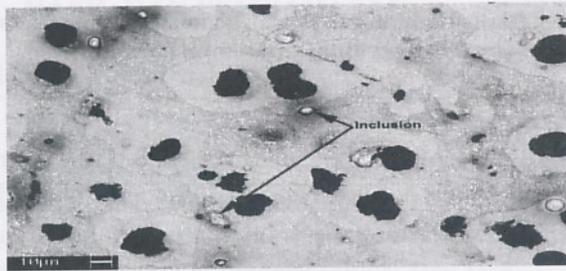


(a)

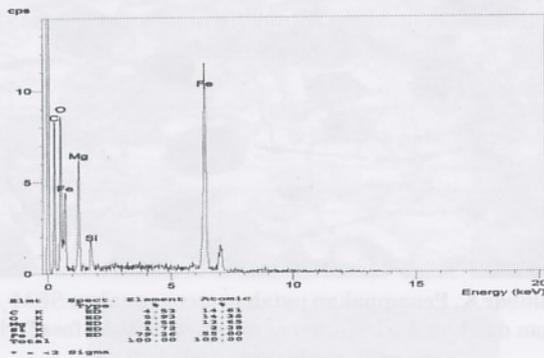


(b)

Gambar 10. Inklusi pada sampel I menunjukkan adanya unsur Si, Mg, S dan C (a) penampakan SEM dengan detektor *back scattered* perbesaran 500X (b) Analisis EDX pada inklusi



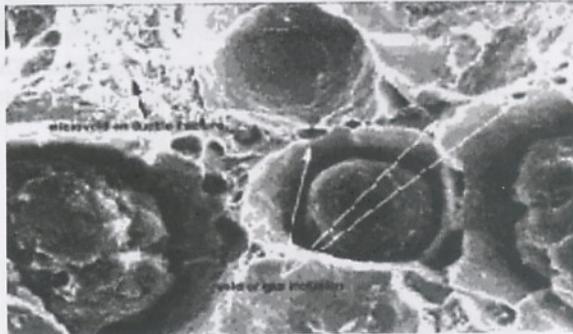
(a)



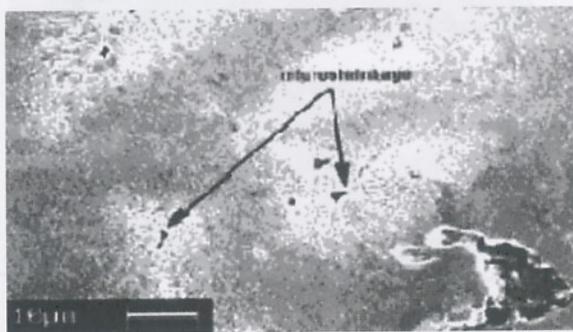
(b)

Gambar 11. Inklusi pada sampel II menunjukkan adanya unsur Si, Mg, O dan C (a) penampakan SEM dengan detektor *back scattered* perbesaran 500X (b) Analisis EDX pada inklusi

3.1.4. Porositas



Gambar 12. Porositas akibat gas dalam sampel II, perbesaran 2500 kali



Gambar 13. Porositas akibat *microshrinkage* dalam matrik perlit dalam sampel II, perbesaran 2500 kali, etsa 2% nital

3.2. Pengujian Mekanis

Tabel 4. Hasil pengujian kekerasan makro dan mikro

Sample	Kekerasan			
	Brinell	Grafit (Hv)	Ferit (Hv)	Perlit (Hv)
I	240	57.2	197.0	321.0
	241	72.4	201.2	316.8
	240	72.4	197.0	308.7
	240	60.5	199.1	312.7
	240	64.2	195.0	308.7
Rata-rata	240	65	198	314
II	228	44.1	189.2	312.7
	227	40.1	187.3	304.7
	228	51.4	191.1	304.7
	228	44.1	193.0	316.8
	227	42.0	193.0	308.7
Rata-rata	228	44	191	310

Tabel 5. Hasil pengujian tarik

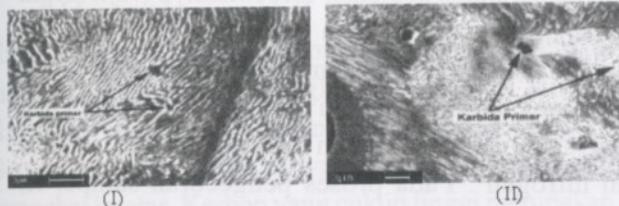
Sample	Kuat tarik (kg/mm ²)	Kuat luluh (kg/mm ²)	Elongasi (%)
I	70	42	10.85
	66	41	9.28
	72	44	10.71
Rata-rata	69.33	42.33	10.28
II	58	38	10.71
	69	46	8.57
	62	41	10.42
Rata-rata	63	41.67	9.9

3.2.1. Fasa

Pengamatan metalografi terhadap sampel I dan II memperlihatkan dengan jelas adanya fasa-fasa dalam besi tuang nodular yaitu grafit, ferit dan perlit. Persentase fasa ferit dan perlit untuk masing-masing sampel dapat dilihat pada tabel 2.1. Grafit terlihat dikelilingi oleh fasa ferit berwarna putih dalam matrik utama perlit yang berbentuk lamel-lamel berwarna coklat. Fasa perlit yang terjadi sangat dipengaruhi oleh adanya unsur tembaga dalam logam cair, kontrol terhadap kadar tembaga diperlukan karena apabila berlebihan maka tembaga akan membentuk karbida yang menurunkan sifat keuletan [Davis J.R, 1996].

Sampel I yaitu besi tuang nodular dengan unsur pembulat butir magnesium, selisih fasa ferit dan perlitnya sebesar 10 persen menyebabkan kekuatan mekanisnya berupa kuat tarik dan elongasinya seimbang. Persentase tersebut sudah sesuai dengan referensi FCD 600-3. Dalam fasa perlit masih terlihat serpihan-serpihan berwarna gelap yang merupakan karbida primer. Lebih jelasnya dapat lihat pada gambar 5.2. Karbida ini menyebabkan keuletan besi tuang nodular akan turun. Terbentuknya karbida primer ini salah satunya diakibatkan oleh masih tingginya kadar krom, molibden, tembaga dan mangan [Davis J.R, 1996]. Unsur-unsur tersebut berasal dari sekrap baja yang digunakan.

Sampel II yang merupakan hasil penambahan unsur cerium oksalat, memperlihatkan selisih fasa perlit yang jauh lebih besar dibandingkan dengan ferit yaitu 20%. Fasa perlit ini terlihat cukup besar distribusi grafit yang kurang merata. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa hal seperti kurang efektifnya inokulan sehingga mengurangi jumlah nukleus yang ada. Tingginya kadar perlit akan meningkatkan kekuatan tarik dan menurunkan keuletan dari sampel. Dalam fasa perlitnya juga masih terlihat adanya karbida primer, seperti tampak pada gambar 5.1.



Gambar 14. Karbida primer dalam matrik perlit, perbesaran 3000 kali, etsa 2% nital

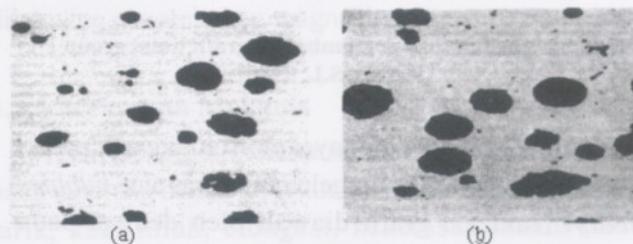
Hasil Analisa EDX seperti tampak pada gambar 24, penembakan pada fasa ferit yang berada lebih kurang 2 mikron diluar grafit menunjukkan bahwa kadar silikon dan karbon pada sampel I masih tinggi dibandingkan dengan sampel II. Hal ini menunjukkan bahwa efektifitas silikon sebagai pembentuk grafit belum maksimal. Pada sampel II kadar karbon dan silikon yang lebih rendah menunjukkan adanya 2 kemungkinan. Pertama adalah silikon bekerja cukup baik sebagai pembentuk grafit, lainnya adalah cerium yang ditambahkan bersifat reaktif dalam pembulatan butir dengan mempengaruhi kecepatan difusi karbon menuju grafit.

3.2.2. Grafit Bulat

karakteristik grafit bulat yang dihasilkan pada sampel I dan sampel II berdasarkan pengujian metalografi dapat dilihat pada tabel 2.1, dimana terlihat bahwa sampel I mempunyai jumlah grafit bulat dan tingkat kebulatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel II. Hal ini berlawanan dengan hasil analisa patahan seperti terlihat pada tabel 2.2.

Pada sampel metalografi, sampel dipotong dengan menggunakan gergaji kemudian diampas dan dipoles. Perlakuan sampel tadi akan menyebabkan deformasi yang cukup besar pada permukaan sehingga besar pula kemungkinan grafit akan terdeformasi. Rusaknya grafit ini dikarenakan kekerasan grafit memang sangat

rendah, jauh dibandingkan dengan ferit atau perlit. Pada sampel metalografi jelas terlihat adanya bekas-bekas grafit yang telah kosong atau adanya fasa ferit yang tidak terisi oleh grafit. Bentuk grafit yang bulat juga lebih sedikit, hal ini terjadi pada saat pemotongan atau pengamplasan, ferit yang ulet akan terdeformasi dan masuk menutupi grafit yang jauh lebih lunak. Gambar 5.2 memperlihatkan pengaruh perlakuan preparasi sampel terhadap grafit dalam besi tuang nodular dimana pemilihan kain poles yang salah akan mengakibatkan hilangnya sebagian grafit dalam sampel. Kekerasan grafit bulat pada sampel II lebih rendah dibanding sampel I, lihat tabel 2.2, kondisi tersebut mengakibatkan grafit mudah sekali terdeformasi dan lepas. Hal ini dapat menjelaskan mengapa sampel II pada pemeriksaan metalografi jumlah grafit bulat dan tingkat kebulatan butirnya lebih rendah dibanding sampel I.



dipoles menggunakan Al_2O_3 0,05 μm pada kain merah (b) spesimen dipoles dengan Al_2O_3 0,05 μm pada kain rayon.

Jumlah grafit bulat per- mm^2 dan tingkat kebulatan pada sampel metalografi dipengaruhi oleh unsur-unsur paduan dalam besi tuang. Penambahan cerium melalui cerium oksalat diharapkan jumlah dan tingkat kebulatan grafit meningkat. Hal ini dapat dibuktikan dalam gambar 25. sampel II terlihat jelas mempunyai grafit yang lebih rapat dan lebih bulat dibandingkan dengan sampel I.

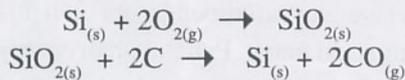
Bentuk grafit bulat seperti tampak pada gambar 21 (b) dan (c) memperlihatkan 2 jenis grafit yang berbeda secara morfologi. Grafit bulat pada sampel I terlihat berbentuk serpihan yang menumpuk sedangkan pada sampel II, grafitnya tampak lebih padat. Morfologi grafit bulat ini secara teori belum bisa dijelaskan lebih detail tetapi banyak peneliti yang mencoba menjelaskan mekanismenya. [Karsay S.I., 1980] memisahkan kedua morfologi di atas dalam 2 group berdasarkan mekanisme pertumbuhan grafit bulatnya.

Group 1 atau sesuai dengan morfologi *grafit* sampel I, pembentukan *grafit* bulat merupakan bagian dalam proses pembekuan (*solidification*). Formasi *grafit* bulat terdiri dari 2 tahap penting yaitu nukleasi dan pertumbuhan (*growth*). Nukleasi dapat terjadi secara homogenius atau nukleasi sendiri dan heterogenius atau dengan bantuan partikel asing. Kebanyakan peneliti menyimpulkan bahwa nukleasi heterogenius lebih dominan dan terjadi saat inokulasi dan pemasukan unsur pembulat butir (*spheroidising treatment*). Mekanisme pertumbuhan *grafitnya* dapat diilustrasikan seperti pada gambar 5.3. Bentuk akhir *grafit* akan menyerupai *grafit* serpih (*flake graphite*) yang menumpuk membentuk bulatan.



Gambar 16. Tahapan pertumbuhan *grafit* bulat group 1 [Karsay S.L., 1980]

Group 2 yang mempunyai morfologi *grafit* padat, dikatakan mengikuti teori gelembung gas atau *bubbles theory*. Nukleasi *grafit* diawali oleh dengan pada permukaan gelembung gas dalam hal ini adalah CO. Gas CO dihasilkan oleh reaksi bertahap dari unsur silikon dengan persamaan reaksi sebagai berikut :



Arah pertumbuhan *grafit* tegak lurus terhadap permukaan gas (*basal plane*) dan seterusnya sehingga gelembung udara akan penuh oleh *grafit*. Ilustrasi pertumbuhan *grafit* bulat group 2 ini dapat dilihat pada gambar 2.8.

Cerium oksalat akan terdekomposisi menghasilkan *cerium* atau *cerium* oksida dan gas karbon monoksida atau CO. Pemberian sejumlah *cerium* oksalat maka jumlah gas dalam logam cair akan bertambah, dengan memperhatikan teori gelembung gas maka jumlah *grafit* bulat juga akan bertambah. Hal tersebut terbukti dengan bertambahnya jumlah *grafit* bulat pada sampel II. Unsur *cerium* yang ditambahkan akan menambah tingkat kebulatan (*nodularity*), hal ini telah dipraktekkan secara industri di negara Cina.

Kadar *cerium* juga harus dikontrol agar tidak terjadi kelebihan yang akan mengakibatkan terbentuknya karbida karena *cerium* merupakan unsur penstabil karbida [....., 1986]. Jumlah maksimum *cerium* yang diijinkan adalah sebesar 0,02 persen. Dalam hal meningkatkan kebulatan butir, penambahan *cerium* dapat dibuktikan pada sampel II seperti terlihat pada tabel 2.

Terbentuknya *grafit* berbentuk serpihan (*flake graphite*) seperti terlihat pada gambar 23 hanya terjadi pada sampel II. Timbulnya *grafit* berbentuk serpihan ini dalam besi tuang *nodular* sangat dihindari karena akan menurunkan keuletan. Terbentuknya *grafit* serpih ini dapat diakibatkan oleh beberapa hal antara lain kurangnya kadar magnesium dalam logam cair, dalam kasus ini kadar magnesium dibawah 0,03 persen dan adanya gas-gas dalam logam cair seperti sulfur, oksigen dan nitrogen . Pada proses pengecoran sampel II, penghitungan *material balance* didapat kadar magnesium sebesar 0,028 persen, ini dapat membuktikan hal tersebut walaupun sebenarnya penambahan *cerium* atau logam tanah jarang lainnya dapat meminimalkan terbentuknya *grafit* serpih dalam matrik. Jumlah *grafit* serpih yang sangat sedikit ini dapat dikatakan disebabkan oleh adanya gas-gas dalam logam cair karena kandungan belerang dalam logam cair sampel II memang lebih tinggi seperti tercantum pada tabel 10.

3.2.3. Patahan

Permukaan patahan kedua sampel dapat dilihat pada gambar 4.8 sampai 4.10. Dari penampakan patahan dapat dilihat dengan jelas bahwa sebenarnya sampel II mempunyai jumlah *grafit* bulat dan tingkat kebulatan yang lebih tinggi dibanding sampel I. Hal tersebut berbeda dengan hasil pengamatan dengan teknik metalografi. Penghitungan jumlah *grafit* dan tingkat kebulatan akhirnya digunakan dari sampel patahan mengingat keterbatasan peralatan preparasi sampel metalografi.

Dari permukaan patahan dapat dilihat jelas bahwa ada 2 jenis perpatahan yaitu perpatahan getas yang terjadi pada fasa perlit dan perpatahan ulet terjadi pada fasa ferit. Dengan menggunakan detektor *back scattered* pada SEM juga tampak bahwa fasa perlit yang getas lebih gelap karena kandungan karbon yang lebih tinggi dibanding fasa ferit disekitar *grafit*.

3.2.4. Inklusi

Adanya inklusi dalam matrik besi tuang nodular dapat dilihat pada gambar 4.11 dan 4.12. Untuk mengetahui komposisi inklusi dilakukan dengan bantuan *Energy Dispersive X-Ray Spectrometer* (EDX) Inklusi pada sampel I berasal dari silikon dan terlihat pula walaupun sangat kecil (dibawah 2 sigma) adanya senyawaan sulfida magnesium (MgS). Penyebab utama terbentuknya kedua jenis inklusi tersebut adalah waktu inokulasi yang kurang sehingga silikon belum bercampur secara penuh dan magnesium sulfida tidak sempat terangkat ke permukaan sebagai terak.

Inklusi pada sampel II terlihat lebih kompleks dimana kadar oksigen, karbon dan magnesium cukup tinggi. Inklusi yang mungkin ada adalah silikon dioksida (SiO_2) dan magnesium oksida (MgO). Senyawa tersebut seharusnya merupakan terak yang terangkat ke atas. Karbon yang cukup tinggi merupakan hasil difusi karbon dari matrik karena potensial senyawa oksida lebih rendah sehingga karbon cenderung akan berkumpul disekitarnya [Davis J.R, 1996].

Terlalu cepatnya penuangan dapat dikatakan sebagai sebab utamanya terperangkapnya inklusi terutama senyawaan oksida dalam matrik. Dalam penggunaan ladle yang berukuran kecil hal ini sulit dihindari karena apabila logam cair terlalu lama dalam ladle, temperatur akan menyusut dengan cepat. Untuk mengatasinya diperlukan ladle yang lebih besar atau dengan menaikkan temperatur logam cair.

3.2.5. Porositas

Tingkat porositas yang dihitung dengan bantuan perangkat lunak dari sampel patahan dapat dilihat pada tabel 2.2. sampel II mempunyai porositas yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan sampel I. Hal ini diakibatkan karena penambahan *cerium* oksalat yang akan terdekomposisi menjadi karbon monoksida (CO) dan air yang selanjutnya akan menjadi H_2 dan O_2 dalam logam cair. Gas-gas dalam pengecoran besi tuang nodular sedapat mungkin dihindari walaupun sebagian diperlukan dalam proses pembersihan butir.

Pada sampel II seperti ditunjukkan oleh gambar 4.14 juga mengalami penyusutan mikro atau *microshrinkage* pada fasa perlit. Cacat ini menyebabkan porositas dalam hasil coran. Penyebab terjadinya penyusutan mikro antara lain kadar fosfor terlalu tinggi, adanya gas dalam logam cair dan

terutama temperatur tuang yang terlalu rendah [Davis J.R, 1996]. Temperatur tuang yang terlalu rendah menyebabkan pembekuan pada daerah luar yang bersentuhan dengan cetakan akan berlangsung dengan cepat dan pada daerah temperaturnya masih tinggi akan terlambat membeku. Kontrol komposisi karbon dan pemilihan temperatur tuang yang tepat dapat meminimalkan cacat ini.

Gas treatment atau *degassing* diperlukan untuk mengeluarkan gas-gas tersebut dari dalam logam cair tetapi harus dilakukan secepat mungkin. Karena akan mengurangi keefektifan magnesium. Dalam ladle kecil *degassing* tidak mungkin dilakukan karena memerlukan waktu yang menyebabkan temperatur logam cair akan turun. Penambahan aluminium dapat dilakukan dalam jumlah terbatas karena aluminium merupakan unsur yang anti pembulatan butir dan penstabil karbida [Davis J.R, 1996]. Hal yang mungkin dapat dilakukan adalah dengan mencampurkan terlebih dahulu *cerium* oksalat dalam *furnace* setelah itu baru dilakukan penambahan magnesium.

3.2.6. Kekuatan Mekanis

Hasil pengujian kekuatan mekanis dapat dilihat pada tabel 2.3 dan 2.4. Kekuatan mekanis berupa kuat tarik, kuat luluh, elongasi, kekerasan makro dan kekerasan mikro sampel I menunjukkan angka yang lebih tinggi dibanding sampel II. Secara teori sampel II yang mempunyai fasa perlit yang lebih tinggi seharusnya nilai kuat tarik dan kuat luluhnya lebih tinggi, tetapi adanya porositas yang tinggi akan menyebabkan menurunnya sifat mekanis tersebut.

Kekerasan makro dan mikro sampel II juga lebih rendah dibanding dengan sampel I di mana seharusnya keuletan atau tingkat elongasi lebih baik tetapi lagi-lagi karena adanya porositas pada sampel II sifat tersebut tidak tercapai. Begitu juga dengan tingkat kebulatan butir menjadi tidak berpengaruh akibat tingkat porositas sampel II yang tinggi.

Jumlah *grafit* bulat hanya sedikit mempengaruhi kekuatan mekanis besi tuang nodular kecuali apabila jumlahnya berlebihan sehingga volume karbonnya sangat tinggi maka besi tuang *nodular* akan menjadi sangat rapuh. Pengaruh jumlah *grafit* yang paling besar adalah untuk mengurangi terjadinya *chill* atau penyusutan setempat.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

1. Penambahan *cerium* oksalat sebesar 0,025 % akan meningkatkan jumlah *grafit* bulat sebesar 18,75% dengan tingkat kebulatan butir sebesar 12,5% dan meningkatkan orositas sebesar 300% tetapi dapat menurunkan kekuatan tarik sebesar 9,15%, kekuatan luluh sebesar 1,56%, Elongasi sebesar 3,70% dan Kekerasan brinell sebesar 5,00%
2. Penurunan kekuatan mekanis pada sampel yang ditambahkan *cerium* oksalat lebih dikarenakan adanya porositas yang ditimbulkan dari proses dekomposisi *cerium* oksalat.
3. Cacat yang timbul akibat penambahan *cerium* oksalat adalah terbentuknya *grafit* serpih, inklusi oksida dan penyusutan mikro.
4. Penggunaan ladell berukuran kecil secara umum merugikan dalam proses pengecoran besi tuang nodular karena penyusutan temperatur yang tinggi sehingga menimbulkan cacat-cacat mikrostruktur seperti inklusi dan porositas

4.2. Saran

1. Penggunaan ladell dengan kapasitas yang besar diharapkan mampu meminimalkan cacat-cacat coran yang terjadi.
2. Penambahan *cerium* oksalat dapat dalam skala industri perlu dilakukan penelitian lanjutan terutama untuk mengurangi jumlah porositas yang terjadi.
3. Untuk dapat melihat efek penambahan *cerium* oksalat lebih lanjut, perlu dilakukan penelitian sehingga dapat disusun grafik pengaruh penambahan *cerium* oksalat..
4. Preparasi sampel metalografi harus dilakukan dengan hati-hati dan teknik khusus untuk menghindari deformasi yang berlebihan dari *grafit*.

DAFTAR PUSTAKA

- Davis J.R., 1996. Cast Irons. ASM International.
-, 1988. Metallography, Structures, and Phase Diagrams. Vol 8.
- Metals Handbook., 1987. Annual Book of ASTM Standards. ASM International. ASTM A274.
-, 1978. Basic Metallurgy of Cast Iron, Properties and Selection : Iron and Steel. Vol 1, Metals Handbook, 9th ed., ASM international.
- Walton C.F. and T. J Opar, Ed., 1981. Iron Castings Handbook. Iron Casting Society.
- Jenkins L.R. and R.D. Forrest, Ductile Iron., 1990. Properties And Selections: Iron, Steels, and High-Performance Alloys. Vol 1. ASM Handbook. ASM International.
- Venugopalan V. and A. Alagarsamy., 1990. Effects of Alloy Additions on the Microstructure and Mechanical Properties of Commercial Ductile Iron. Trans. AFS. Vol 98.
-, 1985. The Ductile Iron Process. Compendium VII. Miller and Company.
- Sorelmetal., 1990. Ductile Iron Data. Rio Tinto Iron & Titanium Inc.
- Gundlach R.B., C.R. Loper, Jr., and B. Morgen Steren., 1992. Composition of Ductile Irons, Ductile Iron Handbook. American Foundrymen's Society.
- Velde C.V.D ., 1999. A New Approach to the Solidification of Cast Iron. Bergen op Zoom, The Netherlands. from <http://members.tripod.lycos.nl/cvdd>
- Dunphy R.P., 1980. W.S.Pellini, Nodule genesis and growth in magnesium-treated hypoeutectic irons. Foundry 80, American Foundrymen's Society.
- Desy A.L., 1953. Graphite Spherulite Formation and Growth. Foundry, American Foundrymen's Society.
- Scheil E. and L. Hutter., 1953. Untersuchungen über die Kristallisation des Gusseisens mit Kugelgraphit. Archiv für das Eisenhüttenwesen.
- Karsay S.I., 1980. Ductile Iron. The state of the art. Uitgave QIT.
- Henning W.A., 1992. Magnesium Treatment Methods, Ductile Iron Handbook, American Foundrymen's Society.
- Gschneidner K.A. and L.Eyring., 1990. Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths, Vols. 1 to 15 etc., publ. North-Holland.
- Adamopoulos Othon., 2001. The characterisation and reactivity of nanostructured cerium-copper-oxide composites for environmental catalysis, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 676, Materials Research Society.

Janowak ., 1990. The Grid Method of Cast Iron Selection. Casting Design and Application. Winter.

Fredriksson H., M.Hillert. Uitgave., 1994. The Physical Metallurgy of Cast Iron. Proceedings of the Third International Symposium on the Physical Metallurgy of Cast Iron, Stockholm, Sweden, August 29-31, 1984. Editors: North-Holland, New York-Amsterdam. Oxford.

Millis K.D., 1972. Spheroidal graphite cast iron-its development and future. The British Foundryman.

Ruff G.F., J.F.Wallace., 1976. Control of Graphite Structure and its Effect on Mechanical Properties of Gray Iron. AFS Transactions.

Underwood E.E., J.T.Berry., 1981. Quantitative Measurements of Cast Iron Microstructures. AFS Transactions.

Tujuan dan penelitian ini adalah 1) mengidentifikasi kelompok mikroba, meliputi bakteri dan jamur dalam zat pengurai limbah, yakni Starbio Plus, EM-4 (Effective Microorganism-4), EMMA (Effective Microorganism Malang, Bio Fund, dan Decortic; 2) mengidentifikasi mikroba indikator pencemar air pada air limbah domestik di daerah padat huni Kota Malang; 3) mengetahui jumlah masing-masing mikroba dalam zat pengurai limbah; 4) mengetahui jumlah mikroba dalam air limbah domestik di daerah padat huni Kota Malang; 5) mencari komposisi ideal kandungan mikroba yang meliputi bakteri dan jamur dalam zat pengurai limbah dan pada limbah yang aman, akrab, dan ramah bagi lingkungan. Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif tipeku eksperimen laboratorium. Populasi penelitian adalah mikroba pada air limbah rumah tangga dan zat pengurai limbah. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini diambil secara purposive sampling adalah volume air limbah selokan sebanyak 3000 ml dan 5 merk zat pengurai limbah. Penelitian dilaksanakan dengan prosedur di Laboratorium Mikrobiologi Universitas Muhammadiyah Malang. Hasil penelitian menunjukkan: (1) Kelompok mikroba yang telah berhasil diidentifikasi dan berkoloni dalam zat pengurai limbah, yakni Starbio Plus, EM-4, EMMA, Bio Fund, dan Decortic adalah jamur dan bakteri. Bakteri yang telah diidentifikasi adalah bakteri Koliform total, bakteri Koliform tinja, dan bakteri Salmonella dan typhella, kecuali pada merk zat pengurai limbah EM-4. (2) Mikroba indikator pencemar air yang telah diidentifikasi pada air limbah domestik di daerah padat huni Kota Malang adalah bakteri Koliform total dan bakteri Koliform tinja. (3) Jumlah masing-masing mikroba dalam zat pengurai limbah berbeda-beda. Jumlah jamur yang paling besar adalah merk Decortic, yakni rata-rata per 100 ml adalah 4.500, sedangkan paling kecil jumlahnya adalah EM-4, yakni jumlah rata-ratanya 170. Jumlah bakteri dari kelima merk juga berbeda-beda, untuk bakteri Koliform total yang memiliki jumlah tertinggi adalah Bio Fund yang mencapai 600.000/ml per 100 ml dan yang jumlah bakteri Koliform tinjanya paling sedikit adalah EMMA. Jumlah bakteri Koliform tinja jumlah terbesar adalah pada Bio Fund, sedangkan jumlah terkecilnya EMMA. (4) Jumlah mikroba dalam air limbah domestik meliputi: bakteri koliform total yakni mencapai 11.000.000 per 100 ml air limbah, dan jumlah bakteri Koliform tinja mencapai angka 1.400.000 per 100 ml air limbah. Jumlah fungi pada sampel banyak yakni mencapai 382. (5) Komposisi ideal kandungan mikroba dari kotina produk merk zat pengurai limbah adalah dari EM-4 belum dapat diformulasikan dengan pasti sebelum diujikan pertarungan antara mikroba dalam zat pengurai limbah dengan mikroba yang berada dalam air limbah domestik.

PENDAHULUAN

Sejalan dengan meningkatnya jumlah penduduk yang mendorong bertambahnya kotoran (pencemar) yang dapat menimbulkan terjadinya pencemaran terhadap sumber-sumber air bersih. Padatnya rumah penduduk di daerah padat huni dan mahalnya harga tanah, menyebabkan limbah kakus dan air sumbu semakin bercampur. Pencemar pada badan air dapat berupa pencemar domestik dan pencemar non-domestik. Pencemar domestik berasal dari sampah rumah tangga, pasar, perkampungan, jalan, dan lain

sebagainya. Sedangkan pencemar non-domestik berasal dari kegiatan pabrik, industri dan pertanian. Oleh karena itu, berbagai jenis buangan yang datang dari sumber pencemar tersebut harus dikontrol dan diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan (Suriawiria, 1986).

Semakin meningkatnya pencemaran dapat menurunkan derajat kesehatan masyarakat. Dalam rangka meningkatkan derajat kesehatan masyarakat tersebut salah satunya adalah dengan bagaimana mengolah limbah yang akan dibuang ke lingkungan. Salah satu cara pengolahan limbah adalah dengan

Lud Waluyo, Staf Pengajar Jurusan Pendidikan Biologi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Muhammadiyah Malang.