

Studi Perbandingan Ketahanan Korosi dan Struktur Mikro Baja COR CF8M (SS 316) Yang Dibuat Dengan Feronikel Lokal dan Nikel Impor

Bambang Suharno dan Andri Kurniawan
Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik UI Depok
E-Mail: suharno@metal.ui.ac.id

Abstrak

Nikel adalah unsur yang sangat penting pada pembuatan coran baja tahan karat. Diantara harga bahan baku lainnya nikel adalah yang paling tinggi, dan saat ini masih diimpor. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan pengaruh penggunaan ferronickelchrom (Fe-Ni-Cr) lokal terhadap ketahanan korosi dan struktur mikro CF8M (SS 316), dibandingkan dengan nikel impor. Diharapkan bahan baku lokal ini dapat mensubstitusi nikel impor sebagai bahan baku coran baja tahan karat.

Variabel penelitian yang digunakan adalah penambahan persentase Fe-Ni lokal pada bahan baku coran sebanyak 0%, 23 %, 45 %, dan 79 %. Dari masing-masing persentase tersebut dilakukan proses pengecoran (foundry) dan dilakukan pembuatan sampel untuk uji komposisi, uji ketahanan korosi (metode Polarisasi), dan analisa struktur mikro, baik dengan menggunakan mikroskop optic dan SEM (Scanning Electron Microscope). Untuk dibandingkan dengan baja cor CF8M (SS 316) yang dibuat dengan nikel impor.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa komposisi kimia sampel sesuai dalam rentang standard CF8M (Stainless Steel Tipe 316). Sampel hasil coran yang memiliki persentase 45% Fe-Ni-Cr lokal dan 23% Fe-Ni-Cr lokal mendekati sifat ketahanan korosi bahan baku impor 0% Fe-Ni-Cr lokal (100% impor), 0,01-0,1mpy (1/1000 inch). Persentase 79% Fe-Ni-Cr lokal memberikan efek penurunan ketahanan korosi 0,84mpy. Hal ini disebabkan karena terdapatnya banyak impurities (kotoran), berupa inklusi MnS serta tidak samanya komposisi paduan peningkat ketahanan korosi yaitu Molibdenum.

Kata Kunci: *Stainless Steel CF8M (SS 316), Ketahanan Korosi, Ferro Nikel Lokal*

Abstract

Nickel is the most important element in cast stainless steel making. Among the other raw material, nickel price is highest, and it's still imported. The purpose of this research are to compare effect of using ferronickelchrom (Fe-Ni-Cr) local to corrosion resistance and microstructure CF8M (SS 316), compared with using of imported pure nickel. Hopefully local raw material be able to substitute imported pure nickel as raw material of the cast stainless steel.

Variable of this research are increasing Fe-Ni local percentage in cast raw material amount 0 %, 23%, 45 %, and 79%. Each percentage processed in foundry process and sample made for chemical composition test, corrosion resistance test (polarization test) and microstructure analysis using optical microscope and Scanning Electron Microscope (SEM), in order to compared with cast stainless steel CF8M (SS 316).

The result show that, all percentage chemical composition appropriate with references standard CF8M (Stainless Steel Type 316). At 45 % and 23% of Fe-Ni-Cr , corrosion resistance and microstructure are similar to 0 % (100 % pure nickel imported), 0,01-0,1mpy (1/1000 inch). While for percentage of 79 % have decreasing to 0,84mpy. This is caused by impurities, inclusion of MnS and the different of composition increasing corrosion resistance element molybdenum.

Key Words: *Stainless Steel CF8M (SS 316), Corrosion Resistance, Ferro Nikel Lokal*

1. Pendahuluan

Stainless steel merupakan salah satu jenis baja yang banyak digunakan dalam industri khususnya untuk industri yang membutuhkan bahan yang memiliki ketahanan terhadap korosi tinggi serta sifat mekanis yang baik. Industri manufaktur material cor tahan karat di Indonesia selama ini menggunakan bahan baku seperti, nikel murni, *ferrochrom* (Fe-Cr), *ferromangan* (Fe-Mn), *ferrosilikon* (Fe-Si), *ferromolybden* (Fe-Mo), dan scrap *low carbon steel*. Semua bahan baku tersebut diimpor dari luar negeri, kecuali scrap *low carbon steel*.

Masalah yang dihadapi adalah harga nikel murni yang cukup mahal yaitu sekitar \$ 17.770/kg [1] Sehingga nikel mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap harga produk baja tahan karat seperti terlihat pada tabel 1.

Tabel 1.
Harga logam [1]

USD/KG	Cash			3 Month		
	AM	PM	+/-	AM	PM	+/-
Aluminium	1.604	1.590	-.014	1.618	1.606	-.012
Al Alloy	1.470	1.460	-.010	1.500	1.490	-.010
NASAAC	1.560	1.530	-.030	1.590	1.580	-.010
Copper	2.403	2.332	-.071	2.389	2.321	-.068
Lead	.761	.737	-.024	.754	.731	-.023
Nickel	17.770	15.230	-2.540	17.660	15.200	-2.460
Tin	6.640	6.280	-.360	6.620	6.250	-.370
Zinc	1.040	1.002	-.038	1.055	1.019	-.036

Padahal sebenarnya di Pomala, Sulawesi Tenggara terdapat bahan galian berupa *ferronickel* yang bisa dijadikan bahan baku untuk pembuatan coran tahan karat [2] *Ferronickel* ini saat ini lebih banyak diekspor keluar negeri untuk selanjutnya dilakukan ekstraksi terhadap nikelnya. Disamping itu minim sekali pemanfaatan *ferronickel* untuk kebutuhan industri pengecoran dalam negeri.

Sebelumnya telah melakukan penelitian untuk lebih memanfaatkan *ferronickel* dengan menambahkan atau dipadu dengan *chrom*. Sehingga pada proses pembuatan material cor tahan karat hanya perlu ditambahkan sedikit unsur krom (Cr). *Ferronickel* yang telah dipadu dengan krom disebut *ferronickelchrom* (Fe-Ni-Cr)

lokal. Dimana inilah yang akan digunakan sebagai bahan baku pembuatan material cor tahan karat (*cast stainless steel*) pada penelitian ini.

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan dan mengkaji perbedaan ketahanan korosi dan mikrostruktur antara material CF8M (SS 316) yang dibuat dengan bahan baku ferronikel lokal dengan bahan baku nikel impor murni.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Baja Tahan Karat (*Stainless Steel*)

Baja tahan karat dapat diartikan sebagai material yang sebagian besar mengandung besi dan sedikitnya mengandung 11% kromium. [3] Penambahan kromium ini bertujuan untuk membentuk lapisan krom oksida yang berfungsi sebagai lapisan pasif unsur paduan lain yang sering ditambahkan adalah nikel, molibdenum, mangan, tembaga, titanium, aluminium, silikon, sulfur, niobium, nitrogen dan selenium.

Untuk jenis dan tipe baja tahan karat sesuai dengan penambahan dan pengurangan paduan.

Baja tahan karat terbagi menjadi beberapa pagrup berdasarkan mikrostrukturnya yaitu:

1. Baja tahan karat feritik.
2. Baja tahan karat austenitik
3. Baja tahan karat martensitik
4. Baja tahan karat dupleks
5. Baja tahan karat dengan pengerasan presipitasi

Menurut proses manufakturnya baja tahan karat terbagi atas: [4]

1. *Wrought stainless steel*
2. *Cast stainless steel*
 - *Corrosion resistance stainless steel*
 - *Heat resistance stainless steel*

2.2 Coran Baja Tahan Karat (*Cast Stainless Steel*)

Merupakan *stainless steel* yang dibuat dengan proses pengecoran (*foundry*), lebih umum dikenal sebagai coran tahan karat

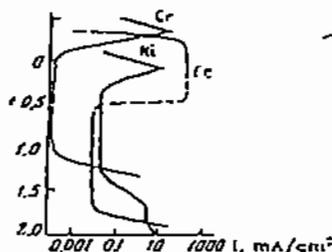
yang telah berkembang pesat dalam teknologi dan keperluan komersial selama 40 tahun terakhir. Aplikasi utama baja ini adalah sebagai material konstruksi untuk proses kimia dan peralatan pembangkit tenaga yang termasuk operasi korosi dalam lingkungan cairan atau larutan-uap pada temperatur biasanya dibawah 315 °C (600 °F). Paduan ini juga dapat digunakan dalam operasi khusus pada temperatur sampai 650 °C (1200 °F) [3]

Kemampuan operasi coran baja tahan karat sangat bergantung pada ketidakhadiran karbon, dan khususnya endapan karbida, dalam struktur mikro paduan. Namun, coran paduan tahan karat umumnya mempunyai kadar karbon rendah ($< 0,08\% \text{ C}$). Salah satu keuntungan dari coran baja tahan karat dibanding dengan baja tahan karat tempa (*wrought stainless steel*) adalah dapat membuat produk dengan kadar karbon yang tinggi, untuk mendapatkan ketahanan aus yang tinggi. Sedangkan *wrought stainless steel* tidak bisa, karena produknya adalah benda setengah jadi yang harus menjalani proses metalurgi seperti: pengelasan, *cold forming*, *machining* dan lain sebagainya.

2.3 Pengaruh unsur Paduan

2.3.1 Nikel

Nikel dalam jumlah yang terbatas akan menstabilkan struktur austenit yang akan meningkatkan sifat mekanik dan karakteristik fabrikasi.



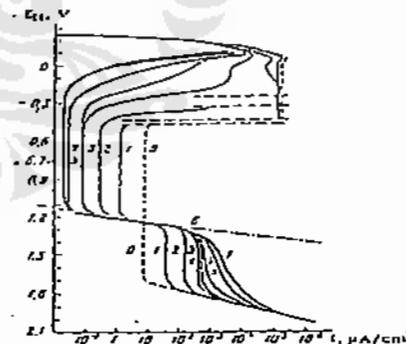
Gambar 1

Perbandingan besarnya pengaruh Cr, Ni dan Fe terhadap polarisasi anodik [5]

Nikel sangat efektif dalam memperbesar daerah pasif terutama dalam lingkungan reduktif. Selain itu dapat berfungsi dalam meningkatkan ketahanan korosi pada lingkungan asam mineral. Paduan ini dapat penstabil struktur austenit dalam baja tahan karat austenit dan menurunkan ketahanan terhadap SCC bila kandungan 8-10%, tetapi pada kadar lebih tinggi dapat meningkatkan ketahanan terhadap SCC.

2.3.2 Kromium

Kromium adalah salah satu paduan yang harus ada dalam pembentuk lapisan pasif. Lapisan pasif dapat terbentuk dengan adanya kadar kromium 10,5%. Sedangkan baja tahan karat austenitik mengandung 17-20 %Cr sehingga lapisan pasif yang terbentuk lebih tebal sehingga lebih tahan korosi pada lingkungan korosif. Kromium akan membentuk lapisan pasif yang tebalnya tergantung pada jumlah kromium yang ditambahkan [6]. Gambar 2. memperlihatkan efek bertambahnya kandungan Cr pada paduan Fe-Cr terhadap kurva polarisasi yang terbentuk pada larutan 10% H_2SO_4 .



Gambar 2.

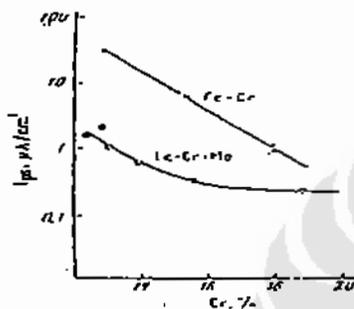
Kurva polarisasi anodik untuk paduan Fe-Cr pada larutan 10% H_2SO_4 (0) 100%Fe; 2,8%Cr; (2) 6,7%Cr; (3) 9,5%Cr; (4) 12%Cr; (5) 14%Cr; (6) 16%Cr; (7) 18%Cr; (8) 100%Cr [5]

Terlihat dengan bertambahnya prosentase kandungan Cr, potensial pada saat mulai terbentuk lapisan pasif (E_r) dan potensial pada saat lapisan sudah terbentuk E semakin berkurang (lebih kecil harga potensialnya) dan kerapatan arus batas

kerapatan arus pasivasi (i juga semakin kecil).

2.3.3 Molibdenum

Molibdenum sangat berperan aktif dalam ketahanan korosif terutama korosi sumuran (*pitting*) dan korosi celah (*crevice*) [7] Adanya molibdenum dapat menggeser daerah aktifpasif baja pada daerah rapat arus yang lebih kecil. Gambar 3 dibawah ini memperlihatkan pentingnya kandungan molibdenum yang ada pada baja tahan karat terhadap kerapatan arus pasivasi yang terbentuk.



Gambar 3.
fek bertambahnya kandungan Mo terhadap kerapatan arus pasivasi⁽⁵⁾

2.3.4 Mangan

Mangan memiliki fungsi yang hampir sama dengan nikel. Kelebihan mangan secara mekanik adalah membentuk baja tahan karat yang tahan abrasi. Namun kelemahan mangan adalah sangat mudah berinteraksi dengan lingkungan yang mengandung sulfur dan membentuk senyawa Mangan Sulfida [8,9]

2.4. Pengaruh pengotor (*impurities*) terhadap ketahanan korosi

Pengotor yang berpengaruh terhadap ketahanan korosi pada baja tahan karat adalah inklusi. Inklusi non logam pada stainless steel berupa Mangan Sulfida MnS atau lebih dikenal dengan inklusi sulfida [7,10]. Di dalam baja tahan-karat, pemasukan sulfid jarang dalam keadaan murni MnS tetapi pada umumnya larutan padat MnS. Inklusi sulfida adalah konduktor elektronik

yang dapat terpolarisasi pada potensial permukaan pasif baja.

Konduktifitasnya bervariasi tergantung kadar Mn dalam *solid solution*. Sulfida pada potensial pasif baja cenderung memecahkan lapisan pasif tersebut. Pada saat potensial permukaan pasif baja sudah sangat tinggi dan total permukaan logam lebih besar dari area sulfida maka partikel sulfida yang menempel akan cenderung memecahkannya. Sulfida terbentuk secara langsung pada saat peleburan hingga selama proses pembekuan karena pada saat itu tidak ada lapisan film oksida yang dapat memproteksi masuknya sulfida sehingga sulfida dapat memecahkan lapisan film dari dalam lapisan film. Pada awalnya permukaan logam terpasivasi tetapi terbentuk larutan asam oleh sulfida, pada saat logam berada di daerah yang kaya akan ion Cl⁻ sulfid menjadi konduktor, lapisan pasif di permukaan akan dengan cepat pecah maka dengan cepat terjadi pitting.

2.5 Baja Tahan Karat Austenitik

Baja tahan karat austenitik adalah baja tahan karat yang pada temperatur kamar berfasa austenit. Baja jenis ini mengandung 6-25 % Cr ditambah Ni, Mn, atau N. Unsur-unsur tersebut merupakan unsur terpenting yang dapat membuat baja tahan karat ini berfasa austenit pada temperatur kamar. Material ini memiliki struktur kristal FCC (*face centered cubic*). Struktur ini diperoleh dengan adanya penambahan unsur paduan yang mampu menstabilkan fasa austenit pada beberapa kondisi temperatur kriogenik. Oleh karena memiliki fasa tunggal maka baja tahan karat austenitik hanya dapat ditingkatkan kekuatannya melalui *solid solution alloying* atau dengan *work hardening*.

Karena struktur FCC yang dimiliki oleh austenit, maka baja tahan karat jenis ini bersifat *non-magnetic* dan mempunyai ketangguhan yang cukup tinggi pada temperatur rendah.

Kekurangan baja jenis ini adalah harganya yang relatif mahal dan

kecenderungan untuk mengalami korosi retak tegang [3].

2.6 Coran Baja Tahan Karat Type CF8M

Baja tahan karat CF8M merupakan jenis baja tahan karat hasil pengecoran (*casting*) yang mempunyai komposisi 20-23% Cr dan 14-18 Ni dengan penambahan paduan molibdenum (Mo). Mikrostruktur CF8M adalah austenit dan sedikit ferrit.

Baja tahan karat austenitik tidak dapat diperkeras dengan heat treatment, melainkan dengan cold working. Baja tahan karat austenitik sangat tahan terhadap korosi pada lingkungan atmosfer, bahkan bila ada unsur Nb dan Ti akan membuat karbida stabil terhadap sensitasi.

Unsur N ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan pada temperatur kamar, khususnya pada *cryogenic temperature* dan mengurangi pengendapan krom karbida. Unsur Cu dan Ni dapat ditambahkan untuk meningkatkan ketahanan korosi.

2.6.2 Sifat Mekanis CF8M (SS 316)

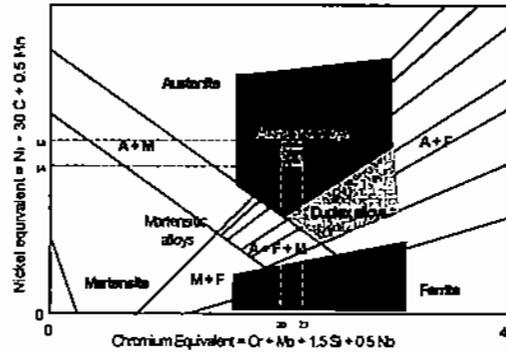
Sifat mekanis dari CF8M ditunjukkan oleh tabel 2.

Tabel 2. Sifat mekanis dari CF8M (SS 316) [3]

	Yield strength 0.2% offset (psi)	Ultimate strength (Psi)	Elongation (%)	Hardness (HB)
CF8M	Min 30.000	Min 70.000	Min 30	
	42.000	84.000	50	170

2.6.3 Struktur Mikro CF8M

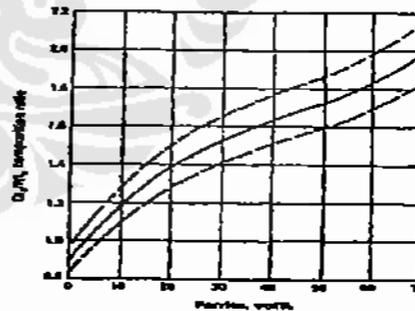
Untuk mendapatkan gambaran secara jelas mengenai pengaruh komposisi terhadap struktur mikro, digunakan konsep nikel ekuivalen dan krom ekuivalen. Dengan memplot kadar nikel ekuivalen dan krom ekuivalen pada diagram Schaeffler, Gambar 4 maka akan didapat hubungan antara komposisi dengan struktur mikro dan baja tahan karat jenis tersebut.



Gambar 4 Diagram Schaeffler [1]

Diagram Schaeffler di atas, dapat memperkirakan jenis fasa apa yang terdapat pada baja tahan karat dengan komposisi tertentu, sehingga dapat ditentukan jenis baja tahan karat tersebut.

Hubungan antara komposisi dan mikrostruktur dalam coran stainless steel memungkinkan untuk memprediksi dan mengontrol kandungan ferrit suatu paduan, termasuk sifat-sifat yang dihasilkannya, dengan mengatur komposisi paduan. Hal ini terselesaikan dengan diagram Schoefer untuk coran paduan Cr- Ni



Gambar 5.

Diagram Schoefer untuk memperkirakan kandungan ferrit coran baja dalam rentang komposisi 16-26 % Cr, 6-14 % Ni, 4 % Mo (max), 1 % Nb (max), 0,2 % C (max), 0,19 % N (max), 2 % Mn (max), dan 2 % Si (max) [3]

Perbandingan komposisi diperoleh dan Cr ekuivalen (Cr_e) dan Nikel ekuivalen (Ni_e), dihitung untuk komposisi paduan berdasar persamaan berikut [3]

$$Cr_{eq} = \% Cr + 1,5 (\% Si) + 1,4 (\% Mo) + \% Nb - 4,99 \tag{1}$$

$$Ni_{eq} = \% Ni + 30 (\% C) + 0,5 (\% Mn) + 26 (\% N - 0,02) + 2,77 \quad (2)$$

dimana konsentrasi unsur diberikan dalam persen berat. Walaupun persamaan sejenis telah diturunkan untuk menghitung unsur paduan tambahan dan beda rentang komposisi dalam sistem paduan Fe-Cr-Ni, penggunaan diagram *Schoefer* telah menjadi standar untuk memperkirakan dan mengontrol kandungan ferit dalam coran baja tahan karat.

2.6.4 Pengaruh Ferit

Ferit hadir dalam coran CF *stainless steel* untuk tiga alasan utama untuk memberikan kekuatan, untuk memperbaiki sifat mampu-las, dan untuk memaksimalkan ketahanan terhadap korosi pada lingkungan spesifik [11]. Pada sifat mampu las, adanya ferit pada coran tahan karat austenit akan menghindarkan dari retak pembekuan (*solidification cracking*).

Dalam kasus SCC (*Stress Corrosion Cracking*) kehadiran ferit pada fasa austenit berguna untuk menghambat penyebaran retak. Dalam korosi intergranular, ferit sangat membantu dalam mempengaruhi coran karena berkenaan dengan meningkatkan pengendapan karbida dalam fasa ferit dibanding dengan pada batas butir austenit, dimana hal itu akan meningkatkan sensitivitas terhadap serangan intergranular.

3. Metode Penelitian

3.1 Pembuatan Coran Tahan karat CF8M

3.1.1. Keseimbangan Material (*Material Balance*)

Metode yang digunakan dalam pembuatan *stainless steel* ini adalah dengan menggunakan metode pengecoran, maka perlu dihitung *material balance* dari material input yang akan dimasukkan. Sehingga akan didapatkan komposisi *stainless steel* yang diharapkan. Dalam hal ini coran tahan karat yang akan dibuat adalah CF8M (SS 316).

Tahapan dalam membuat keseimbangan material:

1. Menentukan berat coran yang ingin dibuat.
2. Menguji Komposisi bahan baku
Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui komposisi dari *ferronickel* lokal yang merupakan bahan baku dalam pembuatan coran tahan karat.
Komposisi ini penting untuk diketahui karena proses pembuatan coran tahan karat yang dilakukan adalah metode pengecoran, sehingga material input harus diketahui komposisinya. Tabel 3.
3. Kemudian jumlah material input dihitung supaya komposisi akhirnya mendekati komposisi CF8M (SS 316).
4. Bila masih terdapat kekurangan kadar suatu unsur maka dapat ditambahkan logam paduan, dan apabila terdapat kelebihan kadar unsur biasanya ditambahkan scrap baja dengan kadar karbon rendah, untuk menurunkannya.

Dalam penelitian ini digunakan variabel persentase Fe-Ni-Cr lokal sebagai bahan baku coran tahan karat yaitu, 23%, 45 %, dan 79 % Fe-Ni-Cr lokal serta 100% Nikel impor. Nilai persentase Fe-Ni-Cr lokal ini didapatkan dari kesetimbangan material (*material balance*)

3.1.2 Peleburan (*melting*)

Sebelum dilakukan peleburan dilakukan penimbangan bahan-bahan, yang besarnya sesuai dengan perhitungan pada kesetimbangan material.

Bahan Baku Peleburan

Bahan baku pada proses peleburan CF8M (SS 316) adalah :

1. *Ferronickelchrom* (Fe-Ni-Cr) lokal.
Adalah *ferronickel* yang telah dipadu dengan *chrom* (Cr), Tabel 3.1.
2. Scrap : (Fe)
3. Additif : untuk menambah kekurangan unsur agar komposisinya sesuai dengan standar CF8M. (SS 316). Bahan aditif tersebut diantaranya :

Tabel 3.
Komposisi Kimia *Ferronickel* Lokal (Fe-Ni-Cr)

C	Ni	Co	Mn	Cr	Si	P	S	Cu	Fe
0.029	16.17	0.14	0.06	11.54	0.35	0.038	0.008	0.011	balance

- Fe-Cr
- *Ferromolybden* (Fe-Mo)
- *Ferromangan* (Fe-Mn)
- *Ferrisilicon* (Fe-Si)
- Ca-Si

4. Flux: adalah bahan untuk proses slaging, Tujuannya untuk mengikat impurities. Flux ini merupakan senyawa yang bersifat basa, yang akan bereaksi dan mengikat oksida logam yang bersifat asam

Prosedur Proses Peleburan

Pada proses peleburan dapur induksi disetting dengan frekuensi tinggi (Tabel 4)

Tabel 4.
Prosedur peleburan CF8M (SS 316)

No	Aktivitas
1	Pengambilan sampel uji komposisi
2	Memasukan ½ bagian scrap Fe-Ni-Cr lokal
3	Memasukan bahan aditif <ul style="list-style-type: none"> • Fe-Cr • Fe-Mo • Fe-Mn
4	Memasukan scrap steel
5	Memasukan <ul style="list-style-type: none"> • Fe-Si • Ca-Si
6	Memasukan sisa Fe-Ni-Cr lokal
7	Melakukan fluxing
8	Pengecekan temperatur
9	Tapping dan Pouring pada 1650 °C

3.2 Tahap Pengujian Laboratorium

- Pengujian Komposisi
- Uji Polarisation⁽¹²⁾
- Pengamatan Struktur Mikro (dengan mikroskop optik dan Scanning Electron Microscop)
- Pengujian EDS (*Energy-Dispersive Spectroscopy*)

4. Pembahasan

4.1 Pengaruh Persentase Fe-Ni lokal Terhadap Komposisi Kimia Coran Baja Tahan Karat CF8M (SS 316)

Untuk melihat pengaruh persentase Fe-Ni-Cr lokal terhadap sifat ketahanan korosinya maka dilakukan berbagai pengujian terhadap sampel uji yang terlebih dahulu dipersiapkan. Pengujian yang dilakukan meliputi uji komposisi kimia, uji ketahanan korosi dan uji mikrostruktur. Data-data yang diperoleh dari hasil pengujian akan dibandingkan dengan literatur yang ada sehingga didapatkan kesimpulan mengenai pengaruh persentase Fe-Ni-Cr lokal terhadap ketahanan korosi.

Terlihat bahwa kadar C semakin tinggi dengan peningkatan kadar Fe-Ni-Cr lokal. C adalah unsur yang dapat menurunkan sifat ketahanan korosi jika jumlahnya meningkat. Ini dikarenakan dengan bertambahnya kadar C maka unsur Cr dalam butir akan keluar menuju ke butir karena berikatan dengan C sehingga unsur Cr dalam butir berkurang sehingga butir ketahanan korosinya menurun karena Cr adalah unsur peningkat ketahanan korosi. Oleh karena itu baja tahan karat kadar karbonnya dibuat serendah mungkin tetapi dengan tidak mengurangi kekuatannya.

Kadar S semakin meningkat dengan peningkatan kadar Fe-Ni-Cr lokal. S dapat menurunkan ketahanan korosi. Karena S cenderung dapat berikatan dengan Mn membentuk inklusi non metalik MnS yang sangat berbahaya karena dapat menyerang lapisan pasif yang telah dibentuk oleh Cr. Pada sampel 79% Fe-Ni-Cr lokal kadar S hampir dua kali lipat.

Kadar Cr semakin menurun dengan peningkatan kadar Fe-Ni-Cr lokal. Cr merupakan unsur yang sangat penting dalam pembentukan lapisan pasif. Lapisan ini melindungi permukaan dari oksidasi. Dengan berkurangnya kadar Cr pada sampel yang memiliki prosentase Fe-Ni-Cr tinggi maka otomatis lapisan pasif yang terbentuk lebih sedikit dibandingkan dengan bahan baku impor. Kadar Cr masih dibawah literatur.

Kadar Mo semakin menurun dengan peningkatan kadar Fe-Ni-Cr lokal. Menurut literatur, Mo merupakan unsur yang penting untuk meningkatkan ketahanan korosi pada baja tahan karat dari pengaruh korosi sumuran (*pitting corrosion*). Dari tabel 4 kadar 79% Fe-Ni-Cr lokal berada dibawah standar yang diperbolehkan yaitu hanya 1,983% sehingga sifat ketahanan korosinya akan menurun dan pada kadar 0% Fe-Ni-Cr lokal (100% impor) mempunyai kadar Mo sebesar 2,859%. Perbedaannya sekitar 0,6%, padahal menurut literatur dengan penambahan 1% Mo akan dapat menurunkan kerapatan arus sekitar $50\mu\text{A}/\text{cm}^2$. Sehingga perbedaan yang sedikit saja terhadap komposisi Molibdenum akan sangat signifikan mempengaruhi sifat ketahanan korosinya. Molibdenum merupakan penstabil lapisan pasif yang telah terbentuk oleh Cr sehingga lapisan pasif akan lebih tahan terhadap serangan dari senyawaan yang menyerang lapisan pasif.

Kadar Ni semakin meningkat dengan peningkatan kadar Fe-Ni-Cr lokal. Menurut literatur, Ni merupakan unsur penstabil austenit dan meningkatkan daerah pasif. Ni juga membentuk lapisan pasif yang ada menjadi lebih stabil. Tetapi penurunan kadar Ni tidak terlalu besar sehingga tidak terlalu berpengaruh sekali. Pada dasarnya Ni adalah penstabil lapisan pasif. Dapat dilihat pada grafik pengaruh unsur paduan Cr, Ni pada grafik 7 Dimana kadar Cr yang paling berpengaruh pada pembentukan lapisan pasif sedangkan Ni tidak terlalu besar dalam menurunkan arus korosi.

Kadar Cu semakin menurun dengan peningkatan kadar Fe-Ni-Cr lokal. Cu dapat meningkatkan ketahanan korosi pada stainless steel perbedaan kadar Cu sangat tinggi antara

Fe-Ni-Cr lokal dengan Fe-Ni-Cr impor, Cu dalam baja tahan karat meningkatkan ketahanan terhadap atmosfer.

4.2. Pengaruh Persentase Fe-Ni lokal Terhadap Ketahanan Korosi Coran Tahan Karat CF8M (SS 316)

Dari pengolahan data yang diperoleh dari hasil pengujian korosi menggunakan metode polarisasi diperoleh tegangan Korosi (E_{corr}), rapat arus korosi (I_{corr}), sedangkan dari literature diperoleh Densitas CF8M (SS 316) adalah sebesar 7,9 gram/cm³ dan berat ekivalennya sebesar 28,22 gram. Dimasukkan kedalam rumus hingga diperoleh laju korosinya dalam mpy. mpy merupakan satuan laju korosi yang berarti mils (1/1000 inch) ketebalan permukaan yang hilang akibat korosi pertahun. Dari gambar 8 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan kerapatan arus, dimana penurunan kerapatan arus berarti semakin kecil laju korosinya.

Pada sampel 79% Fe-Ni-Cr lokal terlihat berada pada rapat arus yang paling besar hingga mencapai $1,83 \cdot 10^{-6} \text{ A}/\text{cm}^2$ dengan demikian laju korosinya paling besar karena rapat arus korosi berbanding lurus dengan laju korosi seperti pada persamaan (1).

Kemudian diikuti oleh sampel 45% Fe-Ni-Cr lokal, 23% Fe-Ni-Cr lokal dan 0% Fe-Ni-Cr lokal (100% impor) yang berada makin kearah rapat arus korosi yang semakin kecil. Pada sampel 23% Fe-Ni-Cr lokal terlihat adanya kurva polarisasi berbentuk zig-zag tidak seperti sampel yang lain, ini dikarenakan lapisan pasif pada permukaannya pecah lalu terbentuk kembali dan terjadi berulang kali hingga akhirnya kembali stabil. Kondisi ini dikarenakan tidak stabilnya lapisan pasif akibat dari berkurangnya unsur Ni dapat dilihat dari tabel 4 yang hanya mempunyai kadar 11,47% ada penyimpangan jika dibandingkan dengan sampel lainnya.

Penghitungan Laju Korosi

Perhitungan laju korosi dapat dihitung dengan mengukur besarnya massa yang

hilang dari reaksi elektrokimia. Laju korosi dapat diperoleh dengan adanya aliran pergerakan elektron pada reaksi elektrokimia. Rumus kehilangan massa adalah sebagai berikut: [7,13]

$$M = I \cdot t \cdot a / n \cdot F \quad (3)$$

Keterangan:

M = massa (gr)

I = arus (mikro ampere)

n = perubahan valensi

a = berat atom ekuivalen (gram)

F = bilangan faraday (coulomb) =

96500

Rumus tersebut dikonversikan dalam bentuk rumus lainnya yang menggunakan satuan laju korosi tertentu. Rumus tersebut dapat ditentukan dengan membagi persamaan diatas dengan waktu (t) dalam satuan detik dan luas permukaan (A) dalam satuan cm^2 , maka hasil persamaan yang diperoleh adalah sebagai berikut:

$$R = m / t \cdot A = I \cdot a / n \cdot F \quad (4)$$

Dari persamaan diatas dapat diubah menjadi laju penetrasi korosi persatuan waktu (mpy) dengan cara membagi persamaan dengan D (berat jenis) dalam satuan gr/cm^3 sehingga rumus akhir adalah sebagai berikut:

$$(mpy) \quad R = 0,129 \cdot A \cdot I / n \cdot D \quad (5)$$

atau

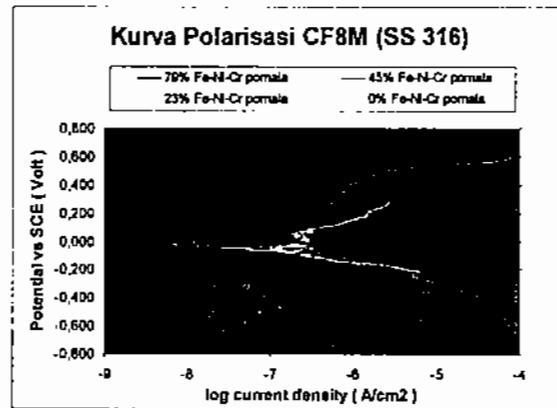
$$R = 0,129 \cdot BE \cdot I / D \quad (6)$$

R = Laju korosi (mpy)

BE = Berat Ekuivalen (gram) = 28,22 gram

I = Arus korosi ($\mu A/cm^2$)

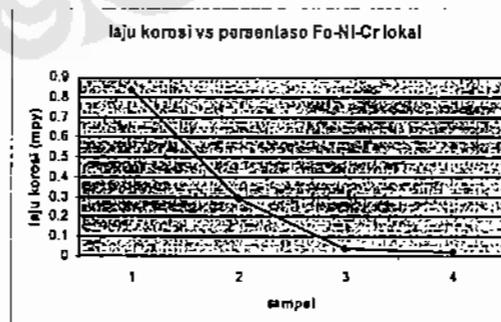
D = Berat jenis ($gram/cm^3$) = 7,9 $gram/cm^3$



Gambar 6
Kurva Polarisasi

Tabel 5.
Laju korosi sample vs literatur CF8M dalam lingkungan NaCl 3,5% (simulasi air laut)

Sampel	Laju korosi (mpy)
79% Fe-Ni-Cr lokal	0.84
45% Fe-Ni-Cr lokal	0.29
23% Fe-Ni-Cr lokal	0.041
lokal (100% impor)	0.02
CF8M	0.01-0.1



Gambar 7.
Grafik Laju Korosi Sampel

Dari Tabel 5 dan gambar 7 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan ketahanan korosi dengan bertambahnya Fe-Ni-Cr lokal. Faktor utama penyebab penurunan ketahanan korosi ini berasal dari

komposisi kimia dikarenakan komposisi kimia sampel masih berada dibawah rentang yang diizinkan literatur. Dan juga karena kandungan S yang sangat tinggi.

4.3. Pengaruh Persentase Fe-Ni lokal Terhadap Struktur Mikro Coran Tahan Karat CF8M (SS 316)

Pada pengamatan struktur mikro ini digunakan zat etsa asam oksalat dan elektro etsa 6 V. Etsa ini akan menyerang fasa austenit saja, sedangkan ferit tidak. Sehingga pada mikroskop optik fasa austenit akan terlihat lebih gelap dari fasa ferit.

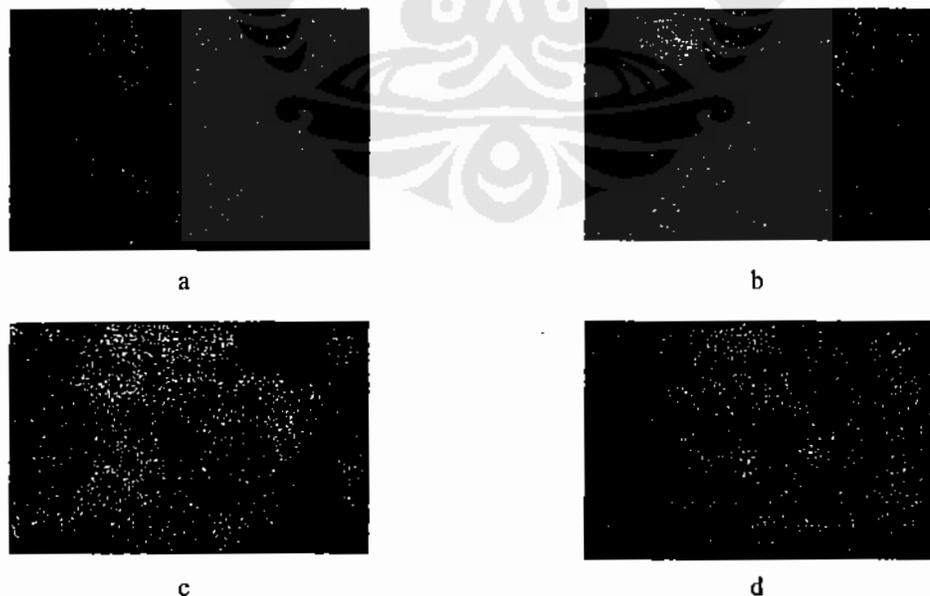
Pengambilan foto mikro dilakukan dengan mikroskop optik mikro dengan perbesaran 100X dan 500X setelah dilakukan pemilihan lokasi pengambilan sampel dan pengambilan gambar.

Dalam pengamatan mikrostruktur dibedakan antara porositas dan inklusi yang ada. Dari foto makrostruktur sangat jelas perbedaan yang tampak dimana pada persentase Fe-Ni-Cr lokal 79% terdapat banyak porositas dan inklusi. Sedangkan semakin kecil atau sedikit prosentase Fe-Ni-Cr terlihat banyak impurities.

Melalui pengamatan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscop* dan *Energy Dispersive spectroscopy* dengan perbesaran 600X kita bisa memperkirakan jenis impurities yang mungkin ada. Adapun jenis dan kuantitas dari impurities bisa terlihat pada tabel 6.

Telihat unsur yang terdapat dalam inklusi. Terdapat inklusi MnS karena kecenderungan Mn mengikat S.

Inklusi MnS adalah jenis *non metallic inclusion*. Inklusi ini berasal dari bahan baku material itu sendiri dimana terdapat kadar S sebesar 0,008% padahal menurut literatur untuk CF8M, kadar S tidak boleh ada, juga besar kemungkinan berasal dari scrap yang ditambahkan karena jumlah kadar S bertambah pada hasil pengujian komposisi setelah dilebur pada masing – masing sampel. *Non metallic inclusion* Mangan Sulfida MnS lebih dikenal dengan inklusi sulfida (*sulfide inclusion*). Di dalam baja tahan-karat, pemasukan sulfida jarang dalam keadaan murni MnS tetapi pada umumnya larutan padat MnS.



Gambar 8.
Foto Struktur Mikro dengan perbesaran 100x ;
a) 79 % Fe-Ni lokal, b) 45 % Fe-Ni lokal, c) 23 % Fe-Ni lokal, d) 0% Fe-Ni lokal

Tabel 6.
Jenis dan Kuantitas Impurities (pengotor)

Persentase	Kuantitas impurities	Inklusi
79 % Fe-Ni lokal	banyak	Fe-Ni-Cr, Fe-Cr, Fe-Mn, Fe-Ni-Cr Cr_xCy
45 % Fe-Ni lokal	sedang	Fe-Ni-Cr Fe-Cr Inklusi : MnS Cr_xO_y
23 % Fe-Ni lokal	Sedikit	intermetallic Fe-Ni-Cr, Fe-Cr, Fe-Mn Inklusi : MnS
0 % Fe-Ni lokal (100 % Ni impor)	Sedikit	Intermetallic: Fe-Ni- Cr, Fe- Cr, Fe- Mn Karbida : Cr_xCy

Inklusi sulfida adalah konduktor elektronik yang dapat terpolarisasi pada potensial permukaan pasif baja. Konduktivitasnya bervariasi tergantung kadar Mn dalam *solid solution*. Sulfida pada potensial pasif baja cenderung memecahkan lapisan pasif tersebut. Pada saat potensial permukaan pasif baja sudah sangat tinggi dan total permukaan logam lebih besar dari area sulfida maka partikel sulfida yang menempel akan cenderung memecahkannya.

MnS terbentuk secara langsung pada saat peleburan sampai proses pembekuan sehingga pada saat itu tidak ada lapisan film oksida yang dapat memproteksi sulfida berada dibatas butir sehingga sulfida dapat memecahkan lapisan film dari dalam lapisan film. Pada awalnya permukaan logam terpasivasi, tetapi terbentuk larutan asam oleh sulfida yang dari dalam lapisan pasif sendiri sudah mempunyai efek memecah lapisan pasif. Pada saat logam berada dalam daerah yang mengandung ion Cl^- logam akan mengambil unsur yang dapat membuat lapisan pasif tetapi karena sulfid merupakan konduktor elektrik maka dengan mudah ion Cl^- menyerang lapisan

pasif sehingga pada saat logam sudah tidak dapat mengambil lagi unsur yang dapat melapisi permukaannya supaya pasif, maka korosi terjadi.

5. Kesimpulan

Berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian yang dilakukan pada material CF8M yang setara dengan material SS316 dengan menggunakan variabel kadar Fe-Ni-Cr lokal, diperoleh hasil sebagai berikut ;

Adanya penambahan Fe-Ni-Cr lokal maka struktur mikro yang terbentuk terdapat banyak impurities yang sangat berpengaruh terhadap sifat dari CF8M.

1. Jenis impurities $Fe_xNi_yCr_z$, Fe_xMn_y , Fe_xCr_y , MnS
2. MnS merupakan jenis inklusi yang dapat menurunkan ketahanan korosi
3. Komposisi kimia masing – masing sampel juga berbeda sehingga memberikan efek negatif terhadap ketahanan korosinya, yaitu kadar Cr menurun dengan kenaikan kadar Fe-Ni-Cr lokal.
4. Penambahan kadar Fe-Ni-Cr lokal memberikan efek negatif terhadap ketahanan korosi. Pada kadar 23%Fe-Ni-Cr dan 45% Fe-Ni-Cr ketahanan korosinya mendekati ketahanan korosi kadar 0%. Fe-Ni-Cr.
5. Secara umum Fe-Ni-Cr lokal dapat digunakan sebagai bahan baku baja tahan karat CF8M yang setara dengan SS 316.

Daftar Acuan

1. <http://metalprices.com/index.asp#Tables> Wednesday, January 7, 2004
2. http://www.djgsm.esdm.go.id/pertambangan/produksi_mineral/index.htmlRabu, 7 Januari 2004.
3. ASM International . Stainless Steel. ASM Specialty Handbook, ASM International, USA, 1994
4. Tillack, donald J, Guthrie, Joseph E. *Wrought and cast heat resistance stainless sssteel and nickel alloy for the*

- refining petrochemical industries Heat and corrosion resistance casting.*. New York. The International Nickel Company, 1978
5. Tomashof, Nikon D, and Chernova, Galina P, *Passivity and Protection of Metals Against Corrosion*, Plenum Press, New York, 1986
 6. Piron, Dominique, *The Electrochemistry of Corrosion*, Houston NACE, 1991.
 7. Bofardy, Bonnet P, *Control of Environmental Variables in Water Recirculating*, Metal Hand Book 9th ed, vol 13 Corrosion, hal 487-497, Metal Park, Ohio, 1987
 8. Peckner Donald. I.M. Bernstein, *Hand-Book of Stainless Steel*, Mc Graw-Hill, New York 1977
 9. Fontana, Mars G. *Corrosion Engineering*, Third Edition. McGraw-Hill Book Company, Singapore, 1986
 10. Kiessling Roland, *Non-Metallic Inclusion in Steel*, Part III-IV, The Material Society, London
 11. Manganon Pat L, *The Principles of Material Selection for Engineering Design*, Prentice Hall USA, 1993
 12. Trethewey, Kenneth R and Chamberlain, John, *Korosi Untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasawan*, PT.Gramedia, Jakarta, 1991.
 13. Jones, Denny A. *Principles and Prevention of Corrosion*, Macmillan Publishing Company, New York, 1992

