

PENGARUH Pengerjaan Dingin (Cold Working) pada Baja Tahan Karat Jenis Austenitik (Austenitic Stainless Steel) Type 304

Agus Setiyo Umartono
Fakultas Teknik – Universitas Gresik

ABSTRACT

Stainless steel (Stainless Steel) is actually an alloy of steel alloy with high levels (High alloy steel), stainless steels have properties that privileges resistant to corrosion and high temperatures. Corrosion resistant properties obtained from the oxide layer (especially chrome) which are very stable on the surface of the steel and protects the steel against the corrosive environment.

Stainless steel (Stainless Steel), the most popular and widely used is the type Austenitic stainless steels, because it has high shock resistant properties, tenacious, are not interested in magnetic, corrosion resistant and has the most good weldability (weldability) is good.

However, austenitic stainless steels (austenitic stainless steel) type 304 is very difficult to do Cold Work. Because of cold work on type 304 austenitic stainless steel can provide a change of mechanical properties vary greatly.

For that reason in this thesis will be carried out cold work. (cold work) by Rolling / Bending of material type austenitic stainless steel 304. The changes observed. In the event of changes in the nature kemagnetannya Cosmos, the second material is different is, each testing the mechanical properties (Pull, Violence, Chemical Composition, Structure and Corrosion Micro).

From the test results are then compared and conducted studies of crystal structure, as additional data to draw conclusions.

Keywords : Austenitic Stainless Steel , Cold Work, changes

1. PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Cold working pada material adalah memberikan - gaya tekan / geser pada temperatur kamar untuk mendapatkan bentuk konstnaksi yang diinginkan.

Sementara *cold working* pada *Austenitic Stainless Steel* type 304 mempunyai pengaruh yang sangat besar pada sifat mekanik dari bahan tersebut. Semua ini terjadi apabila telah terjadi deformasi plastis pada material *Austenitic Stainless Steel* type 304. Pengaruh ini ditimbulkan karena adanya perubahan Struktur Kristal.

Sering dijumpai dipasaran bahwa material dengan komposisi yang sama dengan *Austenitic Stainless Steel* type 304 tetapi mempunyai sifat Magnetik, padahal seharusnya *Austenitic Stainless Steel* type 304 bersifat Non Magnetic. Dilapangan sering juga ditemui bahwa setelah dilakukan pegerjaan dingin terhadap material *Austenitic Stainless Steel* type 304 sifatnya berubah menjadi Magnetik, tetapi kejadian ini sering diabaikan.

Untuk itu perlu dilakukan kajian lebih mendalam tentang adanya perubahan tersebut, karena apabila kondisi material sudah berubah sifat kemagnetannya tentu sudah berubah struktur kristal dan sifat-sifat lainnya.

1.2. RUMUSAN MASALAH

Dalam penelitian ini, akan diperoleh hasil mengenai :

1. Bagaimana pengaruh *cold working* pada material *Austenitic Stainless Steel* type 304.
2. Bagaimana pengaruh banyaknya unsur Karbon (C) dan Nickel (Ni) terhadap *cold working* pada *Austenitic Stainless Steel*.

1.3. TUJUAN PENULISAN

Penulisan tugas akhir ini bertujuan :

1. Untuk mengetahui pengaruh *cold working* pada material *Austenitic Stainless Steel* type 304.
2. Untuk mengetahui pengaruh banyaknya unsur Karbon (C) dan Nickel (Ni) terhadap *cold working* pada *Austenitic Stainless Steel*.

1.4. BATASAN MASALAH

Untuk menghindari meluasnya pembahasan, maka perlu adanya batasan permasalahan sebagai berikut :

1. Material yang diteliti dan diuji secara lengkap hanya material *Austenitic Stainless Steel* type 304.
2. Pengujian sifat kemagnetan dilakukan pada material *Austenitic Stainless Steel* type 304, 304L, 316 dan 316L saja.
3. Pengujian yang dilakukan hanya dibatasi pada Pengujian Tarik, Kekerasan, Komposisi, Struktur Mikro dan Korosi.
4. Pengujian Korosi hanya dilakukan dengan Asam Khlorida (HCl) 37%.
5. Analisa Struktur kristal hanya dilakukan perhitungan berdasarkan teori.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. BAJA TAHAN KARAT (STAINLESS STEEL)

Baja yang sering kita dengar dan banyak dipakai umumnya adalah baja dengan unsur paduan rendah atau *Low Alloy Steel*. Sedangkan baja tahan karat (*Stainless Steel*) adalah baja paduan dengan kadar paduan tinggi atau *High Alloy Steel*, dengan sifat yang sangat istimewa yaitu tahan terhadap korosi dan temperatur tinggi. Sifat tahan korosinya diperoleh dari lapisan oksida (terutama Chrom) yang sangat stabil yang melekat

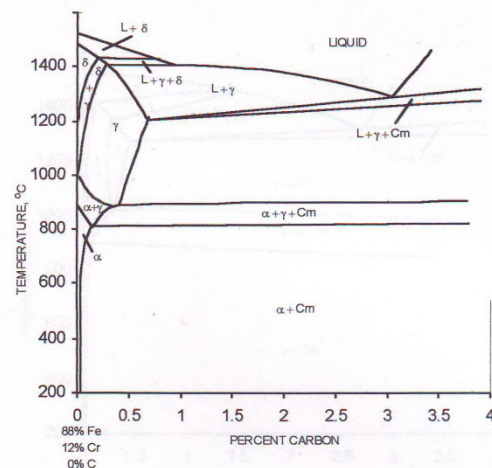
pada permukaan dan melindungi baja terhadap lingkungan yang korosif. Pada beberapa jenis baja tahan karat juga terjadi lapisan oksida Nickel. Efek perlindungan oksida chrom ini tidak efektif pada baja paduan dengan kadar chrom rendah, efek ini mulai tampak nyata pada kadar chrom lebih besar dari 10 %.

Kodifikasi baja tahan karat menurut AISI berbeda dengan kodifikasi baja paduan biasa. Baja tahan karat menggunakan tiga angka, angka pertama menunjukkan groupnya, sedang angka kedua dan ketiga tidak banyak artinya, hanya menunjukkan modifikasi paduannya (tabel 2.1.)

Tabel 2.1. Kodifikasi Baja tahan karat.

SERIES	GROUPS
2xx	Chromium-Nickel-Manganese, Non Hardenable, Austenitic, Non magnetic
3xx	Chromium-Nickel, Non Hardenable, Austenitic, Non magnetic
4xx	Chromium, Hardenable, Martensitic, Magnetic
4xx	Chromium, Non hardenable, Ferritic, Magnetic
5xx	Chromium, Non chromium, Heat resisting

Mengingat baja tahan karat mengandung chrom cukup tinggi, maka untuk mempelajari perubahan fasanya diambil beberapa penampang dari diagram fasa terner dari paduan besi-chrom-carbon. Gambar 2.1. memperlihatkan penampang dad diagram fase tersebut pada 12 % Cr, dengan Carbon 0 - 4 %.



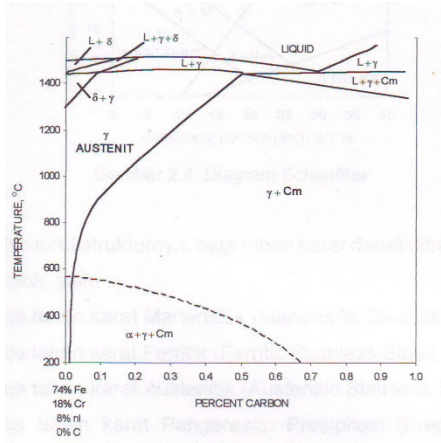
Gambar 2.1. Penampang diagram fase baja chrom pada 12% Cr.

Dibandingkan dengan diagram besi-carbidabesi adanya chrom menaikkan temperatur kritis dan mempersempit daerah austenit. Namun demikian dengan kadar karbon memadai baja ini dapat dikeraskan dengan *Heat Treatment* sehingga membentuk Martensit.

Pada kondisi *annealed* struktur baja ini terdiri dari ferrit dan partikel karbida yang tersebar didalamnya. Bila diquench dari daerah austenit maka strukturnya akan berubah menjadi martensit.

Chrom sebagai *ferrite stabilizer*, memperkecil lagi daerah austenit bila ditambahkan dalam jumlah lebih banyak. Gambar 2.2. memperlihatkan penampang pada 18 % Cr. Dan diagram ini tampak bahwa daerah austenit sudah sangat kecil, bahkan pada kadar karbon rendah sama sekali tidak akan terbentuk austenit, tetap ferrit sampai mencair.

Bila baja ini diquench tidak akan diperoleh martensit, tetap berupa ferrit. Baja ini tidak dapat dikeraskan. Bila kadar karbon ditambah sedikit hingga pada pemanasan dapat terjadi ferrit delta dan austenit, maka baja ini bila di *quench* dapat terjadi sedikit kenaikan kekerasan dengan terjadinya transformasi austenit

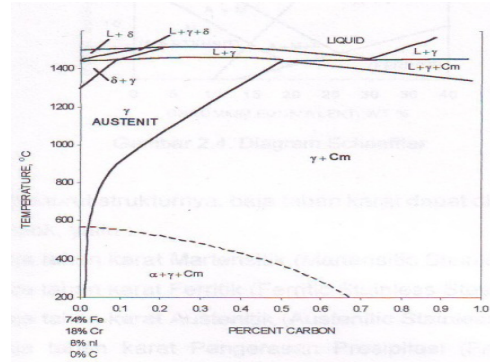


Gb. 2.2. Penampang diagram fase pada 18 % Cr.

Strukturanya akan terdiri dari ferrit dan produk dari transformasi austenit. Bila kadar karbon dinaikkan lebih tinggi lagi hingga pada pemanasan diperoleh austenit dan karbida, setelah diquench akan menghasilkan kekerasan penuh. Struktur terdiri dari martensit, produk transformasi austenit, dan partikel karbida, yang tidak terlarut pada saat pemanasan sehingga tidak bertransformasi, tetap berupa karbida.

Dengan penambahan nickel, austenit stabilizer, yang cukup banyak maka daerah austenit akan turun dan dapat mencapai temperatur kamar. Gambar 2.3. memperlihatkan penampang diagram fase pada 18 % Cr, 8 % Ni.

Dari diagram fasenya terlihat bahwa daerah austenit mencapai temperatur kamar, sehingga pada kadar karbon rendah, dalam keadaan annealed, strukturnyaterdiri dari austenit, karenanya walaupun dilakukan quenching tidak akan terjadi transformasi, jadi tidak dapat dikeraskan.



Gambar 2.3. Penampang diagram fase pada 18 Cr, 8% Ni.

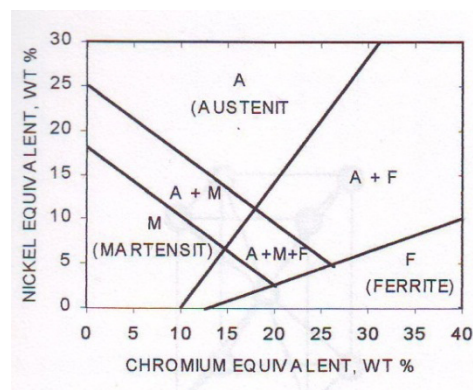
Diagram Schaeffler adalah diagram yang menunjukkan struktur dari baja tahan karat yang dideposisikan. Dan menunjukkan struktur yang didapatkan setelah pendinginan cepat dari 1050 °C ke-temperatur kamar (bukan diagram keseimbangan)

% Ni : Austenite stabilizer (Ni, Co, C, N Mn, Cu)

% Cr : Ferrite stabilizer (Cr, Si, Mo, V, Al, Cb, Ti, W)

Tabel 2.2. Perhitungan prosentase Ni dan Cr

% Ni Equivalent	% Ni + % Co + 30 (% C) + 25 (% N) + 0,5 (% Mn) + 0,3 (% Cu)
% Cr Equivalent	% Cr + 2 (% Si) + 1,5 (% Mo) + 5 (% V) + 5,5 (% Al) + 1,75 (% Cb) + 1,5 (% Ti) + 0,75 (% W)



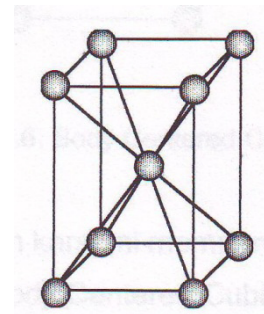
Gambar 2.4. Diagram schaeffler

Menurut strukturnya, baja tahan karat dapat dibagi menjadi 5 kelompok, yaitu :

1. Baja tahan karat martensitik (*Martensitic Stainless Steel*)
2. Baja tahan karat Ferritik (*Ferritic Stainless Steel*)
3. Baja tahan karat Austenitik (*Austenitic Stainless Steel*)
4. Bajatahan karat Pengerasan Presipitasi (*Precipitation Hardenable Stainless Steel*)
5. Baja tahan karat berfasa ganda (*Duplex Stainless Steel*)

1.1.1. Baja tahan karat Martensitik (*Martensitic Stainless Steel*)

Pada dasarnya baja ini adalah baja chrom, dengan kadar chrom antara 11,5 -18 %, Yang termasuk kelompok ini antara lain type 403, 410, 414, 416, 420, 422, 431, 440, 501 dan 502. Type yang paling populer adalah type 410 dan 416. Kelompok baja tahan karat ini bersifat magnetik, dapat dikeraskan dengan cara menambahkan C (karbon) sehingga fasa gamma (γ loop) membesar dan transformasi martensitik dapat terjadi, dapat dicold-work dengan mudah, terutama dengan kadar karbon rendah, machinability cukup baik, ketangguhan baik, juga dapat di hot work dan memperlihatkan sifat tahan korosi yang cukup baik terhadap cuaca dan beberapa chemical yang cukup baik. Sifat tahan korosinya akan paling baik bila dalam kondisi dikeraskan, tetapi masih belum sebaik sifat tahan korosi dari kelompok ferritik dan austenitik.



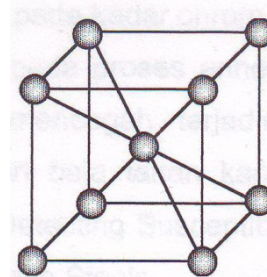
Gb. 2.5. Body Centered Tetragonal

Baja tahan karat ini mempunyai struktur kristal BCT (*Body Centered Tetragonal* = tetragonal berpusat badan). Pada umumnya baja tahan karat lebih sulit dimachining dari pada baja karbon. Dengan menambahkan sedikit sulfur, seperti type 416, atau selenium, seperti 416Se, banyak memperbaiki machinability, sedang selenium tidak berpengaruh.

Sifat tahan korosi akan lebih baik bila kadar chrom lebih tinggi, seperti pada type 440, berpadu dengan kekuatan dan kekerasan yang diperoleh dengan kadar karbon lebih tinggi.

1.1.2. Baja tahan karat Ferritik (*Ferritic Stainless Steel*)

Seperti kelompok martensitik, baja tahan karat ferritik juga adalah baja chrom, dengan kadar chrom lebih tinggi (14 - 27 % Cr) dan kadar karbon lebih rendah. Dalam kelompok ini dikenal type 405, 409, 430 dan 446. Yang paling banyak dipakai adalah type 430 (16 % Cr) dan type 409 (11% Cr, +Ti).



Gambar 2.6. Body centered cubic

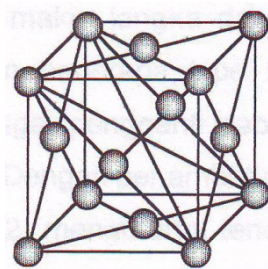
Baja tahan karat ini mempunyai fasa ferit dengan struktur kristal BCC (Body Centered Cubic = Kubus berpusat badan), adapun sifat dari baja ini tidak dapat dikeraskan dengan laku panas (*non hardenable*), dapat menjadi keras dengan cold work (*work hardens*), bersifat magnetik, dapat di *cold work* maupun *hot work*. Keuletan dan sifat tahan korosi yang paling tinggi akan dicapai pada kondisi *annealed*. Dalam kondisi ini kekuatannya kira-kira 50% lebih tinggi dari baja karbon, dibanding dengan martensitik, baja ini lebih unggul dalam sifat tahan korosi, khususnya *Stress Corrosion Cracking* (SCC), ketahanan oksidasi yang baik dan *machinability*. Paduan stainless steel super ferritic (30% Cr, 4% Mo) mempunyai ketahanan yang baik terhadap *pitting*, *crevice* dan *general corrosion*. Karena mudah dibentuk banyak digunakan untuk barang-barang yang dibuat dengan deep drawing, seperti alat industri kimia dan makanan, benda arsitektural dan beberapa hiasan pada bagian mobil dll.

Satu satunya proses laku panas yang dapat dilakukan terhadap baja tahan karat ferritik adalah annealing, yang biasanya dimaksudkan untuk menghilangkan tegangan akibat pengelasan atau *cold work*.

Suatu bentuk penggetasan yang dapat terjadi pada baja tahan karat ferritik, bila berada pada temperatur 400 - 500 °C dalam jangka yang cukup lama, atau bila didinginkan lambat melalui daerah temperatur itu, Impact strengthnya akan turun. Hal ini makin terasa pada kadar chrom yang makin tinggi. Karena itu pendinginan pada proses annealing harus dikontrol dengan baik untuk mencegah terjadinya penggetasan. Standard pengujian dari baja tahan karat ini adalah ASTM A763 - *Practice for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Ferritic Stainless Steels*.

1.1.3. Baja tahan karat Austenit (*Austenitic Stainless Steel*)

Kelompok ini adalah baja chrom dengan ada penambahan unsur pembentuk austenit, misalnya Ni (Nickel, min 8 %) dan Mn (Mangan). Atau bisa disebut baja Chrom - Nickel (untuk seri 3xx) dan baja chrom-nickel-mangan (seri 2xx). Jumlah kadar chrom dan nickel tidak kurang dari 23%. Berstruktur austenitik dengan struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic* = Kubus berpusat muka), bersifat Non Magnetik, Non hardenable, mempunyai sifat mampu bentuk (*formability*) dan mampu las (*Weldability*) yang baik. Mudah dihot-work, tetapi agak sulit *dicold work* karena dapat mengalami work-hardening cukup hebat. Cold working dapat memberikan sifat mekanik yang sangat bervariasi, tergantung pada tingkat deformasi yang dialami.



Gb. 2.7. Face Centered Cubic

Kelompok baja ini mempunyai sifat shock resistant yang tinggi, dan juga sulit dimachining, kecuali yang mengandung sulfur (303) atau selenium (303Se). sifat tahan korosinya paling baik diantara ketiga jenis baja tahan karat, juga kekuatan pada temperatur tinggi dan resistant to scaling-nya sangat baik.

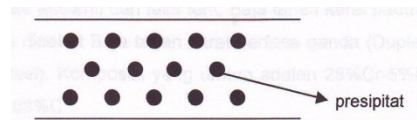
Paduan dasar dari baja tahan karat austenitik adalah type 302, Type ini adalah baja tahan karat 18-8 yang pertama, mengandung 18% Cr, 8% Ni dengan kadar karbon maksimum 0,15%. Dengan menurunkan batas maksimum kadar karbon menjadi 0,08% tercipta

type 304 (type yang sangat populer), dengan weldability (sifat mampu las) yang lebih baik dan tendensi terjadinya presipitasi karbida chrom lebih rendah (terjadinya presipitasi karbida chrom menurunkan sifat tahan korosi, dapat mendorong terjadinya korosi yang sangat berbahaya, korosi intergranular). Untuk mencegah terjadinya presipitasi karbida chrom selama pengelasan maka dibuat type baru dengan kadar karbon sangat rendah, dibawah 0,03% C, type 304L. Dengan kadar karbon yang sangat rendah ini peluang bagi chrom untuk membentuk karbida menjadi sangat kecil. Ternyata type 304L masih kurang memuaskan bila dilakukan pengelasan dengan multiple pass, untuk itu dikembangkan type *stabilized*, dengan penambahan Ti (type 321), dengan penambahan Cb atau Ta (type 347). Pada type yang distabilkan ini unsur tambahan itu akan mencegah terbentuknya karbida chrom.

Dengan makin langka dan mahalnya nickel kemudian dikembangkan beberapa type lain dengan menambahkan mangan sebagai pengganti sebagian nickel, diperoleh type 201 dan 202. Dengan penambahan Mn yang cukup besar, 8 % pada type 202, mengurangi tendensi work hardening, tetapi juga menurunkan sifat tahan korosi. Standard pengujian dari baja tahan karat ini adalah ASTM A262 - Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steels.

1.1.4. Presipitation Hardenable Stainless Steel

Dengan mempergunakan ketahanan korosi yang baik dari baja tahan karat, kekuatannya dapat diperbaiki dengan pengerjaan presipitasi dengan TiC, NiAl, CbC dll.



Gb. 2.8. Presipitasi

Menurut struktur matriksnya baja tahan karat ini digolongkan menjadi tiga jenis Presipitation Hardenable (PH) Stainless Steel yaitu Austenitic (17-10P, A-286, HNM, dll), Semi Austenitic (17-7PH, PH 15-7 Mo, PH 14-8 Mo, dll), dan Martensitic (17-4 PH, Croloy 450 - XM-25, IN-736, dll). Salah satu yang umum adalah 17-4 PH (Martensit, 17%Cr-4%Ni-4%Cu-0,06%C-0,35Nb) dan 17-7 PH (Semi austenit, 17%Cr-7%Ni-1,2%Al-0,07C). Matriks dari kedua baja tersebut pada saat pengerjaan presipitasi adalah martensit. Pada 17-4 PH martensit terbentuk oleh pendinginan setelah perlakuan pelarutan, sedangkan pada 17-7 PH martensit terbentuk dengan jalan transformasi plastis setelah perlakuan pelarutan atau dengan pendinginan dibawah temperatur kamar. Kalau dituakan pada 400-600 °C, pada 17-4 PH diperkuat dengan adanya presipitat yang kaya oleh Cu dan pada 17-7 PH ada Ni-Al. Baja ini sangat baik ketahanan korosinya dibandingkan dengan baja chrom 18% Cr. Baja ini dipergunakan untuk roda gigi, poros, pompa-pompa untuk fluida asam, katup, kulit luar dari pesawat terbang, komponen mesin jet, pegas, dsb.

1.1.5. Duplex Stainless Steel

Dari diagram Schaeffler dapat dilihat bahwa bilangan $Cr_{equivalent}$ adalah sekitar 28% dan Ni equivalent adalah 6%, maka akan terbentuk dua fasa yaitu fasa austenit dan fasa ferit. Baja tahan karat paduan dua fasa ini disebut Baja tahan karat bertasa ganda (*Duplex Stainless Steel*). Komposisi yang umum adalah 25%Cr-5%Ni-1,5%Mo-0,03%C.

Dalam baja tahan karat berfasa ganda ini kegetasan, mampu las dan kekurangan lainnya dari baja chrom tinggi diperbaiki dengan penambahan Ni, N, dsb. Perkembangan baru-baru ini dalam teknik pembuatan baja memungkinkan pembuatan baja seperti ini dimana pengurangan kadar karbon akan lebih mudah. Perbandingan antara fasa austenit dan ferit biasanya 60-40 atau 40-60 tergantung kepada komposisi dan perlakuan panasnya, komposisi yang optimum adalah 50% austenit dan 50% ferit.

Baja tahan karat bertasa ganda dari fasa austenit dan fasa ferit ini mempunyai sifat yang istimewa yaitu masing-masing memberikan pengaruh saling menutupi.

2.2. Struktur Kristal

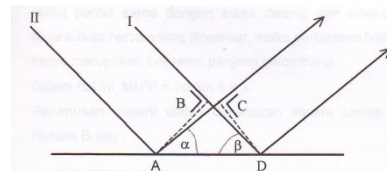
Logam adalah merupakan kumpulan dari atom-atom yang menyusun diri membentuk suatu kesatuan zat padat. Struktur tersebut sangat erat kaitannya dengan sifat-sifat dari logam.

Struktur kristal dapat berubah apabila logam mengalami suatu perlakuan atau proses pengerjaan, hal ini menerangkan pula bahwa sifat logam akan berubah tergantung dari perubahan strukturnya. Struktur kristal dari logam dapat kita ketahui dengan sebuah alat ukur yaitu Difraktometer.

2.2.1. Difraksi Sinar-X

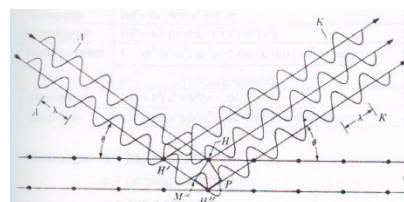
Difraksi suatu sinar akan terjadi jika sinar tersebut dijatuhkan pada sejumlah celah (kisi), dimana jarak antar kisi hampir sama dengan panjang gelombang sinar tersebut. Karena jarak antar atom beraturan dan mendekati panjang gelombang sinar-X, maka Van Laue mengemukakan kemungkinan untuk mendifraksi sinar-X melalui atom-atom dalam kristal.

Apabila ditinjau dari pantulan sinar pada satu bidang dan dianggap bahwa sinar yang mengalami difraksi sebagai sinar yang dipantulkan oleh suatu bidang atom, maka akan didapat bahwa sudut pantul harus sama dengan sudut datang. (Gb. 2.9)



Gb. 2.9. Pantulan sinar oleh satu bidang atom

Pada gb. 2.9. terlihat bahwa sinar I dan II akan sefasa, jika panjang lintasannya sama, maka $AC=AB$ atau $a = R$. Untuk atom-atom dalam ruang, maka perlu dianalisa pemantulan oleh dua bidang sejajar yang berjarak d . (Gb. 2.10.)



Gb.2.10. Pemantulan sinar-X oleh atom-atom pada dua bidang atom

Perbedaan lintasan sinar pada bidang pertama dan kedua pada muka gelombang K-K adalah $MH''P$. Dengan syarat bahwa sudut pantul sama dengan sudut datang dan sinar-X yang dipantulkan harus saling diperkuat, maka perbedaan lintasan ini harus merupakan kelipatan panjang gelombang.

Dalam hal ini, $MH''P = 2d \sin \theta = \lambda$

Perumusan seperti diatas dinyatakan secara umum dalam Hukum Bragg :

$$2d \sin \theta = n\lambda$$

Dimana :

d = Jarak antar bidang (A)

θ = Sudut pantul (L°).

λ = Panjang gelombang sinar-X (A)

n = Bilang bulat, 1,2,3. . . .

Jarak bidang (d), dalam hukum Bragg diatas dapat dihitung seandainya indeks Miller dan jenis sel satuannya diketahui, maka jarak antar bidang hkl adalah :

Tabel 2.3. Rumus Jarak Antar Bidang

Cobic	$1/d^2 = h^2 + k^2 + l^2 / a^2$
Tetragonal	$1/d^2 = (h^2 + k^2) / a^2 + l^2 / c^2$
Heksagonal	$1/d^2 = 4/3 (h^2 + hk + k^2 / a^2) + (l^2 / c^2)$
Orthorombic	$1/d^2 = h^2 / a^2 + k^2 / b^2 + l^2 / c^2$
Monoclinic	$1/d^2 = 1 / \sin^2\beta (h^2 / a^2 + k^2 \sin^2\beta / b^2 + l^2 / c^2 - 2hlc \cos \beta / ac)$

Keterangan :

a = panjang sisi kristal

c = panjang sisi kristal

α = sudut antar sisi

β = sudut antar sisi

hkl = indeks miller bidang bersangkutan

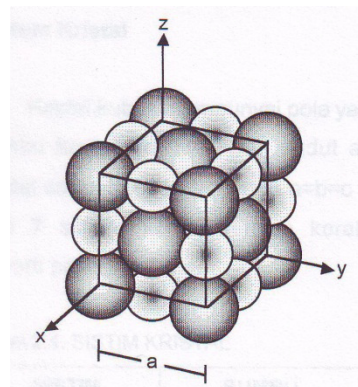
2.2.2. Geometri Kristal

2.2.2.1. Kristal

Semua logam akan membentuk kristal pada saat bahan tersebut membeku. Hal ini berarti bahwa atom-atom akan mengatur diri secara teratur dan berulang dalam pola tiga dimensi. Struktur seperti ini disebut sebagai kristal. Struktur kristal yang paling elementer ialah kisi kubus sederhana. (Gb.2.11.). Struktur ini ialah jenis sel dasar (structure cell) yang

dijumpai untuk kristal ionik, seperti NaCl dan LiF.

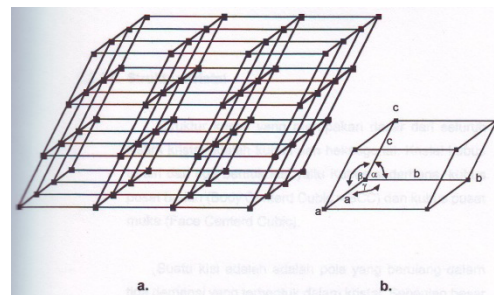
Tiga sumbu yang tegak lurus satu sama lain ditempatkan sembarang melalui salah satu sell sudut. Bidang serta arah kristalografi akan ditetapkan terhadap sumbu ini menurut Indeks Miller. Sebuah bidang kristal ditetapkan oleh panjang perpotongan pada ketiga sumbu yang diukur dari titik awal sumbu koordinat.



Gb. 2.11. Struktur kubus sederhana NaCl

2.2.2.2. Sel Satuan

Atom-atom yang tersusun berulang, merupakan karakteristik kristal, gambar 2.12.



Gb. 2.12. a. Kisi kristal b. Sel satuan

2.2.2.3. Sistem Kristal

Kristal kubus mempunyai pola yang sama pada ketiga sumbu kristalografinya. Dan sudut antara ketiga sumbu kristal sama dengan 90° atau $a=b=c$ dan $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$. Ada 7 sistem kristal dengan karakteristik geometrinya seperti pada tabel 2.4.

Tabel 2.4. SISTIM KRISTAL

SISTIM	SUMBU	SUDUT
Cubic	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Tetragonal	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Orthorombic	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Rhombohedral	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$
Hexagonal	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ \gamma = 120^\circ$
Monoclinic	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$
Triclinic	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$

2.2.2.4. Struktur Kristal

Struktur kristal yang merupakan dasar dari seluruh sistim kristal adalah kubus dan heksagonal. Kristal kubus terdiri dari tiga bentuk kisi yaitu Kubus sedefiana, kubus pusat badan (*Body Centerd Cubic* = BCC) dan kubus pusat muka (*Face Centerd Cubic*).

Suatu kisi adalah adalah pola yang berulang dalam tiga dimensi yang terbentuk dalam kristal. Sebagian besar logam memiliki kisi kubus pusat muka (*Body Centerd Cubic* = BCC) dan kubus pusat muka (*Face Centerd Cubic*).

2.2.2.5. Arah dan Bidang Kristal

Suatu kristal mempunyai arah dan bidang. Sifat kristal akan tergantung pada arah dan bidangnya. Sebagai contoh dapat disebutkan bahwa modulus elastisitas besi dalam arah diagonal ruang lebih besar dari pada modulus elastisitas dalam arah rusuk kubus. Sebaliknya permeabilitas magnet dari besi memiliki nilai terbesar dalam arah sejajar dengan rusuk sel satuan. Selain dari pada itu bidang kristal yang berubah arah karena adanya gaya luar yang dikenakan pada logam juga akan mempengaruhi sifat dan perilaku bahan seperti sifat kemagnetan, titik luluh, dsb.

2.3. Korosi

Korosi *Aqueous* (basah) akibat adanya perbedaan potensial pada antar muka, maupun secara struktur mikro logam dan logam tersebut berada didalam cairan elektrolit sehingga terjadi reaksi elektrokimia.

Perbedaan potensial disebabkan oleh beberapa factor antara lain :

1. Dua pasangan logam yang berbeda secara komposisi kimia seperti *Stainless Steel* dengan *Carbon Steel*.
2. Perbedaan temperatur (panas dan dingin)
3. Adanya tegangan sisa (*Residual stress*)
4. Perbedaan potensial antar unsur senyawa dalam paduan logam.

Logam yang memiliki potensial yang lebih negatif, disatu pihak akan larut kedalam elektrolit, disini dikatakan bahwa logam tersebut bertindak sebagai anoda dimana reaksi oksidasi atau ionisasi dari logam terjadi, sehingga logam larut kedalam elektrolit dalam bentuk ionnya.

Dipihak lain logam yang lebih mulia akan bertindak sebagai katoda, dimana yang terjadi dipermukaannya adalah reaksi reduksi yang dapat menghasilkan evolusi hidrogen atau pengendapan dari suatu unsur dipermukaan katoda.

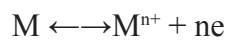
Mekanisme dan macam-macam bentuk korosi

Menurut jenis reaksinya korosi dapat digolongkan sebagai *Chemichal* dan *Electrical corrosion*. *Chemical corrosion* yaitu korosi yang terjadi dengan reaksi kimia secara murni, yang terjadi tanpa ikut sertanya elektronik. Ini biasanya terjadi pada temperatur tinggi atau dalam keadaan kering, seperti misalnya korosi pada katup motor bakar. *Electrochemical corrosion* terjadi bila reaksinya berlangsung dengan

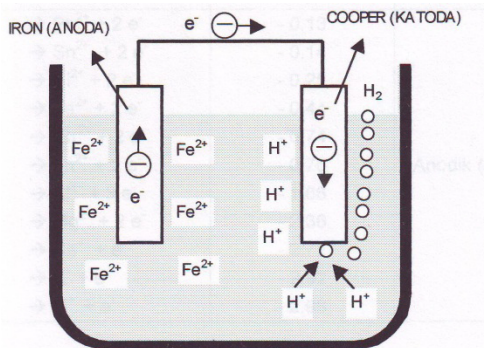
suatu elektrolit, cairan yang mengandung ion-ion.

Reaksi ini berlangsung dengan adanya air/uap air. Reaksi semacam inilah yang paling banyak terjadi pada reaksi korosi.

Bila sepotong logam dicelupkan ke dalam larutan elektrolit, maka beberapa atom logam akan larut ke dalam elektrolit dengan melepaskan sejumlah elektron :



Reaksi oksidasi ini segera mencapai keseimbangan, yaitu bila laju pembentukan ion logam + elektron sama dengan laju pembentukan logam dari larutan. Pada keadaan ini potongan logam itu kelebihan sejumlah elektron sehingga bermuatan listrik. Besarnya muatan listrik ini dinamakan elektrode potensial dari logam itu.



Gambar 2.14. Reaksi elektrode Iron - Cooper

Besarnya elektrode potensial ini tergantung pada *chemical activity* dari logamnya dan jenis elektrolitnya. Besarnya elektrode potensial menyatakan besarnya kecenderungan logam untuk larut/terkorosi dalam elektrolit tadi.

Mengukur besarnya elektrode potensial dari satu elektrode (logam) tidaklah mungkin. Maka untuk mengukur

besarnya elektrode potensial suatu logam dilakukan pengukuran besarnya elektrode potensial antara logam itu dengan suatu elektrode standar biasanya hydrogen dalam suatu elektrolit tertentu.

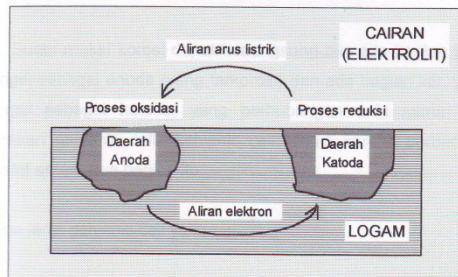
Metal Reaction	Electrode Potensial E_o (V)	Note
Au \rightarrow Au ³⁺ + 3 e ⁻	+ 1.50	Katodik (mulia)
2 H ₂ O \rightarrow O ₂ + 4 H ⁺ + 4 e ⁻	+ 1.23	
Pt \rightarrow Pt ⁴⁺ + 4 e ⁻	+ 1.20	
Ag \rightarrow Ag ⁺ + e ⁻	+ 0.80	
Fe ²⁺ \rightarrow Fe ³⁺ + e ⁻	+ 0.77	
4(OH) ⁻ \rightarrow O ₂ + 2 H ₂ O + 4e ⁻	+ 0.40	
Cu \rightarrow Cu ²⁺ + 2e ⁻	+ 0.34	
H ₂ \rightarrow 2H ⁺ + 2 e ⁻	0.000	Refence
Pb \rightarrow Pb ²⁺ + 2 e ⁻	-0.13	Anodik (aktif)
Sn \rightarrow Sn ²⁺ + 2 e ⁻	-0.14	
Ni \rightarrow Ni ²⁺ + 2 e ⁻	-0.25	
Fe \rightarrow Fe ²⁺ + 2 e ⁻	-0.44	
Cr \rightarrow Cr ²⁺ + 2 e ⁻	-0.74	
Zn \rightarrow Zn ²⁺ + 2 e ⁻	-0.76	
Al \rightarrow Al ³⁺ + 3 e ⁻	-1.66	
Mg \rightarrow Mg ²⁺ + 2 e ⁻	-2.36	
Na \rightarrow Na ⁺ + e ⁻	-2.71	
K \rightarrow K ⁺ + e ⁻	-2.92	
Li \rightarrow Li ⁺ + e ⁻	-2.96	

Tabel 2.5 Standart elektrode potensial

Dalam hal ini hydrogen dianggap mempunyai elektrode potensial nol. Pada tabel 2.5 dapat dilihat harga elektrode potensial dari beberapa logam. Logam dengan elektrode potensial yang lebih negatif berarti lebih mudah terkorosi, yang lebih positif lebih mulia, tidak terkorosi.

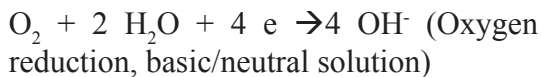
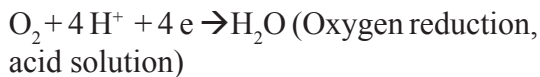
Bila elektron yang terkumpul pada potongan logam tadi dapat mengalir ke suatu tempat lain, maka keseimbangan akan terganggu, dan reaksi akan berlanjut ke kanan yaitu makin banyak atom logam yang larut menjadi ion logam dan makin banyak elektron yang disalurkan ke tempat lain itu. Dalam hal ini logam tempat terjadinya reaksi oksidasi di atas akan berfungsi sebagai anoda, reaksi yang terjadi di anoda dinamakan reaksi anodik. Elektron yang dihasilkan di anoda dialirkan ke tempat lain yaitu katoda.

Katoda ini dapat berupa logam lain yang dihubungkan dengan potongan logam anoda, atau bagian lain dari potongan logam yang di celupkan ke dalam elektrolit tadi (gambar 2.15)



Gambar 2.15. skematik ilustrasi korosi logam

Pada katoda akan terjadi reaksi katodik yang mengkonsumsi elektron yang mengalir dari anoda. Reaksi katodik yang sering terjadi adalah salah satu atau beberapa dari reaksi.



Bila pada katoda terjadi *Hydrogen evolution* dan *oxygen reduction*, maka jumlah elektron yang dikonsumsi akan makin banyak, makin banyak juga elektron yang harus dihasilkan di anoda, berarti makin banyak atom logam yang menjadi ion, laju korosi makin tinggi. Korosi akan makin hebat bila elektrolit juga mengandung sejumlah oksigen terlarut. Sebaliknya bila salah satu reaksi (anodik atau katodik) dapat dihambat, maka reaksi korosi secara keseluruhan juga akan terhambat.

Suatu reaksi korosi dapat berlangsung bila ada bagian yang berfungsi sebagai anoda (yang terkorosi) dan ada bagian lain yang berfungsi sebagai

katoda, yang berhubungan satu sama lain, dinamakan *galvanic cell*. *Galvanic cell* terjadi karena perbedaan potensial antara dua bagian itu.

Ada tiga jenis galvanic cell yaitu :

1. *Composition cell*

Composition cell dapat terjadi antara dua logam yang berbeda, karena setiap logam memiliki elektroda potensial yang berbeda (tabel 2.5). Logam dengan elektroda potensial yang lebih positif (lebih mulia) akan menjadi katoda dan yang lebih negatif akan menjadi anoda. Lebih besar perbedaannya lebih besar juga laju korosi yang akan terjadi.

Perbedaannya potensial juga dapat terjadi dalam satu logam/paduan. Ini dapat terjadi karena/pada :

- Adanya *impurity* pada struktur mikro, yang biasanya terkumpul pada batas butir kristal.
- Adanya perbedaan orientasi butir kristal
- Adanya perbedaan komposisi dalam suatu butiran kristal
- Adanya lebih dari satu fase

2. *Concentration cell*

Concentration cell yaitu sel galvanik yang terjadi karena salah satu bagian logam berada dalam satu elektrolit dengan konsentrasi yang berbeda.

3. *Stress cell*

Stress cell terjadi karena adanya bagian yang mengalami tegangan yang berbeda dengan bagian lain. Misalnya akibat deformasi dingin, atau karena perlakuan panas.

Dilihat dari bentuknya korosi dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok, yaitu :

- a) *Uniform corrosion* yaitu korosi yang terjadi pada seluruh permukaan logam/ paduan yang bersentuhan dengan elektrolit.
- b) *Galvanic corrosion* terjadi bila dua logam yang berbeda berada dalam satu elektrolit
- c) *Crevice corrosion* t e r j a d i pada celah-celah yng sempit. Pada celah terjadi konsentrasi sel, sehingga terjadi korosi.
- d) *Pitting corrosion* merupakan korosi yang terlokalisir pada suatu atau beberapa titik yang mengakibatkan terjadinya lubang kecil yang dalam.
- e) *Intergranular corrosion* korosi yang terjadi pada batas butir.
- f) Batas butir sering kali merupakan tempat mengumpulnya impurity atau suatu presipitat, juga merupakan daerah yang lebih tegang.
- g) *Selection leaching* yaitu larutnya salahsatu komponen saja dari suatu paduan, dan ini menyebabkan paduan yang tersisa akan menjadi berpori dan kekuatannya akan banyak berkurang
- h) *Erosion corrosion* korosiyang dipercepat oleh adanya erosi yang ditimbulkan oleh gerakan cairan.
- i) *Stress corrosion* yaitu korosi yang timbul sebagai akibat bekerjanya tegangan dan media yang korosif

Faktor yang mempengaruhi korosi :

1. Jenis dan konsentrasi elektrolit. Tidak semua elektrolit akan berpengaruh sama terhadap suatu logam/paduan.
2. Adanya oksigen terlarut pada elektrolit
3. Temperatur yang makin tinggi
4. Kecepatan aliran/gerakan elektrolit yang makin tinggi juga akan mempercepat kerusakan akibat korosi. Tetapi perlu diingat bahwa pitting dan crevice corrosion justru terjadi pada elektrolit yang tidak mengalir.
5. Jenis logam/paduan

2.4. Metalografi

Metalografi adalah suatu metoda pengamatan struktur mikro dari suatu logam melalui beberapa prosedur yang sudah baku, seperti pemilihan sample, penggerindaan, pemolesan, pengetsa-an, dan pembuatan foto dengan menggunakan mikroskop. Setiao tahapan harus dilakukan dengan sempurna dn hati-hati, oleh karena tanpa itu maka pengamatan yang dilakukan tidak dapat sempurna pula.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Metoda penelitian yang akan dilakukan adalah :

- a) Merumuskan permasalahan dan batasan masalah
- b) Melakukan persiapan contoh yang akan dicold-working
- c) Melakukan cold work material stainless steel type 304, 304L, 316, dan 316L dengan cara rolling/bending
- d) Melakukan pengamatan terhadap perubahan yang terjadi, apakah sudah terdapat perbedaan antara material asli dan yang sudah dilakukan cold working, di dalam langkah ini dilakukan uji kemagnetan.
- e) Melakukan penyiapan spesimen untuk dilakukan pengujian dari kedua material yang meliputi penyiapan

- specimen untuk struktur mikro, korosi, komposisi, tarik dan kekerasan.
- f) Melakukan evaluasi hasil uji
- g) Melakukan perhitungan terhadap perbedaan struktur kristal antara Austenit (Struktur kristal FCC = *Face Centerd Cubic*) dengan Martensit (Struktur kristal BCT = *Base Centered Tetragonal*)
- h) Pengambilan kesimpulan

4. PERCOBAAN DAN ANALISA HASIL

4.1. Percobaan Pengerjaan Dingin (*Cold Working*)

Percobaan yang dilakukan adalah pengerjaan dingin dengan melakukan bending terhadap material Stainless Steel Type 304, 304L, 316 dan 316L dengan ketebalan 10 mm.

Sebelum melakukan bending terhadap material dipastikan sifat kemagnetan dari masing-masing material yang akan diuji.

Stanless Steel	Hasul Uji
Type 304	Non Magnetic
Type 304L	Non Magnetic
Type 316	Non Magnetic
Type 316L	Non Magnetic

Tabel 4.1 Hasil Uji Sifat Kemagnetan

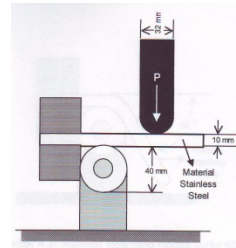
Material yan sudah diuji masing-masing dipotong lebar 10 mm dengan panjang 250 mm untuk kemudian dibending. Dalam melakukan bending selalu diamati terhadap setiap perubahan yang terjadi, terutama sifat kemagnetannya.

Percobaan ini dilakukan dengan menggunakan Universal Testing Machine

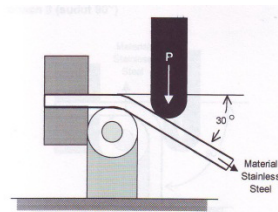
merk TORSEE tipe RL-30-S kapasitas 30.000 kgf, milik Laboratorium Pengujian Mekanik PT.Petrokimia Gresik.

Pengerjaan dingin (bending) yang dilakukan ada 4 tahapan dengan sudu yang berbeda yaitu mulai 30° , 60° , 90° dan 180°.

4.1.1. Percobaan 1 (sudut 30°)

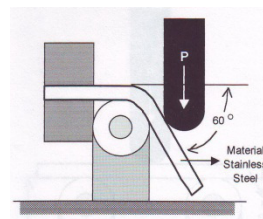


Gambar 4.1. Kondisi awal untuk percobaan 1,2 dan 3



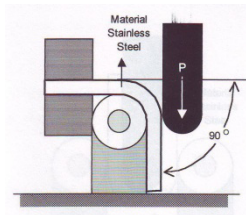
Gambar 4.2 Material dibending hingga sudut 30°

4.1.2. Percobaan 2 (sudut 60°)



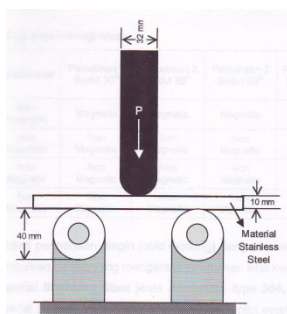
Gambar 4.3 Material dibending hingga sudut 60°

4.1.3. Percobaan 3 (sudut 90°)

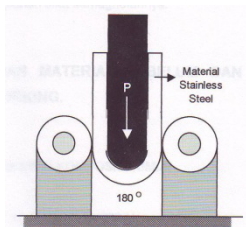


Gambar 4.4. Material dibending hingga sudut 90°

4.1.4. Percobaan 4 (sudut 180°)



Gambar 4.5 Kondisi awal untuk percobaan 4



Gambar 4.6. Material dibending hingga sudut 180°

Setelah dilakukan percobaan didapatkan hasil sebagai berikut :

Stainless Steel	awal	sudut 30°	sudut 60°	sudut 90°	sudut 180°
Type 304	NM	M	M	M	M
Type 304L	NM	NM	NM	NM	NM
Type 316	NM	NM	NM	NM	NM
Type 316L	NM	NM	NM	NM	NM

M=Magnetik, NM=Non Magnetic

Tabel 4.2. hasil uji sifat kemagnetan

Dari hasil pengerjaan dingin (cold working) dengan cara bending, dapat disimpulkan bahwa yang mengalami perubahan sifat kemagnetan adalah material **Stainless Steel jenis Austenitik type 304**, sehingga hanya material ini yang dilakukan penelitian lebih lanjut setelah terjadi perubahan sifat kemagnetannya.

Dari perubahan yang terjadi akan dilakukan pengujian-pengujian untuk mengetahui secara rinci perubahan sifat-sifat lain, sebagai akibat perubahan sifat kemagnetannya.

4.2. Pengujian Material Sebelum dan Sesudah di Cold Working.

4.2.1. Pengujian Komposisi Kimia

Hasil pengujian komposisi kimia :

	C (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Si (%)	Cr (%)	Ni (%)
NM1	0.078	1.76	0.035	0.024	0.66	18.53	8.93
NM2	0.073	1.68	0.041	0.028	0.71	18.60	8.45
NM3	0.077	1.80	0.036	0.027	0.69	18.49	8.42
Rata ²	0.076	1.75	0.037	0.026	0.69	18.54	8.42
M1	0.077	1.80	0.033	0.027	0.69	18.60	8.40
M2	0.070	1.79	0.040	0.029	0.70	18.55	8.44
M3	0.079	1.74	0.036	0.028	0.68	18.53	8.45
Rata ²	0.075	1.78	0.036	0.028	0.68	18.56	8.43

Keterangan :

NM = Mat'I SS type 304 Non Magnetic

M = mat'I SS type 304 Magnetic

Tabel 4.3. Tabel hasil uji komposisi

4.2.2. Pengujian Tarik

Hasil uji tarik :

INDENT OF SAMPLE	TS (kgf/mm ²)	YS (kgf/mm ²)	E %
NM 1	58.50	22.25	42.89
NM 2	58.02	22.40	41.15
NM 3	58.75	22.92	43.28
M 1	60.84	23.18	37.37
INDENT OF SAMPLE	TS (kgf/mm ²)	YS (kgf/mm ²)	E %
M 2	60.92	23.46	38.72
M 3	61.93	24.36	37.90

Keterangan :

NM : Stainless steel type 304 (Non Magnetic)

M : Stainless steel type 304 (Magnetic)

Tabel 4.4. Hasil uji tarik

4.2.3. Pengujian Kekerasan Brinell dan Rockwell

a. Hasil uji kekerasan Brinell :

INDENT OF SAMPLE	HARDNESS VALUE (BHN)	AVERAGE (BHN)
NM 1	182.22	
NM 2	184.40	183.35
NM 3	183.44	
M 1	308.17	
M 2	317.56	317.90
M 3	327.97	

Table 4.5. Hasil uji Hardness Brinell

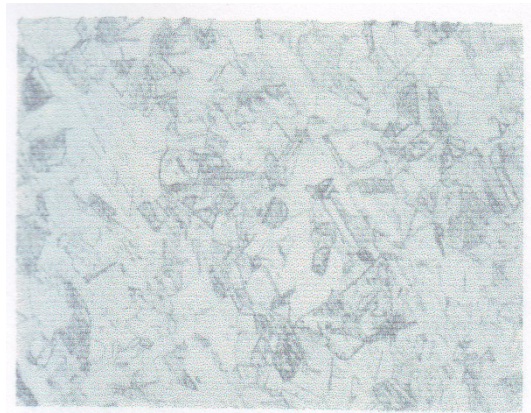
b. Hasil uji kekerasan Rockwell :

INDENT OF SAMPLE	HARDNESS VALUE (BHN)	AVERAGE (BHN)
NM 1	90.5	
NM 2	91.0	90.6
NM 3	90.3	
M 1	108.5	
M 2	107.4	107.8
M 3	107.5	

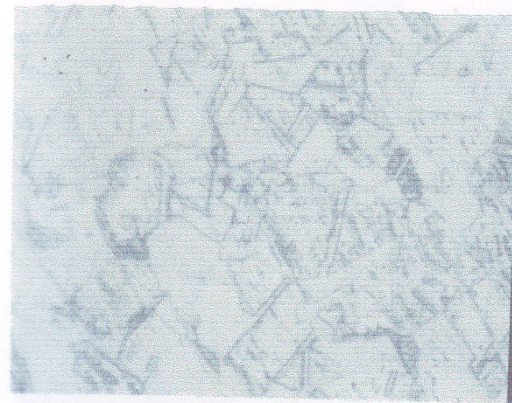
Tabel 4.6. Hasil uji Hardness Rockwell B.

4.2.4. Metalografi

Hasil metalografi :



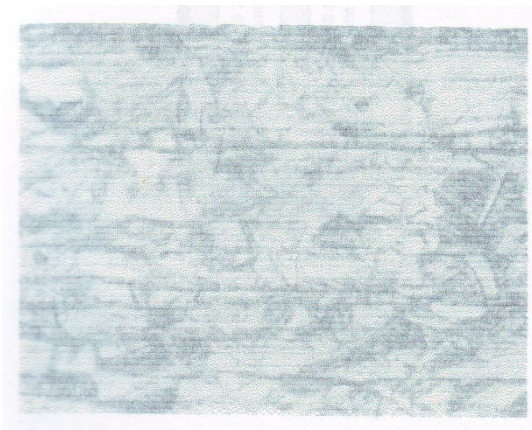
Gambar 4.9. Hasil photo material SS type 304 pembesaran 200 kali



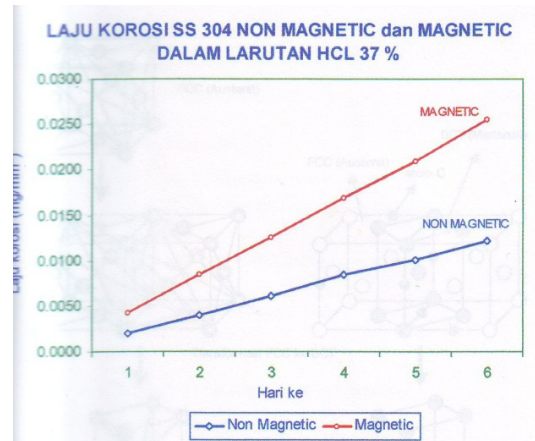
Gambar 4.10. Hasil photo material SS type 304 pembesaran 400 kali



Gambar 4.11. Hasil photo material SS type 304 pembesaran 200 kali



Gambar 4.12. Hasil photo material SS type 304 pembesaran 200 kali



Gambar 4.14. Laju korosi

4.2.5. Percobaan Korosi

Percobaan korosi dilakukan untuk melihat perbedaan yang nyata dari perubahan sifat dari stainless steel type 304 akibat pengerjaan dingin (cold work). Karena material ini banyak dipergunakan karena sifat tahan korosinya yang baik.

Percobaan yang dilakukan adalah dengan cara meletakkan specimen uji kedalam larutan asam yang diputar dengan magnetic stirrer dengan tujuan untuk memperkaya oksigen. Larutan yang dipergunakan adalah HCl (Asam Klorida) 37 %.

Hasil percobaan korosi :

No	Kode specimen	K ₁ 1 hari (gr/mm ²)	K ₂ 2 hari (gr/mm ²)	K ₃ 3 hari (gr/mm ²)	K ₄ 4 hari (gr/mm ²)	K ₅ 5 hari (gr/mm ²)	K ₆ 6 hari (gr/mm ²)
1.	NM 1	0.001947	0.003948	0.006137	0.008479	0.010094	0.012156
2.	M 1	0.004246	0.008424	0.012605	0.016868	0.02091	0.025461
		(mpy)	(mpy)	(mpy)	(mpy)	(mpy)	(mpy)
3.	NM 3	5.463078215	5.539283584	5.739675479	5.9474057	5.664429734	5.684638269
4.	M 3	11.19140998	11.8186675	11.78879305	11.831945	11.73418917	11.90663118

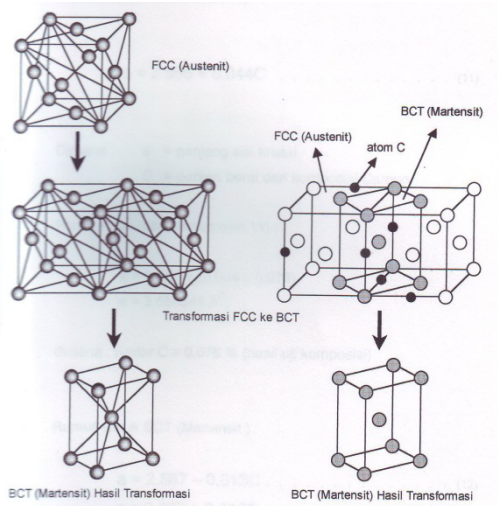
Tabel 4.7. Laju korosi.

4.3. Analisa Perhitungan Struktur Kristal

Perubahan yang terjadi pada sifat mekanik dan korosi adalah merupakan akibat dari perubahan struktur kristak pada material stainless steel type 304.

Perubahan struktur kristal yang terjadi adalah dari pengerjaan dingin (cold working).

Transformasi yang terjadi adalah berubahnya fasa austenit dengan struktur kristal FCC (Face Centered Cubic) menjadi fasa dengan struktur BCT (Body Centered Tetragonal) sebagai akibat dari terperangkapnya atom karbon.



Gambar 4.15. Model susunan atom pada transformasi FCC ke BCT

4.3.1. Penentuan jarak antar bidang (d)

Pada perhitungan ini sumber radiasi yang dipakai adalah sumber yang paling sering dipakai yaitu CuK α dengan panjang gelombang (λ) 1.5405 A $^\circ$

Untuk mendapatkan jarak antar bidang d (hkl) diperlukan data panjang sisi kristal a untuk BCC, a & c untuk BCT. Dari literature “*Element of X-Ray Diffraction*” diperoleh rumusan a dan c.

Rumus untuk FCC (Austenit)
 $a = 3.555 + 0.044 C .$

Dimana :
 a = panjang sisi kristal
 C = persen berat dari komposisi Carbon

Perhitungan (dari persamaan 11) :
 $a = 3.555 + (0.044 \times 0.076)$
 $a = 3.558344 A^\circ$

Dimana :
 kadar C = 0.076 % (hasil uji komposisi)

Rumus untuk BCT (Martensit)
 $a = 2.867 - 0.013C .$
 $c = 2.867 + 0.116C$

Dimana :
 a = panjang sisi kristal
 c = panjang sisi kristal
 C = persen berat dari komposisi Carbon

Perhitungan :
 $a = 2.867 - 0.013C$
 $a = 2.867 - (0.013 \times 0.075)$
 $a = 2.866025 A^\circ$

 $c = 2.867 + 0.116C$
 $c = 2.867 + (0.116 \times 0.075)$
 $c = 2.8757 A^\circ$

Dimana :
 kadar C=0.075 % (hasil uji komposisi), dengan mengetahui indeks Miller dan sel satuan maka jarak antar bidang dari sel satuan dapat dihitung.

Rumus untuk FCC (Face Centered Cubic) :
 $1/d^2 = h^2+k^2+l^2/a^2$

Hasil Perhitungan :

H	k	L	d
1	1	0	2.5161
2	0	0	1.7792
2	1	1	1.4527
2	2	0	1.2581
3	1	0	1.1252
2	2	2	1.0272
3	2	1	0.9510
4	0	0	0.8896
4	1	1	0.8387
3	3	0	0.8387
4	2	0	0.7957

Tabel 4.8. D_{hkl} untuk FCC (Austenit) Rumus untuk BCT (Body Centered Tetragonal)

$1/d^2 = (h^2+k^2)/a^2+l^2/c^2$

Hasil perhitungan :

h	k	l	d
1	1	0	2.0266
2	0	0	1.4330
2	1	1	1.1707
2	2	0	1.0133
3	1	0	0.9063
2	2	2	0.8283

Tabel 4.9. D_{hkl} untuk BCT (Martensit).

4.4. ANALISA HASIL

Dari data-data hasil pengujian dan uji laju korosi yang telah dilakukan, maka perlu dibandingkan data sebelum dan sesudah pengerjaan dingin.

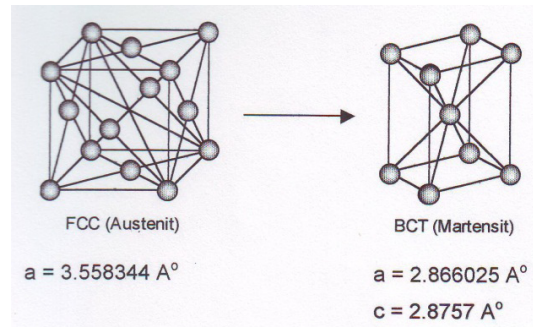
Parameter	Satuan	Spec SS 304	Hasil uji	
			NM	M
Komposisi Kimia				
C	%	0.80	0.076	0.075
Mn	%	2.0	1.75	1.76
P	%	0.045	0.037	0.036
S	%	0.045	0.026	0.028
Si	%	0.75	0.69	0.69
Cr	%	18-20	18.54	18.56
Ni	%	8-10.5	8.42	8.43
Tarik				
TS	Kg/mm ²	52.5	58.38	61.23
	MPa	515	572.57	600.48
YS	Kg/mm ²	20.9	22.52	23.67
	MPa	205	220.86	232.13
E	%	40	42.44	38.00
Kekerasan				
Brinell	BHN	202	183.35	317.9
Rockwell B	HRB	92	90.6	107.8

Tabel 4.10. Hasil uji dan spesifikasi

Dari data diatas terlihat komposisi kimia material setelah dilakukan perlakuan dingin tidak terjadi perubahan yang signifikan. Dari data uji tarik terlihat bahwa adanya kenaikan nilai Tensile strength dan Yield Strength serta penurunan Elongation. Adapun pada pengujian kekerasan terlihat bahwa terjadi perubahan yang sangat signifikan hasil uji setelah pengerjaan dingin menunjukkan bahwa material menjadi keras.

Pada percobaan laju korosi terlihat jelas bahwa laju korosi Material Stainless type 304 akibat cold working lebih tinggi.

Hal tersebut diakibatkan oleh telah berubahnya struktur kristal dari FCC (Face Centered Cubic) menjadi BCT (Base Center Tetragonal)



Gambar 4.16. perubahan struktur kristal dan panjang sisi kristal.

Dari perhitungan Struktur kristal terlihat jelas adanya perubahan tersebut. Terutama pada panjang sisi kristal $a = 3.558344 \text{ \AA}$ (untuk FCC) dan $a = 2.866025 \text{ \AA}$, $c = 2.8757 \text{ \AA}$ (untuk BCT). Perubahan ini diakibatkan oleh terjebaknya atom C, pada saat proses pengerjaan dingin.

No	H	k	l	Non Magnetic		Magnetic	
				d	2θ (A°)	d	2θ (A°)
1	1	1	0	2.5161	35.6517	2.0266	44.6764
2	2	0	0	1.7792	51.3068	1.4330	65.0278
3	2	1	1	1.4527	64.0412	1.1707	82.2854
4	2	2	0	1.2581	75.5047	1.0133	98.9541
5	3	1	0	1.1252	86.3952	0.9063	116.3947
6	2	2	2	1.0272	97.1548	0.8283	136.8514
7	3	2	1	0.9510	108.1783	-	-
8	4	0	0	0.8896	119.9603	-	-
9	4	1	1	0.8387	133.3793	-	-
10	3	3	0	0.8387	133.3793	-	-
11	4	2	0	0.7957	150.9563	-	-

Tabel 4.24. Perbandingan d_{hkl} dan 2θ .

Pada kedua material tersebut sudah berbeda, pada hkl yang sama terlihat perbedaan yang sangat signifikan dari jarak antar bidang (d_{hkl}) dan sudut pantulnya.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

5.1.1. Material Stainless Steel type 304 akan berubah sifatnya apabila mengalami deformasi akibat pengerjaan dingin setelah mengalami deformasi plastis, Perubahan yang terjadi antara lain :

- a) Struktur kristalnya dari FCC menjadi BCT
- b) Sifat kemagnetanya dari non magnetik menjadi magnetik
- c) Sifat mekanik (Tarik dan kekerasan) menjadi lebih keras dan lebih getas.
- d) Sifat ketahanan korosinya menurun drastis terutama dengan HCl.

5.1.2. Pengaruh banyaknya unsur carbon (C) dan Nickel (Ni) terhadap cold working pada Stainless steel adalah :

- a) Semakin kecil unsur Carbon (C), maka semakin kecil kemungkinan terjadi perubahan struktur kristal dari Face Centered Cubic (FCC) menjadi Body Centered Tetragonal.
- b) Semakin tinggi unsur Nickel (Ni), maka semakin kecil kemungkinan perubahan fasa austenitnya, karena unsur Nickel pada stainless steel berfungsi sebagai austenit stabilizer (Ni untuk stabilizer minimal 8 %)

5.2. Saran

- a) Sedapat mungkin hindari proses pengerjaan dingin (cold working) dan apabila terpaksa melakukan perlu

hati-hati, karena akan mengakibatkan perubahan sifat mekanik sehingga kekuatannya tidak sesuai lagi dengan yang diharapkan

- b) Apabila pada suatu instalasi, maka untuk daerah bengkok-an (elbow), sebaiknya digunakan material Stainless Steel type 304L atau type 316.
- c) Hindarkan pemakaian Stainless Steel type 304 pada lingkungan chlorida, karena material ini tidak tahan korosi pada lingkungan ini, terutama dengan HCl
- d) Untuk pembuatan konstruksi yang bertujuan untuk ketahanan korosi sebaiknya menggunakan material minimal Stainless Steel type 304L

DAFTAR PUSTAKA

- American Society for metal, *METAL HANDBOOK* ninth edition (Vol. 9 Metallography and microstruktur dan Vol. 10 X-Ray Diffraction), Ohio, 1978.
- ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS*, Philadelphia, USA, 1992
- Asosiasi Korosi Indonesia *INDOCOR, PELATIHAN AHLI KOROSI MADYA*, Jakarta, 1999.
- B.D. Cullity, *ELEMENTS OF X-RAY DIFFRACTION*, Indiana USA, 1977.
- Charles Barret and T.B Massalski, *STRUCTURE OF METALS*, 3rd revised edition, New York USA, 1980.
- Denny A. Jones, *PRINCIPLES AND PREVENTION OF CORROSION*, New York USA, 1991.
- Frank N Speller, D.Sc., *CORROSION CAUSES AND PREVENTION*, New York and London, 1951.
- Kenneth R. Trethewey, BSc., Ph.D, Cchem., MRSC, MICorr. ST, *CORROSION*, U.K. 1988.
- Tata Surdia Prof. Ir. MS. Met E. dan Shinroku saito, Prof. DR., *PENGETAHUAN BAHAN TEKNIK*, Jakarta , 1985.
- THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (ASTM)*, Section II dan IX, New Yoork, USA, 1982.
- Van Vlack, Prof., Sriati Djaprie, *ILMU DAN TEKNOLOGI BAHAN*, Jakarta, 1983.
- Wahid Suherman, Ir., *ILMU LOGAM*, Surabaya, 1987.
- Wahid Suherman, Ir., *PENGETAHUAN BAHAN*, Surabaya, 1987.