

ANALISIS SIFAT MEKANIS PENGARUH PROSES PENGELASAN BAJA TAHAN KARAT

Romli

Staf Edukatif Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya
Jl. Srijaya Negara Bukit Besar Palembang 30139
Telp: 0711-353414, Fax: 0711-453211

Abstrak

Salah satu tujuan terpenting dalam pengembangan material adalah menentukan apakah struktur dan sifat-sifat material optimum agar dapat tercapai daya tahan maksimum. Salah satu material yang banyak digunakan baja tahan karat. Baja tahan karat digolongkan ke dalam baja karbon. Baja karbon adalah paduan besi karbon dan di golongkan menjadi tiga macam, yaitu baja karbon rendah ($C < 0,20\%$), baja karbon menengah ($0,20 - 0,50\%$), dan baja karbon tinggi ($C > 0,5\%$). Kadar karbon yang rendah menyebabkan kekuatan tinggi, perpanjangan yang tinggi dan harga bentur serta mampu las yang baik. Baja tahan karat mempunyai sifat getas apabila diadakan perlakuan panas dan didinginkan dalam waktu singkat atau kejut. Titik cairnya kira-kira 1.500°C . Baja tahan karat adalah baja yang ditambah unsur-unsur paduan. Salah satu atau beberapa dari unsur-unsur paduan seperti mangan, moly, nikel dibubuhkan untuk memberikan sifat-sifat khusus dari baja tersebut. Dari hasil pengujian komposisi didapat 9,04 % Nikel, 70,23 % Ferrous, 1,97 % Mangan, 18,74 % Crom, stainless steel yang diuji termasuk ke dalam tipe SUS 304 (menurut standar JIS) dengan kekuatan tarik $609,06 \text{ N/mm}^2$. Dari hasil pengujian kekerasan, angka kekerasan Vickers yang paling tinggi adalah 181 HV, karena mendapat perlakuan proses pengelasan (di daerah logam las). Angka kekerasan Vickers yang sedang adalah 167 HV (di daerah logam las). Angka kekerasan Vickers yang paling rendah adalah 138 HV, karena tidak mendapat perlakuan proses pengelasan (di daerah logam induk).

Kata Kunci : Pengelasan, Kekerasan, Kekuatan Tarik

Abstract

One of the most important goals in the development of the material is to determine whether the structure and properties of materials in order to achieve optimum maximum durability. One of the widely used material stainless steel. Stainless steel has been classified as carbon steel. Carbon steel is an alloy of iron and carbon in classified into three types, namely low carbon steel ($C < 0.20\%$), medium carbon steel (0.20 to 0.50%), and high carbon steel ($C > 0.5\%$). Low carbon content causes high strength, high elongation and collide price and good weldability. Stainless steel has a brittle nature if there is a heat treated and cooled in a short time or a shock. Melting point of about 1500°C . Stainless steel is a steel alloy elements added. One or more of the alloying elements such as manganese, molly, nickel appended to give specific properties of the steel. From the test results obtained composition of 9.04% Nickel, Ferrous 70.23%, 1.97% manganese, 18.74% Crom, stainless steel tested belong to the type SUS 304 (according to JIS standard) with a tensile strength of 609.06 N/mm^2 . From the results of hardness testing, the Vickers hardness number is 181 HV higher, it gets treated the welding process (in the area of the weld metal). Vickers hardness numbers being is 167 HV (in the weld metal). Vickers hardness number of the lowest is 138 HV, because untreated welding process (in the parent metal).

Key words: Welding, Hardness, Tensile Strength

1. PENDAHULUAN

Pengembangan material sebagai komponen alat konstruksi dan perkakas khususnya pipa dan peralatan rumah tangga lainnya yang diusahakan untuk mencapai sifat-sifat yang lebih unggul, terutama keunggulan dalam penerapan di berbagai kondisi operasional. Salah satu tujuan terpenting dalam pengembangan material adalah menentukan apakah struktur dan sifat-sifat material optimum agar dapat tercapai daya tahan maksimum. Salah satu material yang banyak digunakan adalah baja tahan karat (*stainless steel*)

Baja tahan karat digolongkan ke dalam baja karbon. Baja karbon adalah paduan besi karbon dan digolongkan menjadi tiga macam, yaitu baja karbon rendah ($C < 0,20\%$), baja karbon menengah ($0,20 - 0,50\%$), dan baja karbon tinggi ($C > 0,5\%$). Kadar karbon yang rendah menyebabkan kekuatan tinggi, perpanjangan yang tinggi dan harga bentur serta mampu las yang baik. Baja tahan karat mempunyai sifat getas apabila diadakan perlakuan panas dan didinginkan dalam waktu singkat atau kejut. Titik cairnya kira-kira 1.500°C . Baja tahan karat adalah baja yang ditambah unsur-unsur paduan seperti mangan, moly, nikel dibubuhkan untuk memberikan sifat-sifat khusus dari baja tersebut.

Dalam kehidupan sehari-hari, banyak sekali dijumpai baja tahan karat (*stainless steel*) baik sebagai perabotan rumah tangga, maupun digunakan pada pabrik-pabrik. Untuk penggunaan dalam pabrik, biasanya *stainless steel* dipakai dalam bentuk pipa-pipa, yang dialiri zat-zat kimia berbahaya yang bertekanan tinggi. Untuk itulah kita perlu mengetahui kualitas baja tahan karat (*stainless steel*), dengan melakukan berbagai uji bahan antara lain uji komposisi (penentuan persen berat unsur-unsur) dalam hal ini alat yang digunakan x-ray spektograf, uji tarik, uji kekerasan dan yang tak kalah pentingnya yaitu uji metallography dengan menggunakan mikroskop dengan pembesaran 200X sampai dengan 400X, di ambil empat unsur yang paling dominan yang terdapat dalam material stainless steel yaitu ; besi (Fe), crom (Cr), nikel (Ni), molly (Mo). Bahan atau material untuk pipa dan alat-alat rumah tangga ketahanan terhadap korosi tergantung pada berapa besar komposisi unsur tambahan. Pada proses pengelasan umumnya terjadi perubahan struktur logam

yang diakibatkan oleh variabel suhu dan media pendingin, pada kondisi tertentu ada unsur kimia yang akan hilang akibat dari suhu yang tinggi untuk itu melalui penelitian ini ingin diketahui pengaruh proses pengelasan terhadap perubahan sifat mekanis baja tahan karat (*stainless steel*).

Dalam kaitannya dengan pengujian ini ada beberapa hal yang dapat menjadi rumusan masalah yaitu bagaimana pengaruh proses pengelasan terhadap sifat mekanis material baja tahan karat, terutama terhadap kekuatan dan kekerasan bahan baja tahan karat.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Baja terbuat dari besi dan karbon. Sebelum menjadi baja, bijih besi mula-mula dipanaskan. Inilah yang disebut proses melebur. Di pabrik, bijih besi ini dipanaskan bersama-sama dengan kokas (karbon dari batu bara). Lalu, terbentuklah besi berkarbon. Melalui proses tertentu, kandungan karbon dalam besi itu akan hilang. Maka terbentuklah baja. Seringkali kita melihat baja tampak kusam karena karat. Biasanya, karat terjadi karena udara lembab. Gara-gara karat, baja yang semula kuat menjadi rapuh dan mudah hancur

Namun ada pula baja tahan karat (*stainless steel*) adalah senyawa baja paduan yang mengandung setidaknya 10,5% kromium agar memiliki ketahanan yang tinggi untuk mencegah proses pengkaratan. Dibuat dengan memadukan unsur besi (Fe) sebagai unsur utama dan unsur tambahan nikel (Ni), krom (Cr), molybdenum (Mo) serta sedikit karbon (C). Karena itu, baja tahan karat (*stainless steel*) merupakan bahan yang memiliki daya tahan yang baik terhadap panas, karat dan goresan/ gesekan, juga memiliki kekuatan besar dengan massa yang kecil, keras, liat, densitasnya besar, permukaan tahan aus dan tahan temperatur rendah maupun tinggi.

Stainless steel terbagi menjadi tiga golongan yaitu austenitic, ferritic, dan martensitic yang kesemuanya itu dibedakan atas komposisi unsur-unsur yang membentuk stainless steel itu sendiri. Lebih lanjut ketiga jenis dari stainless steel itu dibuat lagi seri atau tipe, sehingga jenis logam tersebut lebih spesifik dan mudah untuk di bedakan. Berikut tabel dari berbagai tipe stainless steel yang digunakan menurut standar Jepang (JIS) :

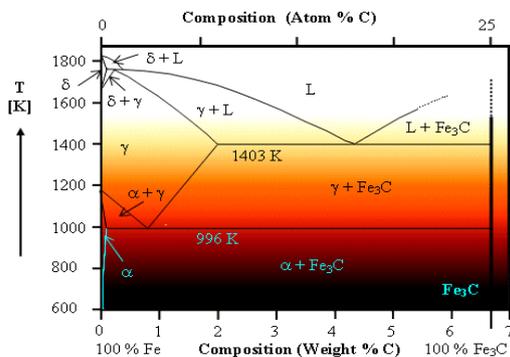
Tabel 1. Tipe Stainless Steel (standar JIS)

Tipe SUS	Ni	Cr	Mo	Sistem
SUS 304	8 %-10,5%	18%-20%	2%-3%	Austenit
SUS 329 J1	3%-6%	23%-28%	1%-3%	Ferrit
SUS 420 J1	<0,6%	12%-14%	2%-3%	Martensit

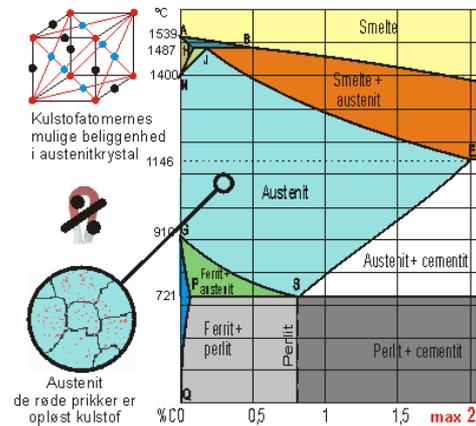
(Dikutip dari Annual book of JIS standar)

Meskipun seluruh kategori baja tahan karat (*stainless steel*) didasarkan pada kandungan krom (Cr), namun unsur paduan lainnya ditambahkan untuk memperbaiki sifat-sifat baja tahan karat (*stainless steel*) sesuai aplikasinya. Kategori baja tahan karat (*stainless steel*) tidak halnya seperti baja lain yang didasarkan pada persentase karbon tetapi didasarkan pada struktur metallurginya.

1000°C, masih memenuhi syarat. Pada pemanasan 800 – 900°C, baja mengalami korosi batas butir yang mengakibatkan kenaikan laju korosi pada penyimpanan dalam tanah. Pemanasan pada temperatur sampai 800°C kekerasan bahan menurun, pada 900 °C kekerasan naik dan pada 1000°C kekerasan menurun. (oleh : Dipo Nugroho)



Gambar 1: Diagram Fasa Fe-Fe₃C



Gambar 2: Austenit Place

A. Jenis-jenis Baja Tahan Karat

1. Austenitic Stainless steel

Austenitic Stainless steel mengandung sedikitnya 16% Chrom dan 6% Nickel (grade standar untuk 304), sampai ke grade Super Austenitic Stainless steel seperti 904L (dengan kadar Chrom dan Nickel lebih tinggi serta unsur tambahan Mo sampai 6%). Molybdenum (Mo), Titanium (Ti) atau Copper (Co) berfungsi untuk meningkatkan ketahanan terhadap temperatur serta korosi. Austenitic cocok juga untuk aplikasi temperatur rendah disebabkan unsur Nickel membuat *stainless steel* tidak menjadi rapuh pada temperatur rendah.

Dari penelitian ini diketahui pada pemanasan 600 – 700°C, kekuatan tarik baja meningkat, sedangkan pada pemanasan 800 – 900°C, kekuatan tarik baja menurun dan pada pemanasan 1000°C kekuatan tarik naik. Dari segi kekuatan tarik pada sistem transportasi, baja tahan karat yang mengalami perlakuan panas dari 600 -

2. Ferritic Stainless Steel

Kadar Chrom bervariasi antara 10,5 - 18 % seperti grade 430 dan 409. Ketahanan korosi tidak begitu istimewa dan relatif lebih sulit di fabrikasi/ *machining*. Tetapi kekurangan ini telah diperbaiki pada grade 434 dan 444 dan secara khusus pada grade 3Cr12. (oleh : Dipo Nugroho)

3. Martensitic Stainless Steel

Stainless steel jenis ini memiliki unsur utama Chrom (masih lebih sedikit jika dibanding *Ferritic Stainless steel*) dan kadar karbon relatif tinggi misal grade 410 dan 416. Grade 431 memiliki Chrom sampai 16% tetapi mikrostrukturnya masih *martensitic* disebabkan hanya memiliki Nickel 2%. Grade *Stainless steel* lain misalnya 17-4PH/ 630 memiliki *tensile strength* tertinggi dibanding *Stainless steel* lainnya. Kelebihan dari grade ini, jika dibutuhkan kekuatan yang lebih tinggi maka dapat di *hardening*. (oleh : Dipo Nugroho)

4. Duplex Stainless Steel

Duplex Stainless steel seperti 2304 dan 2205 (dua angka pertama menyatakan persentase Chrom dan dua angka terakhir menyatakan persentase Nickel) memiliki bentuk mikrostruktur campuran *austenitic* dan *Ferritic*. *Duplex ferritic-austenitic* memiliki kombinasi sifat tahan korosi dan temperatur relatif tinggi atau secara khusus tahan terhadap *Stress Corrosion Cracking*. Meskipun kemampuan *Stress Corrosion Cracking*-nya tidak sebaik *Ferritic Stainless steel* tetapi ketangguhannya jauh lebih baik dibanding *Ferritic Stainless Steel* dan lebih buruk dibanding *Austenitic Stainless Steel*. Sementara kekuatannya lebih baik dibanding *Austenitic Stainless steel* (yang di *annealing*) kira-kira 2 kali lipat. Sebagai tambahan, *Duplex Stainless steel* ketahanan korosinya sedikit lebih baik dibanding 304 dan 316 tetapi ketahanan terhadap *pitting corrosion* jauh lebih baik dibanding 316. Ketangguhannya *Duplex Stainless steel* akan menurun pada temperatur dibawah - 50°C dan diatas 300°C.

Baja tahan karat *duplex* apabila dipanaskan pada temperatur 650°C hingga 900°C dalam waktu yang lama dan laju pendinginan yang lambat. Menghasilkan fasa sigma yang akan menurunkan ketahanan korosi, menurunkan ketangguhan pada temperatur rendah, menurunkan keuletan dan meningkatkan kekerasan. Dalam penelitian ini baja tahan karat duplex 2205, dipanaskan dalam selang temperatur 700°C-750°C-850°C secara berulang-ulang hingga tiga kali pemanasan dengan waktu 1 jam dan 3 jam.

Setelah pemanasan selama 3 jam, jumlah fasa sigma yang terbentuk pada pemanasan 850°C adalah 23.3%, untuk 750°C adalah 12.4%, dan untuk 700°C adalah 5,12%. Setelah pemanasan selama 1 jam jumlah fasa sigma yang terbentuk pada 850°C adalah 19.3%, untuk 750°C sekitar 8,7% dan pada 700°C adalah 2.0%. Jumlah fasa sigma yang terbentuk lebih banyak di tnhilcan oleh naiknya temperatur dan bertambahnya waktu pemanasan di banding dengan siklus pemanasan. Kekerasan awal baja tahan karat duplex sebelum dipanaskan adalah 274 VHN dan telah mengalami deformasi

yang cukup besar. Kekerasan baja tahan karat Duplex meningkat setelah dipanaskan dan sebanding dengan jumlah fasa sigma yang terbentuk hasil pemanasan.

Kekerasan hasil pemanasan pada temperatur 850°C untuk waktu 3 jam adalah 504 VHN sedangkan untuk 750°C dan 700°C adalah 425 dan 384 VHN. Sigma yang sudah terbentuk pada saat pemanasan 700°C-750°C dan 850°C. Duplex setelah solution treatment memiliki harga kekerasan rata-rata 255 VHN (23HRC). Harga kekerasan setelah *solution treatment* ini lebih rendah dari kekerasan awal 25 HRC. (oleh : Dipo Nugroho dan Yusril Irwan, Institute Teknologi Bandung)

5. Precipitation Hardening Steel

Precipitation hardening stainless steel adalah *Stainless steel* yang keras dan kuat akibat dari dibentuknya suatu presipitat (endapan) dalam struktur mikro logam. Sehingga gerakan deformasi menjadi terhambat dan memperkuat material *Stainless steel*. Pembentukan ini disebabkan oleh penambahan unsur tembaga (Cu), Titanium (Ti), Niobium (Nb) dan alumunium. Proses penguatan umumnya terjadi pada saat dilakukan pengerjaan dingin (*cold work*). (oleh : Dipo Nugroho)

Pengaruh kandungan pada struktur baja tahan karat (*stainless steel*), Dalam aplikasi *Stainless Steel* selain dibutuhkan sebagai logam yang tahan terhadap korosi juga dibutuhkan sifat tambahan guna meningkatkan sifat mekaniknya.

Peningkatan sifat mekanik ini tergantung pada sejumlah unsur yang terkandung dalam paduan *Stainless Steel*. Berikut akan dijelaskan kegunaan unsur-unsur tambahan dalam *Stainless Steel* :

1. Kromium (Cr)

Kandungan yang memberikan pengaruh besar pada bahan khususnya bahan baja tahan karat (*stainless steel*) adalah unsur kromium. Unsur kromium berguna untuk membentuk lapisan pasif, ini bertujuan untuk mencegah/melindungi dari pengaruh suhu dan zat-zat kimia yang akan mengakibatkan korosi.

2. Nikel (Ni)

Unsur nikel (Ni) dalam bahan baja tahan karat (*stainless steel*) sebagai penstabil austenit, meningkatkan sifat

mekanik, maningkatkan ketahanan korosi pada lingkungan asam mineral.

3. Mangan (Mn)

Unsur mangan (Mn) tidak memberikan pengaruh yang besar pada struktur. Hanya membantu fungsi Nikel (Ni) untuk meningkatkan sifat mekanik dan meningkatkan ketahanan terhadap korosi pada lingkungan asam mineral.

4. Molybdenum (Mo)

Unsur Molybdenum (Mo) dalam bahan baja tahan karat (stainless steel) sebagai penstabil lapisan pasif dalam lingkungan yang mengandung banyak ion klorida (Cl), seperti lingkungan air laut (NaCl).

5. Nitrogen (N)

Unsur Nitrogen (N) membentuk duplex stainless steel dengan meningkatkan terbentuknya austenit, meningkatkan sifat mekanik Stainless Steel.

Sifat-sifat mekanis baja tahan karat (stainless steel) menunjukkan kecocokan sebagai bahan untuk bagian-bagian mesin. Sifat-sifat mekanis itu ialah kekuatan tarik, perpanjangan, tahan korosi, mampu las, tahan panas, kekerasan, kekuatan tekan, kekuatan bentur, kekuatan lentur, kekuatan leleh, tahanan aus, mampu mesin, sifat meredam getaran dan sebagainya. Berikut ini hanya sifat-sifat penting dari baja tahan karat yang akan di jelaskan :

1. Tahan Korosi

Baja tahan karat adalah baja yang diperbaiki tahanan korosinya dengan menambah nikel atau krom, dan ini akan memberikan ketahanan korosi, ketahanan panas dan ketahanan dingin yang baik sekali. Baja tahan karat dengan kandungan krom lebih dari harga tertentu mempunyai sifat pasif terhadap oksidasi dan bebas dari karat. Kandungan krom yang banyak cenderung untuk membuat sifat pasif, dan kebanyakan baja tahan karat mengandung krom lebih dari 12%

Selanjutnya apabila nikel ditambahkan, maka ketahanan korosi, keuletan pada temperatur rendah, mampu olah, dan mampu lasnya sangat baik. Baja tahan karat ini dapat digolongkan menjadi baja tahan karat martensit, austenit, dan ferit sesuai dengan struktur mikronya.

2. Tahan Panas

Umumnya baja ini dipakai untuk temperatur tinggi yaitu di atas 650°C.

Terdiri dari krom tinggi dan nikel tinggi sesuai dengan komposisi kimianya. Memiliki kekuatan yang sangat baik, kestabilan permukaan (tahan asam yang baik), kekuatan melar pada temperatur tinggi, tahanan yang tinggi terhadap kegetasan karena pengharbonan, tahan aus yang baik dan deformasi yang kecil.

Baja tahan karat adalah bahan yang mempunyai sifat mampu las dan mampu tempa. Memiliki mampu las yang baik karena memiliki kandungan unsur dominan seperti unsur nikel (Ni), chromium (Cr), dan molybdenum (Mo).

Pengujian komposisi digunakan untuk mengetahui persen berat unsur-unsur yang terkandung dalam suatu material. Salah satu alat yang digunakan untuk pengujian komposisi adalah X-Ray Spectograph.

Hasil pengujian komposisi menggunakan alat X-Ray Spektograph, maka didapat hasil unsur kimianya (diambil unsur dominan). Setelah mendapatkan nilai dari pengujian menggunakan alat X-Ray Spectrograph, kemudian dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus :

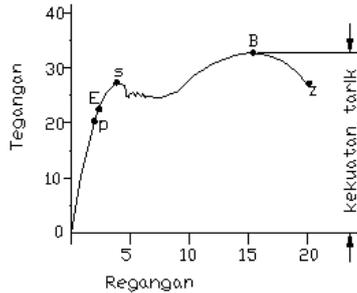
$$\text{Rata - rata} = \frac{\text{Jumlah dari 5 kali pengujian}}{5}$$

dan

$$\text{Conv} = \frac{\text{Hasil penjumlahan masing unsur}}{\text{Unsur yang akan dikonversikan}} \times 100\%$$

Setelah perhitungan persentase konversi didapat, kemudian lihat tabel standar material. Dalam pengujian ini penguji menggunakan tabel standar jepang.

Pengujian Tarik sangat memberikan pengaruh yang besar terhadap baja tahan karat. Semakin besar tingkat persentase karbon yang terdapat dalam material baja tahan karat (*stainless steel*), maka semakin tinggi tingkat kekuatannya. Batang uji tarik yang biasa dipakai merupakan sebuah batang yang bundar, dengan ujung-ujung yang tebal untuk pemasangan pada mesin tarik. Ditengah-tengah batangnya (bagian yang lebih kecil) terdapat bagian pengukuran yang sebenarnya, dimana panjang pengukurannya dinyatakan dengan dua tanda pengenalan. Batang-batang uji tarik dipasang pada sebuah alat tarik. Pada alat tarik itu, batang-batang uji tarik tersebut dengan perlahan-lahan ditarik sampai putus. Pada penarikan sampai putus ini kita catat gaya dengan mana batang itu ditarik dan perpanjangan yang diperoleh dari gaya tarik tersebut.



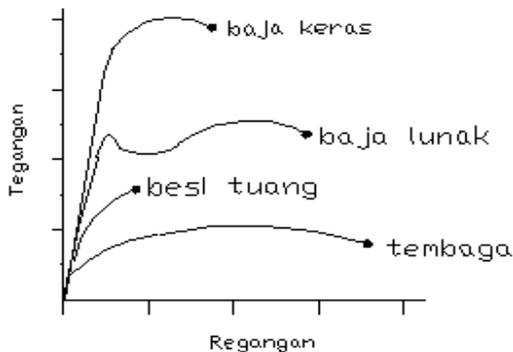
Gambar 3: Tegangan-Regangan pada percobaan tarik

$$\sigma = \frac{F_{max}}{A_0} \quad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (2)$$

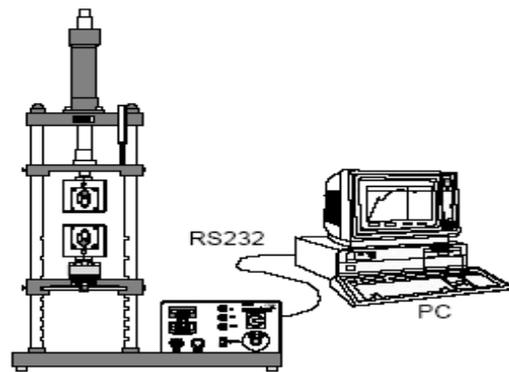
Keterangan :

- σ = tegangan tarik (N/mm²)
- F_{max} = beban maksimum pada waktu pengujian (N)
- A_0 = penampang semula (mm²)
- ε = regangan
- ΔL = perpanjangan absolute (mm)
- L_0 = panjang awal (mm)
- E = modulus elastisitas (N/mm²)



Gambar 4: Tegangan-regangan berbagai bahan

Salah satu alat yang digunakan untuk melakukan pengujian tarik adalah mesin Hydraulic Universal Material Tester dengan kapasitas 50 kN



Gambar 5: Alat uji tarik

Unsur karbon mempengaruhi tingkat kekerasan baja tahan karat (*stainless steel*). Semakin tinggi kadar karbon yang terdapat dalam material baja tahan karat (*stainless steel*), maka akan semakin keras. Pada penelitian ini pengujian kekerasan bahan yang digunakan adalah pengujian kekerasan Vickers.

Pengujian kekerasan Vickers ini menggunakan piramida intan sebagai indenter. Dasar piramida berbentuk bujur sangkar dan sudut antara dua bidang miring yang berhadapan 136°. Beban yang digunakan bervariasi antara 5 – 120 kg dengan interval 5 kg. Diagonal bekas penekanan (d) di ukur dengan mikroskop pengukuran.

Beban yang digunakan untuk menguji bahan tersebut adalah 10 kg. Hasil yang didapat dari pengujian, kemudian dilakukan perhitungan atau dengan melihat tabel Vickers. Rumus yang dapat digunakan adalah :

$$HV = 1,854 \frac{P}{d^2} \quad (kg/mm^2) \quad (3)$$

Keterangan :

- HV : Vickers hardness number (kg/mm²)
- P : Applied load (kg)
- d : Diagonal of indentation (mm)



Gambar 6: Azas pengukuran kekerasan menurut Vickers

Struktur kristal (*Metallography*)

Dalam pengujian ini, kualitas bahan ditentukan dengan mengamati struktur di

bawah mikroskop, disamping itu dapat pula mengamati cacat dan bagian yang tak teratur.

Dalam melakukan pengujian, alat yang digunakan mampu melakukan pembesaran minimal 100 mikron dan maksimal 400 mikron. Dalam pengujian ini menggunakan pembesaran 200 dan 400 mikron. Hasil data dari pengujian dengan menggunakan alat ini, dapat dilihat dengan memfoto menggunakan rol film khusus mikroskop.

Ada dua macam pengujian struktur kristal (*metallography*) yang biasa dilakukan yaitu pengujian makro dan pengujian mikro. Pengujian struktur makro dari kristal adalah pengujian patahan di mana bahan di nilai dari besar butir kristal, pengujian lainnya adalah pemeriksaan dengan jalan : struktur kristal, pemeriksaan cacat kecil setelah memolis patahan.

Pengujian struktur mikro dalam pengujian ini, kualitas bahan ditentukan dengan mengamati struktur di bawah mikroskop, disamping itu dapat pula mengamati cacat dan bagian yang tak teratur. Mikroskop yang digunakan adalah mikroskop cahaya.

Langkah-langkah pengujian struktur mikro, yaitu :

1. Pemilihan bahan/ spesimen.
2. Pemotongan bahan. Dalam pemotongan spesimen sedapat mungkin menghindari pemanasan berlebih karena dapat mengubah mikrostruktur, gunakan pendingin untuk menghindari pemanasan berlebih.
3. Pengamplasan. Untuk menghilangkan deformasi pada permukaan akibat pemotongan, selalu dialiri air untuk menghindari pemanasan berlebih. Grid yang biasa digunakan adalah 240 – 320 – 400 – 600 – 800 – (1000 – 1500 – 2000). Alat yang digunakan untuk melakukan pengamplasan adalah grinding metallography.

Pemolesan (*Polishing*).

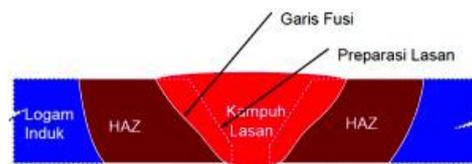
Polishing yaitu penyiapan kondisi permukaan untuk memperoleh tampilan bebas goresan seperti kaca, dilakukan pada kain poles yang berputar (yang diberi serbuk/ pasta poles intan atau alumina dan diberi sedikit air untuk mencegah pemanasan berlebih). Pemolesan kasar 45 – 1 mikron dan pemolesan halus 0,5 – 0,3 mikron, pemolesan dilakukan hingga permukaan spesimen bebas dari goresan, dalam pengujian ini menggunakan DP-Spray sebagai media untuk memperoleh tampilan bebas goresan.

Pengetsaan

Pengetsaan yaitu untuk memunculkan detail struktur mikro pada permukaan logam dari sebuah spesimen, pengetsaan dilakukan dengan cara mencelupkan spesimen kedalam wadah zat etsa dengan sedikit putaran pelan. Spesimen diangkat setelah tampak tanda-tanda buram pada permukaan logam, kemudian dibilas dengan aliran air dan dikeringkan dengan cepat.

Baja tahan karat (*stainless steel*) termasuk baja paduan tinggi yang tahan terhadap korosi, suhu tinggi dan suhu rendah. Pada Proses pengelasan Baja tahan karat, ada tiga daerah yang terkena pengaruh proses pengelasan, yaitu :

1. Daerah logam las (*weld metal*)
Daerah yang paling keras adalah daerah logam las, karena di daerah ini terjadi proses pengelasan kemudian dilakukan pendinginan secara kejut dengan menggunakan media pendinginnya adalah air.
2. Daerah HAZ (*Heat Affective Zone*)
Daerah HAZ adalah daerah batas antara logam las dengan logam induk. Kekerasannya masih dibawah dari daerah logam las
3. Daerah logam induk (*base metal*)
Daerah logam induk adalah daerah yang paling lunak, karena daerah ini tidak terkena dampak panas yang lebih dari proses pengelasan.



Gambar 7: Daerah lasan

Disamping itu, baja ini mempunyai ketangguhan dan sifat mampu potong yang cukup. pada pengelasan baja tahan karat seperti baja tahan karat martensit, baja tahan karat ferrit dan austenit. Baja tahan karat martensit dapat di las dengan elektroda berbahan martensit. Dalam hal ketahanan korosi yang diutamakan, maka elektroda yang di pilih berbahan martensit.

Kesulitan utama pada pengelasan baja tahan karat martensit adalah penghindaran retak. Retak yang diakibatkan oleh kekerasan martensit yang tinggi pada HAZ (daerah pengaruh panas), logam las, dan di dukung oleh adanya hidrogen. Prosedur las harus memperhatikan sumber-sumber hidrogen, seperti : kelembaman, kotoran, gemuk dan lain-lain, juga

pemanasan mula yang cocok harus diberikan. Penemperan atau anil setelah pengelasan harus dilaksanakan sebelum bagian yang dilas mendingin. Pemanasan mula yang diberikan tergantung pada kadar karbon dari logam induk.

Tabel 3. Tingkat Pemanasan Mula Untuk Pengelasan Baja Tahan Karat Martensit

Kandungan karbon (%)	Pemanasan mula
<0,10	Pemanasan mula dan akhir umumnya tidak diperlukan
0,10 – 0,20	Didinginkan perlahan
0,20 – 0,50	Dianil segera setelah pengelasan
>0,50	Masukan panas tinggi, dianil segera setelah pengelasan

Pada umumnya, PWHT (*Post Weld Heat Treatment*) diperlukan segera setelah pengelasan. Suatu "full-anneal" melibatkan pemanasan minimum 850°C dan diikuti oleh "pendinginan tungku" sampai suhu 625°C dan dilanjutkan dengan "pendinginan udara". Perlakuan seperti ini akan memberikan pelunakan maksimum. Prosedur yang lebih umum lagi adalah penemperan atau anil sub-kritis, yaitu pemanasan pada 650°C selama 1 jam untuk tiap ketebalan 1 inci dan di ikuti oleh pendinginan udara.

Pada umumnya baja tahan karat ferrit tidak mengalami perubahan fasa bila dipanaskan, sehingga tidak ada rekristalisasi butir. Akibatnya, butir-butir akan terus tumbuh sejalan dengan temperatur atau besarnya masukan panas. Butir yang menjadi kasar ini akibatnya turunan ketangguhan dan keuletan. Pengetasan biasanya terjadi pada pendinginan lambat dari 600°C ke 400°C

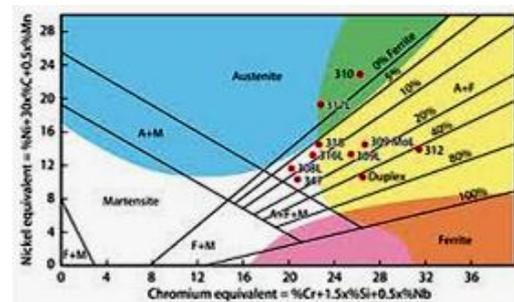
Temperatur pemanasan mula haruslah diatas temperatur transisi getas-ulet. Umumnya, pemanasan mula diberikan sebesar 150°C. Pemanasan antara (*interpass heating*) yang tinggi hendaknya dihindari, karena mempunyai kontribusi pada pengkasaran butir.

Pengelasan baja tahan karat ferrit memerlukan pengawasan yang ketat terhadap prosedur pengelasan untuk menghindari kontaminasi dari oksigen, karbon, nitrogen dan hidrogen. Bahkan, sejumlah unsur-unsur di atas dapat menyebabkan pengetasan pada logam las dan HAZ.

Baja tahan karat austenit mempunya sifat mampu las yang lebih baik dibandingkan jenis ferrit dan martensit. Baja

tahan karat austenit tidak peka terhadap retak akibat hidrogen. Pada pendinginan lambat dari 680°C ke 480°C akan terbentuk krom yang mengendap diantara butir, sehingga disekitarnya menjadi kekurangan krom dan berakibat menurunnya sifat tahan karat atau disebut sensitisasi.

Sifat mekanik dan sifat tahan karat dari logam sangat dipengaruhi oleh komposisi kimia dan strukturnya. Hubungan antara komposisi kimia dalam bentuk ekuivalen nikel (Ni) dan crom (Cr) serta struktur mikro yang terjadi ditunjukkan oleh diagram schaeffler. Sebaiknya diusahakan berada pada daerah aman



Gambar 8: Diagram schaeffler untuk pengelasan baja tahan karat.

Ada beberapa cara, agar pengelasan baja tahan karat austenit dapat terhindar dari cacat :

- Jangan dilakukan pemanasan mula, tetapi hindari masukan panas yang tinggi, sehingga pengendapan karbida krom pada batas butir dapat dihindari atau sensitasi.
- Sebaiknya digunakan elektroda dengan kadar dari unsur niobium (Nb), titanium (Ti) dan Carbon (C) yang rendah, karena unsur-unsur ini akan menyebabkan pengerasan pada batas butir atau mudah retak.
- Pilih elektroda yang menghasilkan struktur logam las pada daerah aman dalam diagram schaeffler.
- Hindari/ kurangi unsur-unsur dengan titik leleh rendah, seperti sulfur.

3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

Adapun tujuan yang diharapkan dalam penelitian ini adalah :

- Untuk mengetahui perubahan kekerasan pada setiap siklus perlakuan panas akibat pengelasan pada baja tahan karat.
- Membantu industri dalam pemilihan bahan untuk pembuatan alat-alat rumah

tangga dan pipa, sebagai bahan acuan yang aman untuk dipergunakan dalam kondisi berbagai suhu udara dan zat-zat kimia yang bertekanan tinggi.

3. Untuk menyelidiki perubahan sifat mekanis melalui pengujian kekerasan dan struktur kristal bahan baja tahan karat yang diakibatkan proses pengelasan.

Adapun manfaat dari hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan acuan dalam pemilihan bahan terutama untuk industri pengolahan alat-alat rumah tangga dan pipa yang dipergunakan dalam konstruksi pabrik, sehingga dengan adanya pengujian material baja tahan karat (*stainless steel*), dapat membantu dunia industri dalam memilih jenis material baja tahan karat (*stainless steel*) yang sesuai dengan keperluan.

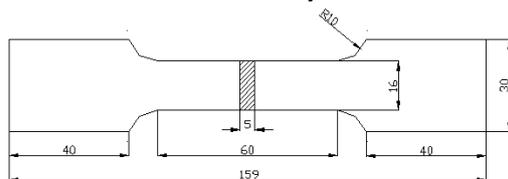
4. METODE PENELITIAN

Metodologi yang diaplikasikan pada program penelitian ini melalui tahapan antara lain :

4.1 Pembuatan spesimen uji

Persiapan yang dilakukan untuk pembuatan spesimen uji dilakukan berdasarkan jenis pengujian, tahapan-tahapan pembuatan spesimen uji adalah sebagai berikut :

1. Uji tarik
 - Pemotongan benda dengan ukuran yang sesuai
 - Pembentukan benda uji



Gambar 9: Spesimen uji tarik

2. Uji Komposisi
 - Pemotongan benda dengan ukuran panjang 40 mm dan lebar 30 mm.
 - Penghalusan benda dengan mengamplas bagian yang akan dilakukan pengujian komposisi.
3. Uji Kekerasan
 - Pemotongan benda dengan ukuran panjang 40 mm dan lebar 30 mm.
4. Uji *Metallography*
 - Pemotongan benda dengan ukuran panjang 40 mm dan lebar 30 mm.
 - Pengamplasan benda.
 - Mempolishing benda uji.
 - Pengetsaan benda uji.

- Melihat dan memphoto benda uji dengan menggunakan mikroskop.



Gambar 10: Spesimen Uji *Metallography*

4.2 Pengujian.

Yaitu menguji hasil hipotesa mengenai bahan yang akan/ telah disambung melalui proses pengelasan, adapun tahap-tahap pengujian meliputi :

- Pengujian Komposisi Bahan
 - Yaitu melakukan pengujian terhadap prosentase unsur-unsur yang ada di dalam material dan bahan tambah
- Pengujian Kekuatan Tarik
 - Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui deformasi plastis yang terjadi pada material
- Pengujian Kekerasan Permukaan
 - Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan data mengenai perubahan kekerasan permukaan untuk tiap-tiap bahan uji
- Pengujian Struktur Mikro
 - Pengujian ini dilakukan dengan mengamati struktur bahan baik yang belum disambung las dan yang telah mengalami proses pengelasan.

4.3 Analisa Data Hasil Pengujian

Yaitu tahapan dimana data hasil pengujian diolah dan dianalisa seberapa besar pengaruh proses pengelasan terhadap sifat mekanis material.

5 HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengujian Komposisi

Pengujian komposisi dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur kimia yang terdapat dalam benda/material yang akan di uji. Dalam pengujian ini alat yang digunakan adalah X-Ray Spektograph. Hasil pengujian komposisi bahan seperti pada tabel berikut :

Tabel 4. Hasil Pengujian Material *Stainless Steel*

Spesimen	Ni	Fe	Mn	Cr
1.	9.05	70.15	2.01	18.79
2.	8.96	70.37	1.93	18.74
3.	9.14	70.18	1.99	18.69
4.	9.01	70.26	1.97	18.76
5.	9.11	70.19	1.96	18.74
6.	9.06	70.20	2.03	18.71
7.	8.98	70.29	2.00	18.73
8.	9.13	70.31	1.98	18.67
9.	9.04	70.13	1.96	18.79
10.	9.13	70.41	2.04	18.58
Rata-rata	9.06	70.25	1.99	18.72

Dari hasil uji komposisi dibandingkan dengan tabel material standar yang tersedia, komposisi bahan yang di uji tersebut termasuk ke dalam jenis standar SUS 304 (standar JIS). Adapun komposisi standar SUS 304, seperti pada tabel 5.

Tabel 5. Tipe Material Standar Jepang (JIS)

Tipe material	Ni (%)	Mn (%)	Cr (%)
SUS 304	8,00 - 10,50	2,00 max	18,00 - 20,00

Selain komposisi bahan inti/ induk, perlu diketahui juga komposisi bahan tambah (elektroda). Komposisi bahan tambah yang digunakan pada proses pengelasan adalah seperti pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Kawat Las

Spesimen	Ni (%)	Fe (%)	Mn (%)	Cu (%)	Cr (%)
1.	10.59	67.55	2.23	0.68	18.93
2.	10.59	67.54	2.21	0.67	18.97
3.	10.61	67.49	2.24	0.71	18.95
4.	10.59	67.56	2.26	0.66	18.93
5.	10.61	67.52	2.21	0.69	18.96
6.	10.58	67.61	2.25	0.71	18.94
7.	10.61	67.62	2.24	0.69	18.94
8.	10.59	67.51	2.25	0.72	18.98
9.	10.59	67.48	2.22	0.69	18.95
10.	10.62	67.53	2.25	0.73	18.93
Rata-rata	10.60	67.54	2.24	0.70	18.95

Dari hasil uji komposisi bahan tambah, jenis elektroda yang digunakan termasuk ke dalam jenis E 308 (standar ASTM). Adapun komposisi bahan tambah E 308 seperti pada tabel 7.

Tabel 7. Tipe Kawat Las Standar Amerika (ASTM)

Tipe kawat las	Ni (%)	Mn (%)	Cu (%)	Cr (%)
E 308	9,0 – 11,0	0,2 – 2,5	0,75	18,0 – 21,0

Pengujian komposisi ini digunakan sebagai acuan dalam proses pengelasan. Karena pada proses pengelasan untuk mendapatkan hasil yang baik, komposisi bahan tambah hendaknya memiliki komposisi yang hampir sama dengan bahan logam induk.

5.2 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui deformasi plastis yang terjadi pada spesimen atau material yang di uji. Dalam pengujian ini dilakukan 10 pengujian diantaranya material yang tidak di las dan material yang di las. Adapun data hasil pengujian seperti pada tabel 8, 9 dan 10.

Tabel 8. Kekuatan Tarik *Stainless Steel* Tidak Di Las Dari Hasil Pengujian

Kekuatan tarik maximum (N/mm ²)	Spesimen					Rata-rata
	1	2	3	4	5	
	601,33	608,33	604,00	631,33	599,83	609,06

Tabel 9. Kekuatan Tarik Stainless Steel Di Las Dari Hasil Pengujian

Kekuatan tarik maximum (N/mm ²)	Spesimen					Rata-rata
	1	2	3	4	5	
	599,42	566,17	562,41	568,61	579,38	567,19

Tabel 10. Kekuatan Tarik Kawat Las Dari Hasil Pengujian

Kekuatan tarik maximum (N/mm ²)	Spesimen					Rata-rata
	1	2	3	4	5	
	762,60	759,72	761,16	758,80	763,50	761,16

Material yang tidak dilakukan proses pengelasan mengalami kekuatan tarik lebih besar dari material yang mengalami proses pengelasan seperti pada tabel 9. putus yang terjadi pada material uji terjadi di daerah HAZ, hal ini disebabkan karena pada daerah ini terjadi perubahan struktur material karena dilakukan proses pengelasan, disebabkan oleh bahan tambah dan temperatur pemanasan yang dilakukan pada saat proses pengelasan.

5.3 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui tingkat perubahan kekerasan

pada benda uji yang tidak terkena proses pengelasan dan yang diberikan proses pengelasan.

Dalam pengujian kekerasan ini menggunakan dua spesimen uji, yaitu spesimen yang di las dan tidak di las. Dari hasil pengujian kekerasan Vickers pada *stainless steel* yang dilakukan proses pengelasan, terjadi pengerasan pada material.

Untuk benda uji yang tidak diberi proses pengelasan, tetap dilakukan pengujian pada lima titik. Adapun data hasil pengujian seperti pada tabel 11.

Tabel 11. Hasil Pengujian Kekerasan Pada Daerah Logam Induk

No.	Hasil dari penekanan (mm)	Hasil Vickers Hardness (kg/mm ²)	Waktu (s)	Beban (kg)
1.	d ₁ = 0,369 d ₂ = 0,367	137	10	10
2.	d ₁ = 0,365 d ₂ = 0,368	138	10	10
3.	d ₁ = 0,367 d ₂ = 0,365	138	10	10
4.	d ₁ = 0,371 d ₂ = 0,369	136	10	10
5.	d ₁ = 0,372 d ₂ = 0,372	134	10	10

Pada benda uji yang di las, ada tiga daerah yang terkena proses pengelasan yaitu pada daerah lasan, daerah HAZ dan daerah logam induk. Adapun data hasil pengujian seperti pada tabel 12, 13 dan 14.

Tabel 12. Hasil Pengujian Kekerasan Pada Daerah Logam Las

No.	Hasil dari penekanan (mm)	Hasil Vickers Hardness (kg/mm ²)	Waktu (s)	Beban (kg)
1.	d ₁ = 0,320 d ₂ = 0,320	181	10	10
2.	d ₁ = 0,326 d ₂ = 0,326	175	10	10
3.	d ₁ = 0,321 d ₂ = 0,321	180	10	10
4.	d ₁ = 0,321 d ₂ = 0,323	179	10	10
5.	d ₁ = 0,322 d ₂ = 0,326	177	10	10

Tabel 13. Hasil Pengujian Kekerasan Pada Daerah HAZ

No.	Hasil dari penekanan (mm)	Hasil Vickers Hardness (kg/mm ²)	Waktu (s)	Beban (kg)
1.	d ₁ = 0,339 d ₂ = 0,337	162	10	10
2.	d ₁ = 0,334 d ₂ = 0,336	165	10	10
3.	d ₁ = 0,336 d ₂ = 0,336	164	10	10
4.	d ₁ = 0,333 d ₂ = 0,333	167	10	10
5.	d ₁ = 0,337 d ₂ = 0,337	163	10	10

Tabel 14. Hasil Pengujian Kekerasan Pada Daerah Logam Induk Pada Bahan Yang Di Las

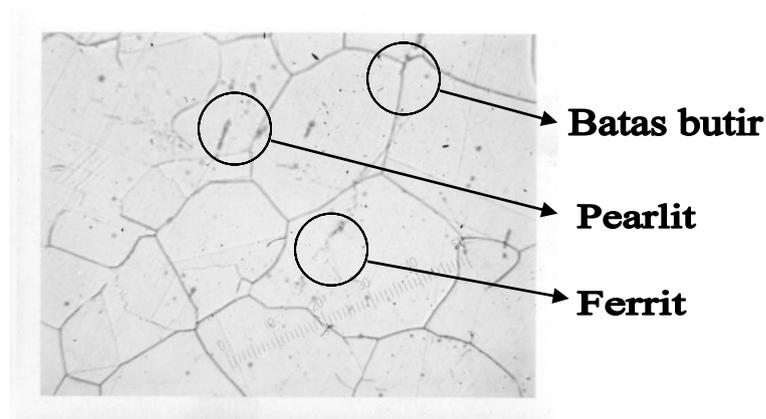
No.	Hasil dari penekanan (mm)	Hasil Vickers Hardness (kg/mm ²)	Waktu (s)	Beban (kg)
1.	d ₁ = 0,353 d ₂ = 0,355	148	10	10
2.	d ₁ = 0,348 d ₂ = 0,343	156	10	10
3.	d ₁ = 0,344 d ₂ = 0,344	157	10	10
4.	d ₁ = 0,346 d ₂ = 0,349	154	10	10
5.	d ₁ = 0,347 d ₂ = 0,347	154	10	10

Kekerasan akan meningkat pada daerah HAZ, karena didaerah ini terjadi perubahan struktur jika dibandingkan dengan logam induk tetapi lebih rendah jika dibandingkan didaerah las.

spesimen yang di las dan tidak di las. Dari hasil pengujian struktur mikro, maka dapat melihat struktur butiran-butiran dengan menggunakan alat mikroskop. Hasil dari pengujian tersebut dapat dilihat pada gambar 11.

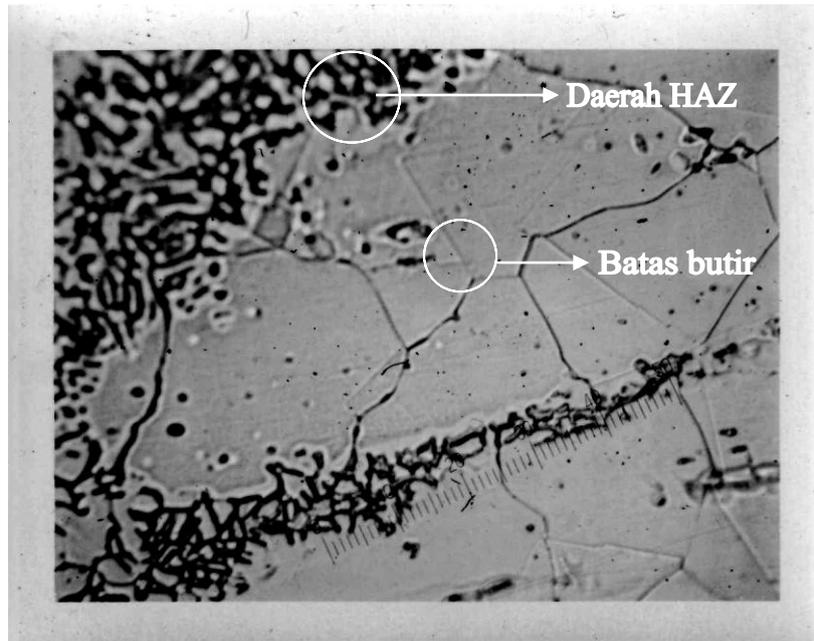
5.4 Pengujian Struktur Mikro

Dalam pengujian struktur mikro ini menggunakan dua spesimen uji, yaitu



Gambar 11: Struktur Mikro Material *Stainless Steel* Dengan Pembesaran 400X (di daerah logam induk)

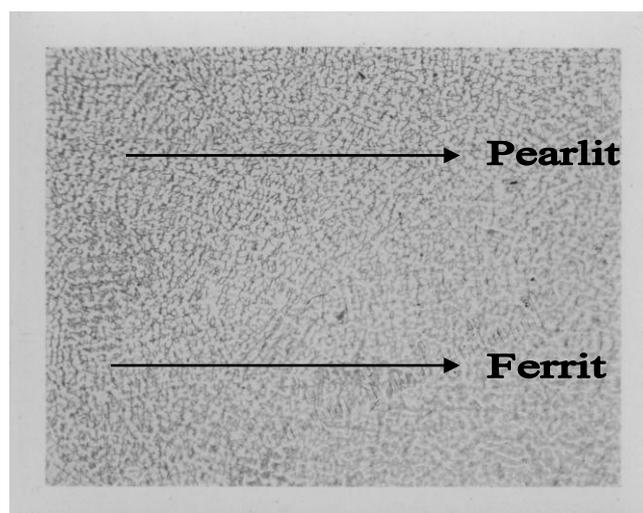
Stainless steel dengan struktur ini mempunyai kekuatan tarik 465,29 N/mm², di samping itu juga mempunyai 6% ferrit yang sangat baik mencegah terjadinya retak panas yang ditimbulkan oleh adanya proses pengelasan.



Gambar 12: Struktur Mikro Material *Stainless Steel* Dengan Pembesaran 400X (di daerah HAZ)

Gambar di atas merupakan struktur pada daerah HAZ, karena ada batas antara bahan tambah (elektroda) dengan logam induk yang memiliki perbedaan penampang batas butir dan banyaknya jumlah persen perlit dan ferrit. Gambar 13. merupakan struktur pada daerah logam las. Bila dilihat dari struktur mikronya luas penampang ferrit

dan perlit sangat kecil atau rapat, disebabkan karena adanya pendinginan yang mendadak atau kejut setelah diberikan perlakuan panas (dalam hal ini pengelasan), hingga butiran ferrit dan perlit tidak bisa memperluas daerah butiran masing-masing dan mengakibatkan terbentuknya martensit.



Gambar 13: Struktur Mikro Material *Stainless Steel* Dengan Pembesaran 400X (di daerah logam las)

6. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pengujian ini adalah :

1. Dari pengujian komposisi didapat 9,04 % Nikel, 70,23 % Ferrous, 1,97 % Mangan, 18,74 % Crom, stainless steel yang diuji termasuk ke dalam tipe SUS 304 (menurut standar JIS) dengan kekuatan tarik 609,06 N/mm².
2. Angka kekerasan Vickers yang paling tinggi adalah 181 HV, karena mendapat perlakuan proses pengelasan (di daerah logam las). Angka kekerasan Vickers yang sedang adalah 167 HV (di daerah logam las). Angka kekerasan Vickers yang paling rendah adalah 138 HV, karena tidak mendapat perlakuan proses pengelasan (di daerah logam induk).
3. Struktur kristal dari material yang di uji yaitu dengan melihat hasil butiran-butiran, maka dapat disimpulkan bahwa material stainless steel yang di uji termasuk Austenit yang memiliki kemampuan las yang baik. Stainless steel dengan struktur butiran seperti ini mengandung sedikitnya 18,74 % Chrom dan 9,04 % Nikel (khususnya untuk grade standar JIS dan AISI 304).

DAFTAR PUSTAKA

1. Alok Nayer, 2002, "*The Steel Handbook*", Mc Graw-Hill, A Division of the Mc Graw-Hill Companies, New York USA.
2. Callister, William D, 2003, "*Materials Science and Engineering an Introduction*", Sixth Edition. Singapore: John Wiley & Son, Inc.
3. Charles Harfer, 2001, "*Handbook of Materials for Product Design*", Mc Graw-Hill, A Division of the Mc Graw-Hill Companies, New York USA.
4. Joseph Sigley, 1996, "*Standar Handbook of Machine Design*", Mc Graw-Hill, A Division of the Mc Graw-Hill Companies, New York USA.
5. Lawrence H. Van Vlack, 1992, "*Ilmu dan Teknologi Bahan*", PT. Erlangga Jakarta.
6. Lukens, Robert.P, 1982, "*Annual Book of JIS Standar*", USA: American Society.
7. Ornig. Herman, 1994, "*Welding Engineer Training at ministry of Industry and trade*". B4T: Bandung.
8. Pollack, Herman W. 1981, "*Materials Science and Metallurgy*", Third Edition. Reston-Virginia: Reston Publishing Company, Inc.
9. Rifian kemas. 1997, "*Teknologi Pengelasan Logam*". Cimahi: Jawa Barat
10. Suharto. 1995, "*Teori Bahan dan Pengaturan Teknik*", Cetakan Pertama. Jakarta: Rineka Cipta.
11. Supardi. Edi, 1994, "*Pengujian Logam*", Angkasa: Bandung
12. Van Vlack, Lawrence H. 1995, "*Ilmu dan Teknologi Bahan*", Edisi Kelima. Penerjemah Sriati Djaprie. Jakarta: Erlangga.
13. Van Vliet, G.L.J & Both, W. 1984, "*Bahan-Bahan 1*", Cetakan Pertama. Penerjemah Haroen. Jakarta: Erlangga.
14. W. Bolton, 1986, "*Materials Technology for Technicians*", Butterworth & Co (Publishers) Ltd, London

RIWAYAT PENDIDIKAN

Romli, lahir di Muara Telang, Musi Banyuasin tanggal 18 Oktober 1967. Menamatkan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya pada tahun 1991. Menyelesaikan pendidikan S2 pada tahun 2010 di Program Magister Teknik Mesin, Universitas Pancasila. Bekerja sejak tahun 1992 sampai sekarang sebagai Staf Pengajar dan tahun 2005 sampai tahun 2012 sebagai Kepala Lab. Polsri Palembang di Politeknik Negeri Sriwijaya.