

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Stainless Steel*

Baja tahan karat *stainless steel* merupakan jenis baja yang paling banyak digunakan, berdasarkan aplikasinya baja tahan karat digunakan dalam berbagai jenis konstruksi dan komponen alat. *Stainless steel* merupakan jenis baja paduan yang mengandung sedikitnya 11,5% unsur *Chrom* berdasarkan komposisinya. Selain unsur kromium terdapat unsur tambahan lain yaitu Ni, Mn, Al, Cu, dan Nb [24]. *Stainless steel* memiliki sifat tidak mudah terkorosi yang disebabkan oleh kandungan kromnya sehingga menjadi pembeda diantara jenis logam baja lainnya yang mudah terkena korosi. Baja karbon akan terkorosi ketika diaplikasikan pada udara yang lembab dan lingkungan basah. Besi oksida yang terbentuk karena berikatan dengan Oksigen menjadi aktif dan mempercepat terjadinya korosi dengan adanya pembentukan oksida besi yang semakin banyak. *Stainless steel* memiliki presentase jumlah krom yang cukup untuk menanggulangi korosi dimana krom membentuk suatu lapisan pasif kromium oksida yang akan mencegah unsur Fe berikatan dengan oksigen penyebab munculnya korosi. Lapisan pasif *Chromium(III) oxide* (Cr_2O_3) yang terbentuk merupakan lapisan tipis dan tidak kasat mata, sehingga tidak akan mempengaruhi penampilan dari *stainless steel* itu sendiri. Dari sifat materialnya yang tahan terhadap air dan udara, *stainless steel* tidak memerlukan perlindungan tambahan khusus karena lapisan tipis dari krom akan cepat terbentuk kembali ketika mengalami suatu goresan,

peristiwa ini disebut dengan pasivasi. Terdapat berbagai jenis material *stainless steel* bergantung pada komposisi unsur yang digunakan sehingga mempengaruhi sifat mekanik tertentu pada material. Ketika nikel digunakan sebagai unsur paduan, maka ketahanan korosi meningkat dan kegetasannya menurun pada temperatur rendah sedangkan apabila diinginkan sifat mekanik yang lebih kuat dan keras, maka dapat dilakukan penambahan unsur karbon [17]. *Stainless steel* juga dapat dibedakan berdasarkan struktur kristal yang terbentuk yaitu *austenitic stainless steel*, *ferritic stainless steel*, *martensitic stainless steel*, *precipitation-hardening stainless steel*, dan *duplex stainless steel*. Dapat dilihat pada Tabel 2.1 rentang komposisi dari kelompok *stainless steel*.

Tabel 2.1 Karakteristik Kelompok *Stainless Steel* (25)

Stainless Steels	C (Wt%)	Cr (Wt%)	Ni (Wt%)	Mo (Wt%)	Other (Wt%)
Martensitic	0.03-2.2	10.5-18	0-7	0-4	Mn, Si, V, N, Cu
Ferritic	<0.25	10.5-30	0-4.5	0-4.5	Mn, Si, N, Ti/Nb, Al
Duplex	<0.05	18-30	1-8	1-5	Mn, Si, N, Cu, W
Austenitic	<0.08	16-30	8-35	0-7	N, Nb, Ti, Cu
Precipitation Hardening	<0.2	10-17	4.3-26	0-5	Mn, Si, Al, Ti, Nb, V, Cu, W

2.2 *Austenitic Stainless Steel*

Austenitic stainless steel mengandung 16% hingga 28% unsur kromium dan memiliki elemen penstabil austenit seperti nikel, mangan, dan karbon untuk memiliki struktur mikro austenit pada suhu ruang. Nikel adalah unsur substitusi dasar yang digunakan sebagai pembentuk dan penstabil austenit, sehingga *austenitic stainless steel* disebut juga sebagai paduan Fe-Cr-Ni. Unsur paduan lainnya, baik interstisial seperti C dan N, atau substitusi seperti Mn, Mo,

Si, Ti, Nb, W, V, Cu, Al, dll., juga dapat ditambahkan untuk memberikan sifat yang diinginkan. *Austenitic stainless steel* memiliki struktur *single phase* yaitu *face centered cubic* (FCC). Selain itu *Austenitic Steel* memiliki banyak keunggulan dari segi metalurgi:

1. Material ini mempunyai sifat ulet (yaitu, dengan kekuatan tarik sekitar 200 MPa) sehingga mudah dibentuk dengan alat yang sama yang digunakan untuk baja karbon, tetapi juga dapat dibuat sangat kuat melalui *cold working* dengan hasil kekuatan tarik mencapai lebih dari 2000 MPa (290 ksi).
2. Struktur *austenitic* berupa *face centered cubic* (FCC) memiliki sifat sangat tangguh dan *ductile* pada berbagai temperatur kerja. Selain itu tidak terjadi penurunan kekuatan dari *austenitic stainless steel* pada saat temperatur tinggi sebagaimana yang terjadi pada paduan besi berbasis feritik dengan struktur *body centered cubic* (BCC).
3. Pada Versi yang tingkat ketahanan korosinya normal dapat menahan serangan korosif dari lingkungan sehari-hari yang biasa diaplikasikan, sementara tipe yang paling tahan korosi bahkan dapat menahan korosi yang disebabkan oleh lingkungan yang ekstrim seperti temperatur tinggi, dibawah dan lainnya.

Baja Paduan *austenitic* ini juga memiliki kelemahan yaitu:

1. *Austenitic stainless steel* kurang tahan terhadap oksidasi siklik dibandingkan dengan tipe feritik karena koefisien ekspansi termal yang lebih besar cenderung menyebabkan lapisan oksida pelindung mengelupas.

2. Baja tipe ini dapat mengalami *stress corrosion cracking* (SCC) jika digunakan pada kondisi lingkungan yang tidak sesuai.

2.3 *Stainless Steel 304*

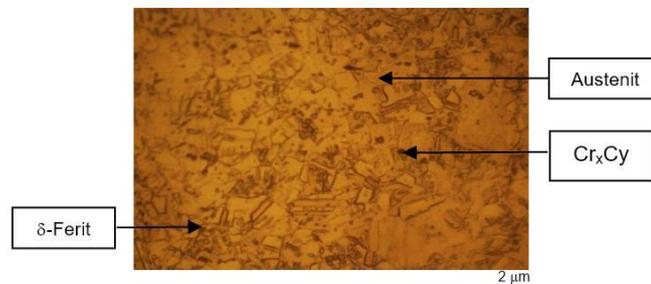
Tipe 304 adalah tipe *stainless steel* yang paling sering digunakan dalam berbagai industri maupun skala kecil karena kekuatan mekanik, kemampuan las dan ketahanan korosinya sangat baik dengan harga yang relative terjangkau. *Stainless steel* merupakan baja Paduan yang mengandung sekitar 12% Cr yang menunjukkan ketahanan korosi karena pembentukan lapisan film kromium oksida (Cr_2O_3). *Stainless steel 304* adalah adalah baja tahan karat kelompok *austenitic stainless steel* yang memiliki komposisi 0,0042%C, 1.19%Mn, 0,034%P, 0,006%S, 0,049%Si, 18,24%Cr, 8,15%Ni, dan sisanya Fe.

Tabel 2.2 Komposisi *Stainless Steel 304 Thin Foil* [1]

	Cr	Ni	S	P	C	Si	Mn
Min	18.00	8.00	-	-	-	-	-
Max	20.00	10.50	0.030	0.045	0.08	1.00	2.00
-	18.01	8.03	0.004	0.030	0.05	0.39	1.10

Stainless steel 304 memiliki sifat *non-magnetic*, dapat dikeraskan dengan *cold working* dan pada saat kondisi *aneal*, *stainless steel* mempunyai sifat *formability*. Tipe 304 *stainless steel* paling banyak digunakan dengan 18%Cr dan 8%Ni [21]. Baja tahan karat tipe ini memiliki sifat mekanik yang cukup mumpuni antara lain: kekuatan tarik 646 Mpa, *yield strength* 270 Mpa, *elongation* 50%, dan kekerasan 82 HRB [27]. Pada gambar 2.1 menunjukkan struktur mikro dari *stainless steel*

304. Terlihat dari gambar bahwa struktur mikro terdiri atas fasa *austenite*, δ -ferit dan presipitat krom karbida (Cr_xC_y) berupa endapan di batas butir.

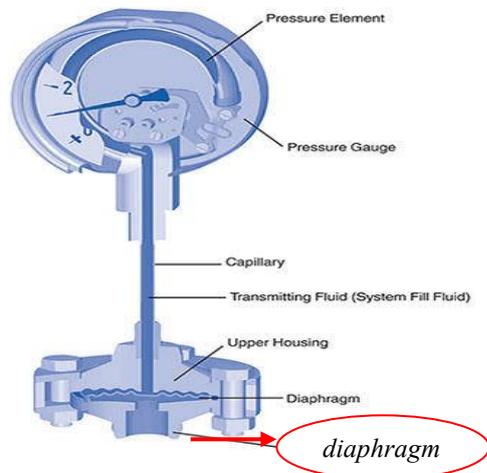


Gambar 2.1 Struktur Mikro *Stainless Steel* 304 [40]

Pada stainless steel 304, jenis karbida yang sering muncul adalah karbida kromium ($Cr_{23}C_6$). Pembentukan karbida kromium (Cr_3C_2) pada *stainless steel* 304 sering terjadi karena komposisi kromium dan karbon *stainless steel* 304 mengandung sekitar 18% kromium dan 0,05% karbon. Pada rentang suhu 450–870°C menyebabkan difusi karbon menuju batas butir dan bereaksi dengan kromium membentuk presipitasi $Cr_{23}C_6$ di batas butir.

2.4 *Diaphragm Pressure Gauge*

Diaphragm pressure gauge adalah alat yang digunakan sebagai penanda besarnya tekanan fluida yang bisa berupa gas atau cairan didalam sebuah alat proses atau perpipaan yang menggunakan membran fleksibel (*diaphragm*) untuk mendeteksi tekanan fluida dalam suatu sistem. Pada *diaphragm pressure gauge*, memiliki sebuah kelebihan dibandingkan dengan *pressure gauge* tipe biasa yaitu adanya membran atau *diaphragm* yang terpasang pada bagian koneksi dari *pressure gauge*.



Gambar 2.2 *Pressure Gauge system* [47]

Fungsi dari *diaphragm pressure gauge* tersebut yaitu mengukur tekanan pada pipa untuk mengetahui atau mengindikasikan apakah ada kebocoran atau perubahan tekanan yang signifikan yang mempengaruhi sebuah sistem kerja tersebut tidak dapat bekerja sesuai dengan normalnya. Selain itu, fungsi *diaphragm pressure gauge* memiliki membran fleksibel yang dapat mengisolasi fluida dalam sistem. Efek dari tekanan fluida dapat melewati membran *diaphragm*, tetapi material yang ada didalamnya tidak akan terpengaruh atau terkena kontaminasi sehingga tidak akan mengurangi kemurnian fluida yang diukur. Dalam aplikasinya sebagai sensor tekanan oli mesin kendaraan, sifat-sifat material *diaphragm* harus mampu beroperasi didalam lingkungan kerja mesin yaitu, *diaphragm* memiliki elastisitas yang cukup untuk merespons tekanan oli secara akurat tanpa mengalami deformasi permanen, memiliki kekerasan yang cukup untuk mencegah deformasi plastik, tetapi tidak terlalu keras sehingga mengurangi fleksibilitas. Memiliki ketahanan terhadap korosi oli mesin yang dapat mengandung bahan kimia aditif, asam, dan kelembapan, mampu bertahan terhadap partikel kecil atau kotoran

abrasif yang terdapat didalam oli, selain itu tidak bereaksi dengan komponen kimia dalam oli untuk mencegah degradasi material atau kontaminasi oli, dan harus stabil pada suhu tinggi yang dihasilkan oleh mesin kendaraan hingga 150°C.

Tipe dari *diaphragm seal* ini banyak digunakan untuk *sanitary process*, seperti industri makanan dan minuman, obat-obatan dan perkebunan. Cara kerja *diaphragm pressure gauge* adalah ketika tekanan fluida diterapkan pada satu sisi membran, membran akan melengkung atau terdefleksi. Defleksi ini kemudian ditransmisikan melalui mekanisme penghubung ke sistem penunjuk, seperti jarum pada dial, yang menunjukkan nilai tekanan yang terukur. Desain ini memungkinkan pengukuran tekanan tanpa kontak langsung antara fluida dan komponen mekanis internal. Spesifikasi material *diaphragm pressure gauge* untuk aplikasi sensor tekanan oli kendaraan harus memenuhi beberapa persyaratan penting agar dapat beroperasi secara andal dalam lingkungan oli mesin. Berikut adalah spesifikasi yang umum digunakan:

Tabel 2.3 Spesifikasi *Diaphragm Pressure Gauge* Sensor Tekanan Oli Mesin [48]

Material	Stainless Steel: SS 304 / SS 316 / SS 316L Superalloy: Hastelloy, Tantalum, Monel, Inconel dll
<i>Tensile Strength</i> (MPa)	500 – 700
<i>Hardness</i> (HV)	175 – 300
<i>Thickness</i> (mm)	0,1 – 0,5
<i>Pressure Range</i> (bar)	2 – 10
<i>Modulus Elasticity</i> (MPa)	190 – 200
<i>Temperature</i> (°C)	Ambient: -20 sampai 65, Fluid: -20 sampai 200
<i>Rate Corrosion</i> (mm/year)	< 0,01 mm/year

2.5 *Heat Treatment*

Perlakuan panas (*heat treatment*) merupakan proses merubah sifat fisik atau mekanik pada logam, melalui pengubahan struktur mikro dengan cara pemanasan dan pengaturan laju pendinginan [2]. Secara umum proses perlakuan panas adalah sebagai berikut:

- a. Pemanasan material sampai temperatur pada kecepatan tertentu.
- b. Mempertahankan temperatur untuk waktu tertentu.
- c. Pendinginan dengan media pendingin (air, oli atau udara).

Tujuan dilakukannya *heat treatment* untuk meningkatkan keuletan, menghaluskan ukuran butir kristal, menghilangkan tegangan internal dan meningkatkan kekerasan atau tegangan tarik pada material. Dalam melakukan proses *heat treatment* terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi hasil *heat treatment*, yaitu temperatur pemanasan, waktu tahan yang diperlukan saat pemanasan, laju pendinginan dan lingkungan atmosfer. *Heat treatment* adalah kombinasi antar proses pemanasan atau pendinginan suatu logam dalam keadaan padat untuk memunculkan sifat – sifat tertentu. Untuk mencapai sifat – sifat yang diinginkan, maka perlu diperhatikan kecepatan pendinginan dan temperatur penahanan [34]. Dalam proses *heat treatment* akan merekayasa mikrostruktur logam pada skala atom, kristal maupun struktur makronya. Perubahan aspek struktural akan terjadi selama perlakuan panas sehingga struktur kristal dan kisi atom mengalami perubahan yang berpengaruh terhadap sifat akhir yang diinginkan pada material. Adanya sifat alotropik pada Fe menyebabkan rekayasa struktur mikro dari berbagai jenis logam dapat dilakukan. Alotropik sendiri adalah proses

bertransformasinya suatu bentuk susunan atom (sel satuan) ke bentuk susunan atom yang lain [28]. Metode dari *heat treatment* ada beberapa cara yaitu:

1. *Hardening*: Merupakan proses *heat treatment* terhadap logam dengan tujuan meningkatkan kekerasan alami logam. Proses ini dilakukan dengan tahapan pemanasan material mencapai titik *austenite* dan menahannya pada temperatur tersebut dalam waktu tertentu lalu didinginkan secara cepat sehingga sebagian atau seluruh fasa menjadi *martensite* yang mengakibatkan kekerasan pada baja meningkat.
2. *Annealing*: adalah *heat treatment* logam dengan cara pendinginan lambat yang bertujuan untuk menghilangkan tegangan internal, dan meningkatkan keuletan baja. Tahapan annealing dilakukan dengan cara memanaskan baja mencapai titik austenisasi dan ditahan dalam waktu tertentu kemudian dilakukan pendinginan pada baja secara lambat didalam *furnace*. Pendinginan secara lambat akan menyesuaikan pertumbuhan butir dan *internal stress* yang dihasilkan sehingga batas butir dari atom logam menjadi halus dan kekerasan menjadi turun dan memunculkan sifat ulet pada logam. Fasa yang terbentuk setelah proses *annealing* adalah ferit dan pearlit kasar.
3. *Normalizing*: Temperatur pemanasan untuk *normalizing* lebih tinggi daripada pemanasan untuk *annealing* sampai sekitar 50⁰C diatas temperatur kritis A₃ dan pendinginan dilakukan di udara terbuka, sehingga lebih cepat menyebabkan kecepatan pembentukan ferit *proeutektoid* atau sementit *proeutektoid* akan lebih kecil atau lebih sedikit dan perlit akan lebih banyak. Pada umumnya *normalizing* menghasilkan struktur yang halus, sehingga baja

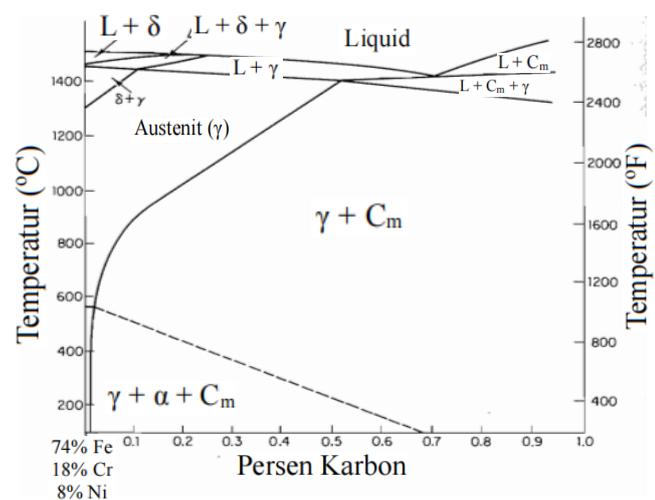
dengan komposisi kimia yang sama akan memiliki *yield strength*, UTS, kekerasan, dan kekuatan impak akan lebih tinggi daripada hasil dari *annealing*.

4. *Tempering*: Perlakuan untuk menghilangkan tegangan sisa dan menurunkan kerapuhan logam dilakukan dengan proses *tempering*. *Tempering* biasanya dilakukan setelah *quenching*. *Tempering* merupakan proses pemanasan logam setelah dikeraskan, pada temperatur di bawah temperatur kritis kemudian dilanjutkan dengan proses pendinginan udara. Struktur mikro yang dihasilkan adalah merubah struktur martensit menjadi besi karbida atau sementit. Baja yang dikeraskan memiliki sifat mekanik yang rapuh dan getas sehingga kurang cocok untuk aplikasi tertentu. Sifat rapuh dan getas ini dapat diturunkan melalui proses *tempering* agar mendapatkan sifat baja yang tangguh tetapi keras. Pada *tempering* kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun pula sedang keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat. Dalam perlakuan *tempering*, pada temperatur 200°C sampai 300°C laju difusi atom karbon lambat dan sebagian kecil karbon dibebaskan, hasilnya sebagian struktur tetap keras tetapi tegangan sisa mulai hilang dan kerapuhan menurun. Diantara temperatur 500°C dan 600°C difusi atom berlangsung lebih cepat, dan atom karbon yang berdifusi akan membentuk sementit. Penjelasan lebih lanjut mengenai macam-macam temperatur tempering dijelaskan dalam sub-bab 2.6.1
5. *Homogenizing*: *Homogenizing* dilakukan pada temperatur 1100-1200°C. proses difusi yang terjadi pada temperatur ini akan menyeragamkan komposisi

baja. Biasanya diterapkan pada ingot baja paduan dimana pada saat membeku sesaat setelah proses penuangan, memiliki struktur yang tidak homogen. Proses ini dilakukan beberapa jam pada temperatur sekitar 1150-1200⁰C lalu didinginkan hingga 1150-1200⁰C, setelah itu didinginkan diudara. Setelah proses ini dapat juga dilakukan proses normal atau anil untuk memperluas struktur *over-heat*.

2.6 Solution Treatment

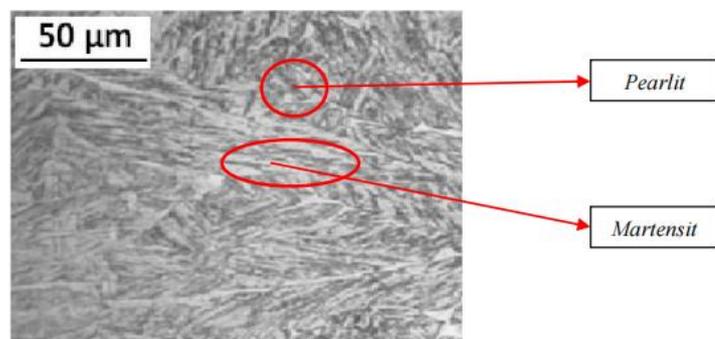
Solution Treatment adalah proses memanaskan baja Paduan dalam tungku pemanas dengan temperatur yang cukup tinggi hingga zona fase tunggal austenit dan ditahan pada rentang waktu tertentu dan setelah itu dilakukan pendinginan secara cepat. Tahap *solution treatment* bertujuan untuk melarutkan kembali fasa karbida pada baja paduan dan austenit menjadi homogen [35]. Di dalam proses ini logam dipanaskan sampai fasa γ dengan temperature 900⁰C, kemudian ditahan dalam waktu tertentu dan akhirnya larut sempurna sehingga fasanya γ seluruhnya. Proses ini mampu meningkatkan nilai kekerasan dari material.



Gambar 2.3 Cross Section Diagram Baja Mengandung 18% Chrom [7]

Proses *solution treatment* biasa dilakukan pada rentang temperatur 900°C – 1100°C. Kondisi fasa matriks pada temperatur ini memungkinkan elemen-elemen paduan berdifusi ke dalam matriks induknya dan terdistribusi dengan sendirinya secara merata. Komposisi yang terjadi disebut sebagai larutan padat. Larutan padat kemudian didinginkan dengan cepat (*quench*) hingga mencapai temperatur kamar sehingga atom-atom yang terlarut akan tetap terdistribusi merata dalam larutan padat lewat jenuh (*supersaturated solid solution*).

Proses diawali dengan memanaskan sampel sampai dengan titik *austenite* yang dapat merubah fasa secara homogen pada fasa α selanjutnya dilakukan proses pendinginan secara cepat dengan metode *quenching*. Menurut penelitian Dani N.R, dkk [11], fasa yang dihasilkan adalah martensit dan pearlit. Berikut adalah gambar struktur mikronya:



Gambar 2.4 Hasil *Quenching* *Stainless Steel* 304 [11]

Kemudian dilakukan proses *tempering* pada tiga sampel sampai dengan temperatur 250°C, 400°C dan 550°C dengan masing-masing waktu penahanan selama 60 menit, 90 menit dan 120 menit untuk menghilangkan tegangan permukaan yang tersisa dan memperbaiki sifat mekanik *stainless steel* 304 *thin*

foil hasil dari proses *quenching*. Setelah proses *tempering* material didinginkan pada udara terbuka.

2.6.1 Pengaruh Variasi Temperatur *Tempering*

Tempering adalah proses pemanasan kembali suatu logam yang telah dikeraskan sebelumnya melalui *quenching*. Pemanasan kembali dilakukan dibawah temperatur kritis selama waktu tertentu dan didinginkan secara perlahan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Dani N.R, dkk [11], yang melakukan proses *hardening* pada temperatur 900°C kemudian di *tempering* pada temperatur 200°C, 300°C, dan 400°C dapat menghasilkan baja dengan sifat yang berbeda. Temperatur dapat berpengaruh pada sifat mekanik material dimana dengan meningkatkan temperatur *heat treatment* pada permukaan baja akan meningkatkan keuletan baja. Berdasarkan temperturnya, proses *tempering* dibedakan sebagai berikut:

a. *Tempering* temperatur rendah (150° - 300°C)

Pada temperatur ini untuk mengurangi tegangan internal atau kegetasan pada baja dan hanya sedikit menambahkan keuletan.

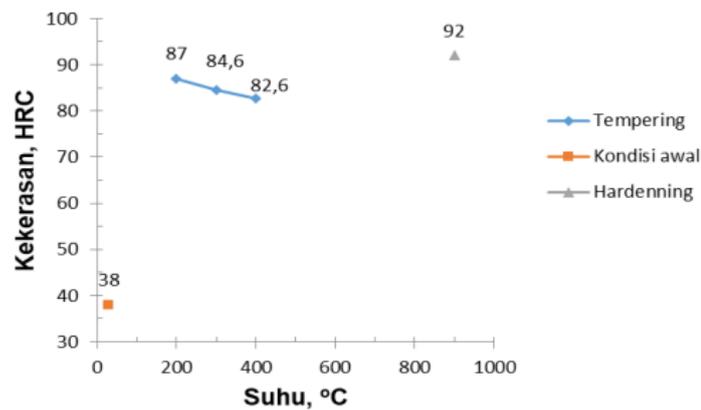
b. *Tempering* temperatur menengah (300° - 550°C)

Pada temperatur ini bertujuan untuk menambahkan keuletan dan menurunkan sedikit kekerasannya.

c. *Tempering* temperatur tinggi (550° - 650°C)

Tempering ini bertujuan untuk memunculkan sifat ulet dan tangguh yang besar tetapi menurunkan kekerasan material dan mungkin disertai transformasi fasa.

Pada penelitian sebelumnya oleh Dani N.R. dkk [11] ditemukan bahwa proses *tempering* akan menurunkan kekerasan, sedangkan keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat.



Gambar 2.5 Pengaruh Kenaikan Temperatur vs Kekerasan SUS 304 [11]

Dari hasil penelitian yang dilakukan sebelumnya dapat kita simpulkan bahwa terjadi penurunan kekerasan, karena sesuai dengan fungsi *tempering* adalah untuk meningkatkan keuletan dan menghilangkan tegangan sisa dari baja. Benda yang cenderung semakin ulet maka nilai kekerasannya akan mengalami penurunan [11]. pada penelitian sebelumnya juga disebutkan bahwa semakin tinggi suhu *tempering* yang digunakan maka laju korosi yang dihasilkan akan semakin rendah dan ketahanan korosi akan meningkat [30]. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya kandungan unsur kromium yang terlarut dalam matriks. Penelitian yang dilakukan oleh *nickel development institute* menyatakan bahwa kelarutan karbida di dalam matriks baja tahan karat diharapkan dapat meningkatkan karbida logam $Cr_{23}C_6$ dan $Mo_{23}C_6$, sehingga ketahanan korosi akan meningkat [30].

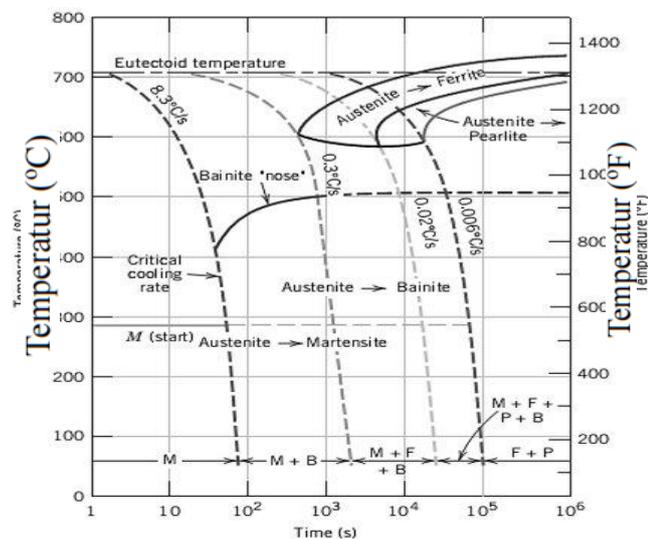
2.6.2 Pengaruh Variasi Waktu Tahan *Tempering*

Holding Time atau waktu tahan adalah waktu yang dilakukan pada proses pemanasan untuk mendapatkan sebuah sifat mekanik atau kimia tertentu yang diinginkan. Waktu penahanan sangat berpengaruh pada saat transformasi karena apabila waktu penahanan yang diberikan kurang tepat maka transformasi fasa yang terjadi tidak sempurna dan tidak homogen. Semakin lama *holding time* proses tempering pada baja karbon rendah mengakibatkan mengecilnya batas butir dan semakin besar ukuran butirnya [15]. Selain itu apabila waktu tahan terlalu pendek akan menghasilkan kekerasan yang rendah hal ini disebabkan tidak cukupnya jumlah karbida yang larut dalam larutan. Sedangkan apabila waktu penahanan yang diberikan terlalu lama, transformasi terjadi namun diikuti dengan pertumbuhan butir yang dapat menurunkan ketangguhan [42]. Baja dengan ukuran butiran yang kecil mempunyai kekerasan dan kekakuan yang tinggi. Untuk mencapai standar tersebut diperlukan temperatur pemanasan yang tepat dan untuk memastikan bahwa perubahan terjadi pada seluruh permukaan baja diperlukan adanya *holding time* [3]. menurut penelitian Setiawan A. dkk, [37] semakin lama waktu tahan pada proses *heat treatment* maka akan meningkatkan ketahanan korosi pada baja.

2.7 Diagram *Continuous Cooling Transformation (CCT)*

Diagram CCT adalah diagram yang menggambarkan hubungan antara laju pendinginan dengan struktur yang terbentuk setelah terjadi transformasi fasa. Kurva CCT mensimulasikan sifat dan karakter suatu material. Pada diagram ini

fasa ferit, perlit, bainit dan martensit dapat diperlihatkan. Pada diagram CCT terdapat informasi transformasi fasa yang terbentuk ketika material awalnya mengalami austenisasi terus-menerus didinginkan pada laju pendinginan tertentu. Selain itu, struktur mikro akhir dan karakteristik mekanik dapat ditentukan [45]. Perbedaan kurva pendinginan yang dipengaruhi dari laju pendinginan, dimana laju pendinginan dipengaruhi oleh media pendinginan. Air adalah media yang menghasilkan laju tertinggi selanjutnya adalah minyak, oli, dan udara. Semakin bebas partikel pendinginan (udara) laju pendinginan semakin lama dan kurva akan semakin bergeser ke kanan maka material akan semakin lunak [36]. Gambar 2.7 menunjukkan contoh dari diagram CCT (*Continuous Cooling Temperature*).



Gambar 2.6 Diagram CCT (*Continuous Cooling Temperature*) [5]

2.8 Analisa Kekerasan

Kekerasan adalah kemampuan suatu logam untuk menahan penetrasi dan gesekan dengan logam lain ataupun ketahanan suatu logam terhadap deformasi.

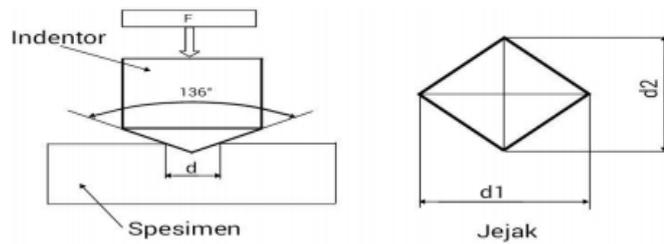
Uji kekerasan atau hardness test adalah pengujian merusak yang digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan suatu material yang didapatkan setelah material diberikan pembebanan. Pengujian kekerasan biasanya dilakukan dengan metode indentasi. Metode ini dilakukan dengan penekanan indenter terhadap benda uji dengan gaya tekan dan waktu indentasi yang ditentukan. Besarnya nilai kekerasan pada material dapat dilihat dari kemampuan menahan goresan atau indentasi dari pembebanan yang diberikan dalam waktu tertentu tanpa mengalami deformasi. Pengujian kekerasan akan dipengaruhi oleh beberapa faktor berikut:

1. Kehalusan permukaan
2. Letak benda uji pada indenter
3. Adanya pengotor pada permukaan

Dengan demikian, pengujian kekerasan pada material menjadi faktor penting untuk melihat kualitas dan kinerja material saat diaplikasikan pada lingkungan kerja yang berat. Berdasarkan jenis indenter dan pembebanannya pada pengujian kekerasan ini terdapat 3 metode yang digunakan yaitu metode *Vickers*, metode *Rockwell*, dan metode *Brinell* [3]

2.8.1 Metode *Vickers*

Uji kekerasan *vickers* menggunakan indenter piramida intan yang pada dasarnya berbentuk bujur sangkar dengan sudut 136 derajat. Bekas indentasi yang dihasilkan berbentuk bujur sangkar berdiagonal. Pengujian dengan metode *vickers* ini biasanya diaplikasikan untuk material yang tipis memiliki ketebalan 0,005 hingga 0,01 inch.



Gambar 2.7 Indentor Pengujian *Vickers* [3]

Panjang diagonal yang diukur pada arah horizontal ditandai dengan d1 dan arah vertical ditandai dengan d2 yang kemudian dihitung d rata – rata sebagai panjang diagonal jejak. Angka kekerasan *Vickers* disebut sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. VHN dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

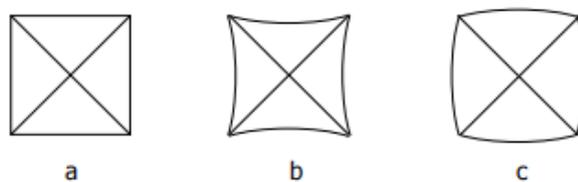
$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{(1,854)P}{d^2} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan: P = beban yang digunakan (kg)

d = Panjang diagonal rata – rata (mm)

θ = sudut antara permukaan intan yang berhadapan = 136°

Beban yang biasanya digunakan pada uji *vickers* berkisar antara 1 sampai 120 kg bergantung kepada kekerasan logam yang akan diuji. Terdapat tipe-tipe lekukan material hasil pengujian vickers yaitu:



Gambar 2.8 Tipe – tipe lekukan piramida intan: (a) lekukan sempurna, (b) lekukan bantal jarum, (c) lekukan berbentuk tong [14]

Hasil lekukan material yang benar ditunjukkan oleh penekan indentor berbentuk bujur sangkar (gambar 3a). lekukan bantal jarum adalah akibat adanya penurunan logam di sekitar permukaan piramida yang datar. Hal ini biasa terjadi pada logam – logam yang dilunakkan dan akibatnya terjadi pengukuran panjang diagonal yang berlebih. Lekukan berbentuk tong terjadi karena penimbunan ke atas logam – logam di sekitar permukaan penekanan. Biasanya terjadi pada logam – logam yang mengalami proses pendinginan.

2.9 Analisa Korosi (*Immersion Corrosion Testing*)

Definisi korosi menurut *National Association of Corrosion Engineers* (NACE) *International* adalah korosi sebagai kerusakan atau degradasi sifat-sifat logam yang disebabkan oleh lingkungan korosif. Menurut penelitian [22] menyebutkan korosi dapat menyebabkan penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Dari beberapa istilah diatas dapat disimpulkan bahwa terjadinya korosi pada material disebabkan oleh kontak langsung dengan lingkungan sekitarnya sehingga mengalami penurunan mutu dan kualitas material. Secara garis besar ada dua komponen penting yang mempengaruhi terjadinya korosi yaitu material dan lingkungan. Material dapat berupa logam atau non-logam, material logam terdiri dari baja, seng, aluminium dan lainnya. Sedangkan material non-logam dapat berupa keramik, karet plastik dan lain-lain. Lingkungan penyebab terjadinya korosi dapat berupa kelembapan udara, asam atau basa lingkungan, gas, temperatur dan lain-lain. Tingkat kereaktifan material dengan lingkungan kerja dapat menentukan proses terjadinya

korosi dapat berlangsung dengan cepat atau lambat. Reaksi yang terjadi dapat berbentuk reaksi kimia, elektrokimia, atau mekanik. Terdapat berbagai penyebab terjadinya korosi yaitu korosi seragam (*uniform corrosion*), korosi galvanik (*Galvanic Corrosion*), korosi sumuran (*pitting corrosion*), korosi celah (*crevice corrosion*), korosi erosi (*erosion corrosion*), korosi batas butir (*intergranular corrosion*) dan korosi tegangan (*stress corrosion*). Pengujian korosi perendaman digunakan untuk menentukan ketahanan korosi suatu material terhadap lingkungan berair yang agresif. Metode pengujian ASTM G31 menggunakan laju korosi ke satuan waktu, biasanya dalam mm/tahun (mpy). Persyaratan pengujian bervariasi, namun hasilnya biasanya dapat diperoleh dalam siklus perendaman 24 jam, 10, atau 20 hari. Perhitungan laju korosi menggunakan kehilangan berat awal setelah dilakukan perendaman, pengujian ini disebut juga metode *Weight Loss*. Metode kehilangan berat adalah metode pengukuran laju korosi yang paling banyak digunakan untuk lempengan logam. Metode kehilangan berat dinyatakan sebagai kehilangan berat per satuan luas atau per satuan waktu. Pengujian korosi ini cukup sederhana sehingga mudah dalam pengaplikasiannya. Lempengan logam ditempatkan didalam sistem korosif dengan konsentrasi tertentu dan jangka waktu tertentu. Lalu mengukur kehilangan massa material yang diuji setelah perendaman kemudian menghitung besar laju korosinya [38]. Rumus yang digunakan untuk menghitung laju korosi metode *weight loss* yaitu:

$$\text{mpy} = \frac{K \times \Delta W}{D \times A \times T} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

CR = *Corrosion Rate (mm/year)*

- K = Konstanta ($8,76 \times 10^4$)
- ΔW = Selisih Kehilangan Berat (gram)
- A = Luas Area Total (cm^2)
- t = Waktu *exposure* (jam)
- D = Massa jenis SS 304 *thin foil* (8 gram/cm^3)

2.10 Analisa Metalografi

Metalografi adalah disiplin ilmu yang mempelajari karakteristik mikrostruktur suatu logam dan paduannya serta hubungannya dengan sifat – sifat logam dan paduannya. Pengujian metalografi mencakup pengamatan dan penentuan struktur kimia, atom, batas butir, konstituen, inklusi dan fase yang terbentuk pada logam dan Paduan. Struktur mikro sendiri dipengaruhi oleh komposisi kimia logam atau paduannya serta proses perlakuan yang dialami selama pembentukan logam. Banyak sifat makroskopis penting dari bahan logam yang sangat sensitif terhadap struktur mikro seperti kekuatan tarik atau perpanjangan, serta sifat termal atau listrik lainnya yang berhubungan langsung dengan struktur mikro. Pada penelitian ini tujuan spesifik analisa metalografi untuk mengetahui morfologi struktur mikro hasil perlakuan tempering dengan masing-masing variabel, dan menghubungkannya dengan nilai kekerasan dan laju korosi yang didapatkan. Dalam melakukan uji metalografi, sampel yang akan diuji harus dipreparasi dengan tahap – tahap preparasi sebagai berikut [6]. Pengambilan Sampel (*Sampling*), Pemotongan Sampel (*Cutting*), *Mounting*, Pengampelasan (*Grinding*), *Polishing*, *Etching*, dan Observasi Mikroskopis / Makroskopis.

2.11 Perhitungan Persen Fraksi Fasa

Perhitungan persen fraksi fasa dalam struktur mikro adalah metode kuantitatif untuk menentukan sebaran relatif dari fasa struktur mikro yang terdapat dalam suatu material berdasarkan citra mikroskopis. *Thresholding* pada *ImageJ* adalah teknik pemrosesan gambar yang digunakan untuk memisahkan dan mengklasifikasikan fasa berdasarkan tingkat kecerahan atau warna dalam citra mikrostruktur. Tujuan perhitungan persen fraksi fasa yaitu:

1. Menentukan Sebaran Fasa dalam Material

Mempermudah analisis distribusi fasa seperti martensit, austenit, ferrit, perlit, atau bainit dalam paduan logam.

2. Menilai Efek Perlakuan Panas dan Proses Deformasi

Menganalisis perubahan struktur mikro akibat proses *quenching*, *tempering*, *annealing*, atau *cold rolling*.

3. Mengontrol Kualitas dan Sifat Mekanik Material

Menghubungkan persentase fasa dengan kekerasan, ketahanan korosi, dan sifat mekanik lainnya.

4. Menggunakan Metode Kuantitatif yang Konsisten dan Reproductif

Mengurangi subjektivitas dalam analisis mikrostruktur dibandingkan pengamatan visual manual.