

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh Aladin Eko Purkuncoro yang berjudul “Analisis Pengaruh Variasi Arus Listrik 90 A, 110 A, 130 A Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan Gas Metal Arc Welding (GMAW) Pada Baja Karbon JIS S50C” ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh arus pengelasan terhadap kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro las GMAW dengan elektroda AWS 18ER70S-6 dengan \varnothing 0.8 mm. Penelitian ini menggunakan bahan baja karbon JIS S50C. Bahan diberi perlakuan pengelasan dengan variasi arus 90 A, 110 A, 130 A dengan menggunakan las GMAW. Jenis kampuh yang digunakan adalah kampuh V sudut 70° . Spesimen dilakukan pengujian tarik, kekerasan dan foto mikro. Dari pengelasan tersebut didapat beban maksimum yang dibutuhkan untuk memutuskan dari masing-masing jenis Variasi arus pada pengelasan GMAW, bahwa spesimen yang paling besar menerima beban yaitu pada Arus 130 A sebesar 74773,3 Newton sedangkan yang paling rendah menerima beban adalah Arus 90 A yaitu 71003 Newton. Kekuatan luluh terjadi pada variasi Arus 130 A yaitu 337,36 Mpa, urutan kedua yaitu pada Arus 110 A dengan nilai 279 Mpa, sedangkan yang paling rendah yield strengthnya adalah pada Arus 90 A yaitu 299,65 Mpa. Tingkat kekerasan tertinggi terjadi pada daerah HAZ sebesar 254,1 HV dari variasi 130 A, hal ini terlihat pada struktur mikronya yang mengalami perubahan bentuk butir lebih lembut dari arus pengelasan yang lainnya (Eko Purkuncoro, 2019).

Penelitian yang dilakukan oleh Bajar Sulistijo, Helmy Purwanto, Imam Syafa'at yang berjudul “Analisis Pengaruh Arus Pengelasan GMAW Terhadap Struktur Makro, Mikro Dan Sifat Mekanik Pada Material Baja Karbon ASTM A36” penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pangaruh arus pengelasan terhadap struktur makro, mikro dan sifat mekanik pada baja karbon rendah ASTM A36. Bahan diberi perlakuan pengelasan dengan variasi arus 90 A, 110 A dan 130 A dengan menggunakan las GMAW. Spesimen dilakukan pengujian foto makro, mikro, kekerasan, dan uji tarik. Data dari hasil pengujian makro dan mikro menunjukkan bahwa arus 90 Ampere, arus 110 Ampere dan Arus 130 Ampere

sangat berpengaruh pada perubahan struktur makro dan mikro material uji. Arus pengelasan juga berpengaruh terhadap terhadap hasil pengelasan. Semakin besar arus pengelasan, kekerasan daerah las semakin tinggi. Kekerasan tertinggi dihasilkan pada daerah las dengan besar arus 130 Ampere, yaitu 82,7 HRB. Tegangan maksimum pengelasan tertinggi adalah 354,18 Mpa pada arus 110 Ampere, dan nilai tegangan maksimum pengelasan terendah 327,21 Mpa pada arus 90 Ampere. Begitu pula dari nilai tegangan luluh pengelasan tertinggi adalah 298,44 Mpa pada arus 110 Ampere, nilai tegangan luluh pengelasan terendah adalah 252,83 Mpa pada arus 130 Ampere (Sulistiyono & Purwanto, 2021).

Penelitian yang dilakukan oleh Muchammad Bagus Setiawan dan Novi Sukma Drastiawati yang berjudul “Pengaruh Arus Listrik Pengelasan GMAW Terhadap Kekuatan Tarik Dan Bending Sambungan Las Pada Material Baja S355J2+N” ini bertujuan mengetahui pengaruh arus pengelasan GMAW pada penyambungan rangka bogie terhadap kekuatan tarik dan bending sambungan las setelah mengalami pengelasan. Penelitian ini plat baja S355J2+N akan dilas dengan metode GMAW menggunakan arus 200, 220, 240 Ampere posisi pengelasan (1G) kemudian dilakukan pembentukan spesimen serta dilakukan uji kekuatan tarik menggunakan standar ASTM 8 dan kekuatan bending menggunakan standar ASTM E290. Data hasil eksperimen dianalisis dengan metode *one way anova* dan uji-t. Hasil dari penelitian ini ialah terdapat pengaruh signifikan hasil variasi arus pada material baja S355J2+N terhadap kekuatan tarik dan kekuatan bending. Nilai kekuatan tarik terbesar pada variasi arus pengelasan 240 A rata-rata sebesar 522,95 Mpa. Sedangkan kekuatan tarik terendah pada variasi arus pengelasan 200 A rata-rata sebesar 503,99 Mpa. Nilai kekuatan bending terbesar pada variasi arus pengelasan 240 A rata-rata sebesar 1789,47 Mpa. Sedangkan nilai kekuatan bending terendah pada variasi arus pengelasan 200 A rata-rata sebesar 1712,38 Mpa (Mesin et al., 2016).

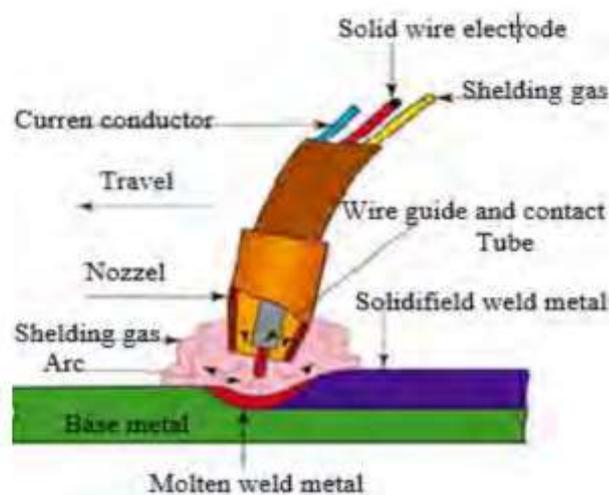
2.2 Definisi Pengelasan

Pengelasan adalah proses penyambungan atau penyatuan dua atau lebih bahan logam atau logam paduan dengan cara melelehkan dan menggabungkan bagian-bagian tersebut. Dalam proses ini, melibatkan pemanasan material hingga

suhu leleh menjadi satu membentuk sambungan yang kuat. Pengelesan menurut DIN (*Deutsche Industrie Norman*) adalah sesuatu ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair, dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas (Helanianto et al., 2020).

2.3 Pengelasan GMAW

Gas Metal Arc Welding (GMAW) merupakan proses pengelasan yang banyak digunakan dalam industri. Proses pengelasan GMAW menggunakan logam pengisi kawat padat yang diumpankan secara kontinyu dan busur yang dihasilkan dilindungi oleh gas inert seperti argon atau helium (Toruan et al., 2023). Pengelasan GMAW (Gas Metal Arc Welding) menggunakan gas pelindung. Gas pelindung melindungi logam gas selama proses pengelasan dan mencegah kontaminasi udara sekitar logam las, karena logam las sangat rentan terhadap difusi hidrogen yang dapat menyebabkan kerusakan pori pori. Pengelasan GMAW menggunakan karbon dioksida (CO₂), biasa disebut MIG sebagai gasnya. (Abadi et al., 2019).



Gambar 2.1 Pengelasan GMAW atau MIG (Abadi et al., 2019)

Proses pengelasan MIG (Metal Inert Gas) menggunakan gas CO₂ sebagai gas pelindung dan kawat las padat sebagai bahan pengisi. Kawat las digulung menjadi gulungan dan diumpankan terus menerus pada saat proses pengelasan. Pengelasan menggunakan zat pengoksidasi yang melindungi gas CO₂, sehingga

cocok untuk pengelasan dalam konstruksi dan manufaktur. Proses pengelasan MIG biasanya digunakan untuk mengelas material yang terbuat dari aluminium atau *stainless steel*.

2.4 Filler Metal Atau Elektroda

Elektroda adalah logam yang ditambahkan dalam proses pengelasan, penyolderan, atau pematiran untuk menyatukan dua logam terpisah. Pemilihan jenis bahan pengisi yang digunakan untuk menyambung dua bahan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanik dan mekanik bahan yang akan disambung. Oleh karena itu, harus diperhatikan secara detail untuk menentukan filler mana yang akan digunakan dalam proses pengelasan. Logam pengisi yang digunakan berbeda-beda tergantung pada jenis pengelasan. Elektroda ER70S-6 yang digunakan pada penelitian ini berdiameter 1.2 mm (Liu et al., 2023).

Tabel 2.1 AWS Filler Metal Specification (References, 2007)

	OFW	SMAW	GTAW GMAW PAW	FCAW	SAW	ESW	EGW	Brazing
Carbon Steel	A5.2	A5.1	A5.18, A5.36	A5.36	A5.17	A5.25	A5.26	A5.8, A5.31
Low-Alloy Steel	A5.2	A5.5	A5.28, A5.36	A5.36	A5.23	A5.25	A5.26	A5.8, A5.31
Stainless Steel		A5.4	A5.9, A5.22	A5.22	A5.9	A5.9	A5.9	A5.8, A5.31
Cast Iron	A5.15	A5.15	A5.15	A5.15				A5.8, A5.31
Nickel Alloys		A5.11	A5.14	A5.34	A5.14	A5.14		A5.8, A5.31
Aluminum Alloys		A5.3	A5.10					A5.8, A5.31
Copper Alloys		A5.6	A5.7					A5.8, A5.31
Titanium Alloys			A5.16					A5.8, A5.31
Zirconium Alloys			A5.24					A5.8, A5.31
Magnesium Alloys			A5.19					A5.8, A5.31
Tungsten Electrodes			A5.12					
Brazing Alloys and Fluxes								A5.8, A5.31
Surfacing Alloys	A5.21	A5.13	A5.21	A5.21	A5.21			
Consumable Inserts			A5.30					
Shielding Gases			A5.32	A5.32			A5.32	

Dimana pada tabel diatas tersebut adalah standard filler metal yang digunakan pada material yang ingin diinginkan untuk melakukan proses konstruksi pengelasan.

2.5 Klasifikasi Elektroda

Pada elektroda terdapat nomor yang digunakan untuk mengidentifikasi jenis elektroda dan las. Elektroda baja ringan dan baja Paduan rendah berdasarkan standard (AWS A5.18-79) *American Welding Society* (Information, 2010).

misalnya ER70S-6 yang artinya :

- Huruf “ER” di awal klasifikasi menunjukkan bahwa logam pengisi yang dapat digunakan sebagai elektroda atau batang las.
- Angka 70 menunjukkan kekuatan tarik minimum yang diperlukan dalam kelipatan 6,9 MPa (1000 psi) logam las pada las uji yang dibuat dengan elektroda sesuai dengan kondisi pengelasan yang ditentukan.
- Huruf “S” menunjukkan elektroda atau batang yang padat
- Akhiran angka 6 mengacu pada komposisi kimia tertentu

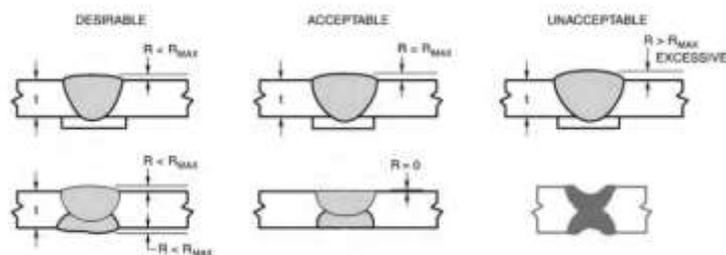
2.6 Jenis Jenis Sambungan

Sambungan las adalah penyambungan antara dua atau lebih permukaan logam dengan cara memanaskan secara setempat permukaan benda yang disambung. Untuk dapat menyambungkan dua komponen logam diperlukan berbagai jenis sambungan. Sehingga terdapat kesatuan antar komponen yang terhubung (Jatnika et al., 2021).

Beberapa jenis sambungan antara lain :

2.6.1 Sambungan Butt Joint

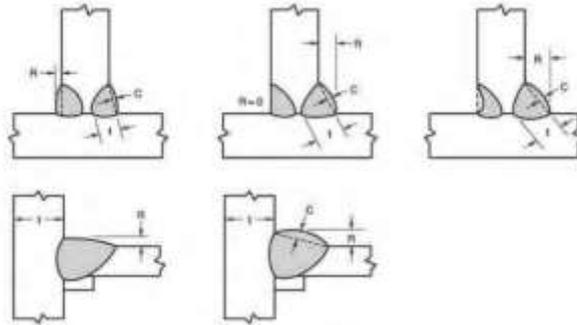
Sambungan butt joint adalah jenis sambungan Dimana dua bagian benda yang akan disambung diletakkan pada bidang datar yang sama dan disambung pada kedua ujungnya.



Gambar 2.2 Sambungan *Butt Joint* (AWS, 2020)

2.6.2 Sambungan T (Tee Joint)

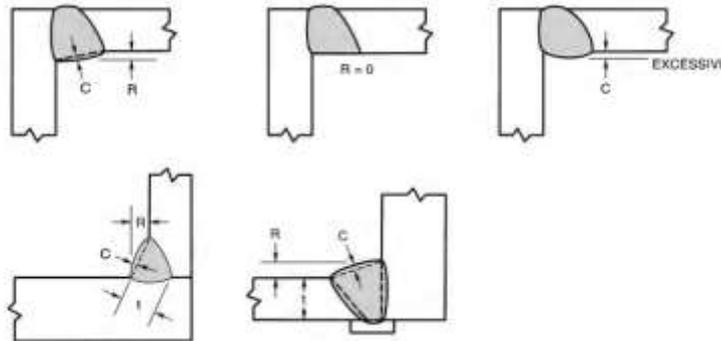
Dimana sambungan ini yang diletakkan tegak lurus pada bagian yang lain dan membentuk huruf T yang terbalik.



Gambar 2.3 Sambungan T (*Tee Joint*) (AWS, 2020)

2.6.3 Sambungan Sudut (Corner Joint)

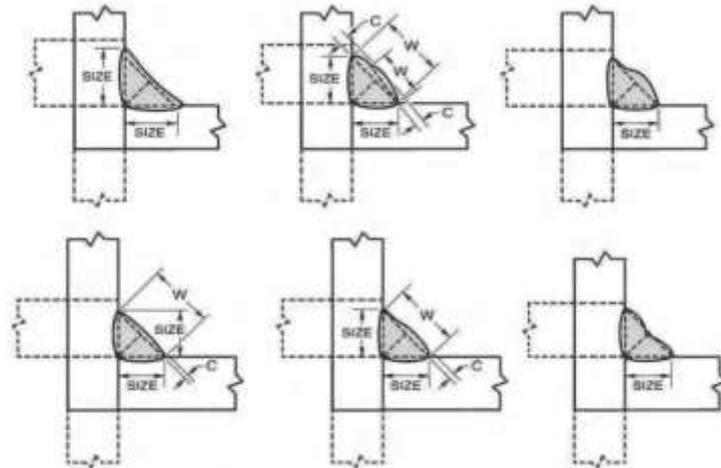
Jenis sambungan yang biasanya terbentuk dua bahan bergabung membentuk sudut siku siku.



Gambar 2.4 Sambungan Sudut (*Corner Joint*) (AWS, 2020)

2.6.4 Sambungan Tumpang (Lap Joint)

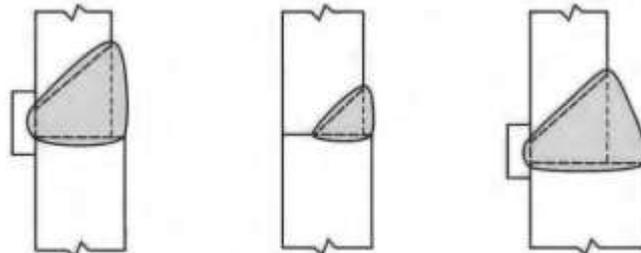
Sambungan tumpang merupakan suatu cara menyatukan atau menggabungkan dua benda dengan cara meletakkan tapi suatu benda di atas atau di samping tepi benda lainnya.



Gambar 2.5 Sambungan Tumpang (*Lap Joint*) (AWS, 2020)

2.6.5 Sambungan Sisi (*Edge Joint*)

Sambungan ini merupakan suatu metode penyambungan dua benda yang akan disambung dengan sejajar, dan kedua sambungan ini ujungnya dibuat sejajar.



Gambar 2.6 Sambungan Sisi (*Edge Joint*) (AWS, 2020)

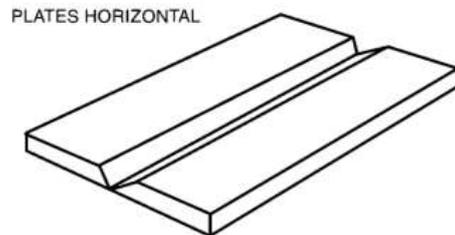
2.7 Posisi Pengelasan

Posisi pada pengelasan adalah mengatur posisi dan gerakan arah dari elektroda sewaktu pengelasan. Bidang pengelasan mempunyai istilah atau simbol G dan F dimana huruf G dan F melambangkan bagaimana kedua bahan tersebut disambungkan. Penggunaan angka pada posisi pengelasan biasanya diawali dengan huruf G dan F. Simbol angka 1,2,3 dan 4 menunjukkan penempatan material yang akan dilas diletakkan. Posisi pengelasan ini sesuai dengan prosedur standard AWS (American Welding Society) (Duniawan, 2015).

Berikut macam macam posisi pengelasan sebagai berikut:

2.7.1 Posisi 1G

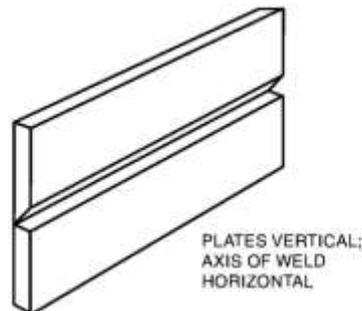
Posisi pengelasan yang digunakan untuk mengelas dari sisi atas, daerah permukaan yang dilas secara horizontal.



Gambar 2.7 Posisi 1G *Groove Weld* (AWS, 2020)

2.7.2 Posisi 2G

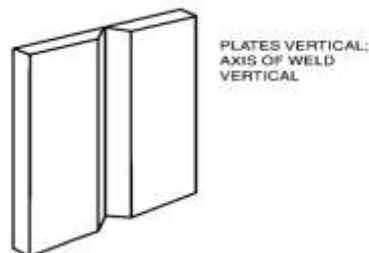
Posisi pengelasan dimana sumbu las terletak pada bidang horizontal dan permukaan las terletak pada bidang vertical.



Gambar 2.8 Posisi 2G *Groove Weld* (AWS, 2020)

2.7.3 Posisi 3G

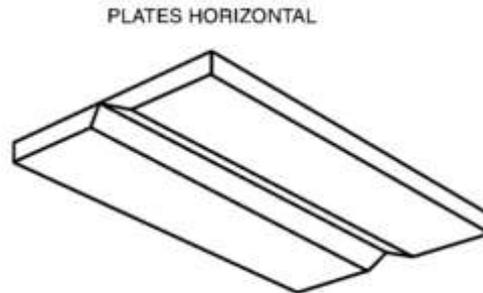
Posisi pengelasan dimana sumbu las berposisi secara vertical.



Gambar 2.9 Posisi 3G *Groove Weld* (AWS, 2020)

2.7.4 Posisi 4G

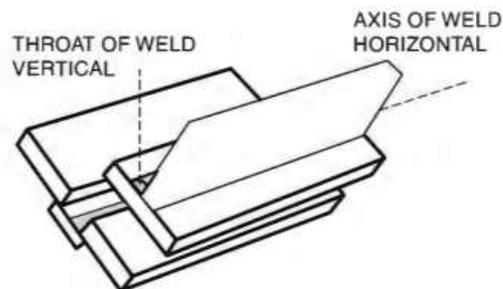
Posisi pengelasan dimana sumbu las dilakukan dari bawah joint



Gambar 2.10 Posisi 4G *Groove Weld* (AWS, 2020)

2.7.5 Posisi 1F

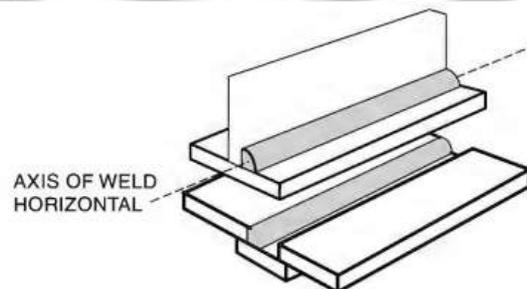
Posisi pengelasan yang dilakukan dari sisi atas, permukaan lasan horizontal.



Gambar 2.11 Posisi 1F *Fillet Weld* (AWS, 2020)

2.7.6 Posisi 2F

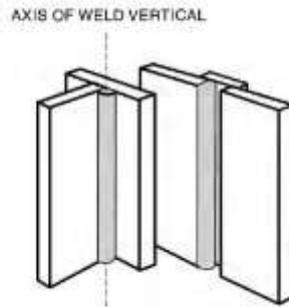
Posisi dimana materialnya yang terletak horizontal dan pengelasannya dari atas.



Gambar 2.12 Posisi 2F *Fillet Weld* (AWS, 2020)

2.7.7 Posisi 3F

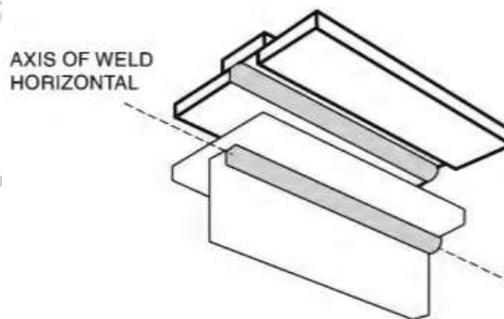
Posisi pengelasan dimana proses saat las dari atas atau vertical.



Gambar 2.13 Posisi 3F *Fillet Weld* (AWS, 2020)

2.7.8 Posisi 4F

Posisi pengelasan dimana proses saat las sambungan vertical dari bawah ke atas.



Gambar 2.14 Posisi 4F *Fillet Weld* (AWS, 2020)

2.8 Definisi Baja Karbon

Baja adalah logam yang menggabungkan besi (Fe) dan karbon (C). Besi (Fe) merupakan unsur dasar baja dan memiliki titik leleh 1538°C. Kandungan unsur karbon pada baja berkisar antara 0,2% hingga 2,1%. Baja merupakan logam yang keras, ulet, dan tahan karat. Baja juga material logam yang paling populer dan banyak digunakan dalam industri. Hal ini dikarenakan baja mempunyai sifat yang kuat. Ketangguhan tersebut disebabkan adanya unsur tambahan seperti Cr, Ni, Si dan Mn yang dapat meningkatkan kekuatan baja (Siregar & Nasution, 2018)

Kandungan karbon dalam baja bervariasi dari 0,1% hingga 1,7% tergantung pada kualitasnya. Selama pembuatan baja, selain karbon, unsur lain tetap ada dalam

baja, seperti mangan (Mn), kromium (Cr), dan vanadium (V). Berdasarkan komposisi, sebenarnya baja terdiri dari beberapa jenis seperti baja karbon (*Carbon Steel*) dan baja Paduan (*Alloy Steel*) (Azhari, 2012).

2.9 Klasifikasi Baja

Baja karbon digolongkan menjadi tiga tingkatan berdsarkan kandungan jumlah kadar karbon yaitu :

A. Baja Karbon Rendah (Low Carbon Steel)

Baja karbon rendah adalah baja dengan kandungan kadar karbon 0,01% - 0,25%. Baja karbon rendah yang tersedia secara komersial diproduksi dalam bentuk seperti plat, profil, dan batangan untuk tujuan seperti penempaan dan permesinan (Gunawan et al., 2017).

B. Baja Karbon Menengah (Madium Carbon Steel)

Baja karbon menengah adalah baja yang mengandung kadar karbon antara 0,30% - 0,60%. Penggunaan baja ini digunakan untuk keperluan membuat perkakas bagian mesin seperti roda gigi, pegas, baut, dan ragum (Gunawan et al., 2017).

C. Baja Karbon Tinggi (High Carbon Steel)

Baja karbon tinggi adalah baja yang mengandung kadar karbon antara 0,60% - 1,50% karbon. Baja ini mempunyai kekuatan paling tinggi dan banyak digunakan untuk material tools. Baja karbon tinggi banyak digunakan dalam pembuatan alat-alat seperti palu, gergaji, pahat potong, dan kikir (Gunawan et al., 2017).

2.10 Base Metal S355J2

Baja S355J2 merupakan baja karbon rendah berkuatan tinggi yang banyak digunakan untuk rangka kendaraan karena kemampuannya dalam melakukan beban dinamis dan beroperasi pada suhu rendah. Kekuatan diciptakan oleh perlakuan panas selama proses pembuatan (Muhayat, 2023).

Komposisi kimia baja tersebut ditentukan dalam standard EN 10025-2:2004 dan ditunjukkan pada Tabel 2.2 sesuai standard yang ada (Seitl et al., 2018).

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Persentase Berat (wt.%) Standard EN 10025-2:2004 (Seitl et al., 2018)

Carbon Steel	C (max.%)	Mn (max.%)	Si (max.%)	P (max.%)	S (max.%)	N (max.%)	Cu (max.%)	CUV (max.%)
S355J2	0.2	1.6	0.55	0.03	0.03	-	0.55	0.47

Arti dari material baja S355J2 sebagai berikut:

- Huruf “S” menunjukkan pada baja struktural
- Pada angka 355 menunjukkan nilai kekuatan minimum dari baja megapascal (Mpa)
- J2 merupakan nilai kemampuan tahan terhadap patahan. Kode “J” mengindikasikan pada suhu 20° C dan nilai energi minimum 27 Joule

2.11 Uji Material

Pengujian pada penelitian ini dibagi menjadi dua yaitu pengujian tanpa merusak (*Non-Destructive Test*) dan pengujian dengan merusak (*Destructive Test*).

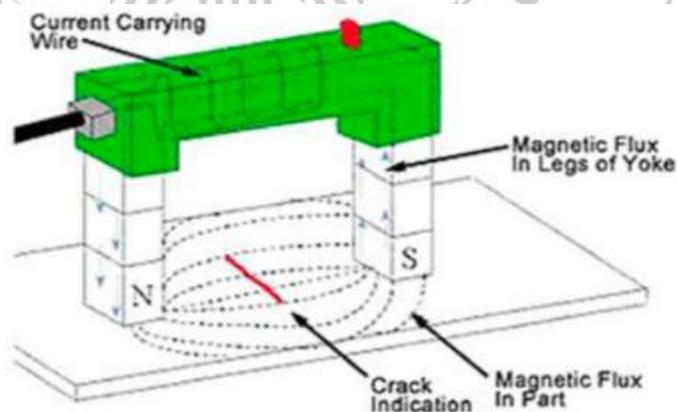
2.12 Non-Destructive Test (NDT)

Pengujian *Non-Destructive Test* (NDT) adalah proses pemeriksaan, pengujian, dan evaluasi material, komponen, serta mengidentifikasi cacat las pada material tanpa menyebabkan kerusakan. Teknik NDT yang umum digunakan meliputi pengujian *Visual*, *Penetran Test*, *Magnetic Test*, *Ultrasonic Test*, dan *Radiography Test* (Helal et al., 2015). Pengujian *Non-Destructive Test* sangat penting dalam industri karena membantu memastikan kualitas produk dan bahan sebelum digunakan atau dijual. Dalam melakukan pengujian *Non-Destructive Test*, para *Inspector Welding* dapat mengidentifikasi cacat las tanpa merusak sehingga dapat membantu mencegah cacat las yang terjadi pada produk di masa depan. Oleh karena

itu, pengujian NDT secara rutin membantu memastikan bahwa material dan peralatan memenuhi standard keselamatan yang ditetapkan (Silaen et al., 2023).

2.12.1 Magnetic Test

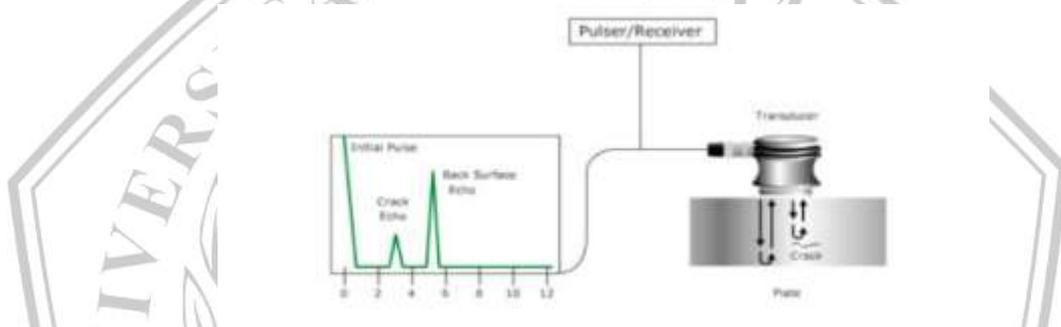
Metode ini menggunakan medan magnet dan partikel magnet kecil, seperti serbuk besi untuk mendeteksi cacat las pada komponen. Salah satunya persyaratan dari sudut pandang kemampuan pengujian adalah bahan komponen yang diuji harus terbuat dari bahan feromagnetik, karena bahan feromagnetik seperti besi, nikel, atau paduannya dapat dimagnetisasi sampai batas tertentu sehingga pemeriksaannya akan efektif. Dalam penerapan paling sederhana, elektromagnetik ditempatkan pada permukaan bagian yang diuji, serbuk besi dispray pada permukaan, dan elektromagnetik diberi energi sehingga terjadi diskontinuitas pada permukaan suatu bagian, seperti retakan atau cacat, fluks magnet pada lokasi tersebut terputus dan terbentuk kutub selatan dan utara di setiap ujung diskontinuitas tersebut. Kemudian, seperti partikel besi yang tersebar pada magnet yang retak, partikel tertarik ke tepi kutub magnet dan berkumpul, partikel besi juga tertarik ke tepi retakan, dan bertindak seperti kutub magnet sehingga dapat dilihat pada Gambar 2.15. Metode ini tepat untuk mendeteksi diskontinuitas permukaan pada material (Dwivedi et al., 2018).



Gambar 2.15 Pengujian *Magnetic Test* (Du et al., 2018)

2.12.2 Ultrasonic Test

Pengujian *Ultrasonic Test* (UT) adalah pengujian tanpa merusak material yang menggunakan gelombang ultrasonic untuk mengidentifikasi cacat las dalam material dan struktur dengan cara mengirimkan gelombang ultrasonic. Dalam deteksi cacat las, frekuensi ini biasanya berkisar antara 0,5 – 5 MHz. Pada saat proses identifikasi ultrasonic test jika ada gelombang cacat las di jalurnya, gelombang tersebut dipantulkan dari permukaan cacat dan diubah menjadi sinyal listrik yang ditampilkan di layer monitor. Namun jika tidak ada cacat maka akan melewati struktur tanpa hambatan sehingga bisa dilihat pada Gambar 2.16 (Kroworz & Katunin, 2018).



Gambar 2.16 Pengujian *Ultrasonic Test*. (Du et al., 2018)

2.13 Pengujian Destructive Test (DT)

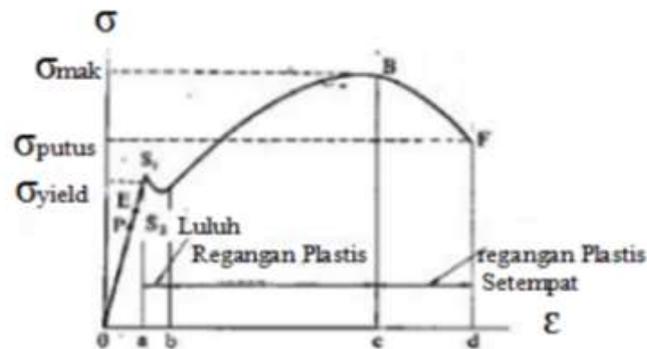
Destructive test adalah pengujian yang merusak atau merusak suatu bahan atau komponen secara permanen. Metode ini dilakukan untuk memahami karakteristik sifat mekanis, fisik, kimia, atau lainnya dari bahan atau komponen yang diuji. Pengujian merusak ini ada beberapa pengujian antara lain kekuatan tarik, uji impak, uji banding, uji kekerasan dan lain-lainnya (Sutisna, 2021).

2.13.1 Sifat Mekanik

Sifat mekanik suatu material adalah kemampuannya dalam menerima beban (beban statis atau dinamis) tanpa merusak material tersebut. Sifat mekanik material meliputi kekuatan, keuletan, dan kekerasan. Untuk menentukan sifat mekanik suatu material, pengujian harus dilakukan pada material tersebut (Rahmatika et al., 2021).

2.13.2 Pengujian Tarik (Tensile Test)

Proses pengujian tarik adalah suatu pengujian dimana gaya tarik atau regangan diterapkan pada suatu material dengan tujuan untuk mengetahui kekuatan tarik material tersebut. Tegangan tarik yang digunakan adalah tegangan atau regangan pada sumbu benda uji. Pengujian tarik dilakukan dengan cara penarikan dengan gaya tarik terus menerus yang meningkat terus menerus sehingga material putus, dengan tujuan untuk mengetahui nilai kekuatan tariknya. Pada gambar 2.17 dalam pengujian tarik, beban diterapkan secara terus menerus dan ditingkatkan secara bertahap, dengan dilakukan pengamatan pada benda uji dan dihasilkan kurva tegangan regangan (Denti Salindeho et al., 2013).



Gambar 2.17 Kurva Tegangan Regangan Uji Tarik (Rosidi et al., 2019)

$$\text{Tegangan : } \sigma = \frac{F}{A_0}$$

Dimana : σ = Tegangan (N/mm²)

F = Beban (N)

A₀ = Luas mula dari penampang awal batang uji (mm²)

Regangan (Persentase Pertambahan Panjang) yang di peroleh dengan membagi pertambahan panjang ukur (ΔL).

$$\text{Regangan : } \sigma \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%$$

Dimana : ε = Regangan (%)

L₀ = Panjang mula mula batang uji (mm)

ΔL = Pertambahan panjang (mm)

L = Panjang batang uji (mm)

Modulus elastisitas, juga dikenal sebagai modulus Young atau modulus kekakuan, merupakan parameter yang mengukur elastisitas suatu material uji. Modulus elastisitas (E) dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

Modulus elastisitas : $E \frac{\sigma}{\epsilon}$

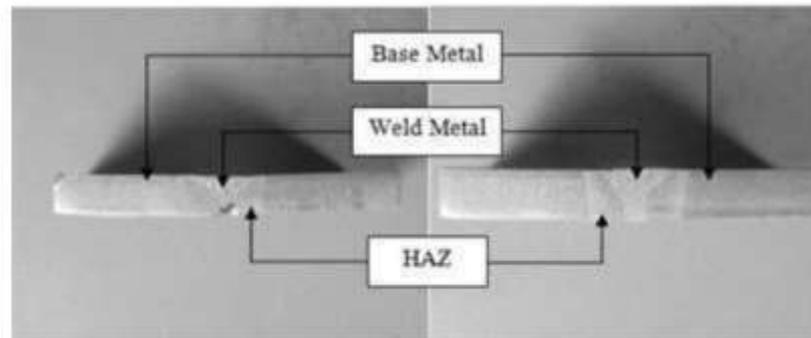
Dimana : E = Modulus elastisitas (Young Modulus)

σ = Tegangan

ϵ = Regangan

2.13.3 Pengujian Pengamatan Struktur Macro (HAZ)

Pengujian pada area zona yang terpengaruh panas *Heat Effected Zone* (HAZ) adalah logam dasar yang berdekatan dengan logam las yang mengalami siklus pemanasan dan pendinginan yang cepat selama proses pengelasan, sehingga merupakan area paling kritis pada las. Pengamatan mikro hasil pengelasan dilakukan untuk mengetahui bentuk dan lebar HAZ (*Heat Effected Zone*). Pengamatan pengujian macro ditunjukkan pada Gambar 2.18 (Kurniati et al., 2015).



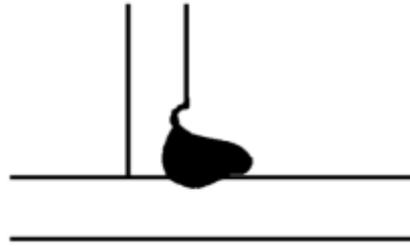
Gambar 2.18 Pengamatan *Macro* (HAZ) (Kurniati et al., 2015)

2.14 Cacat Pengelasan (Weld Defect)

Cacat las terjadi akibat tidak mengikuti prosedur pengelasan yang tidak memenuhi persyaratan penerimaan yang ditentukan oleh standard (ASME, AWS, API, ASTM). Cacat las dapat disebabkan oleh prosedur pengelasan yang tidak tepat, persiapan yang tidak tepat, dan bahkan peralatan perlengkapan yang di bawah standard. Ada beberapa jenis cacat las sebagai berikut :

2.14.1 Cacat Las Undercut

Undercut adalah cacat las pada permukaan pengelasan yang kurangnya pengisian yang mengakibatkan cacat seperti cerukan atau celah pada permukaan material.



Gambar 2.19 Cacat Las *Undercut* (Brien, 2013)

Penyebab terjadinya cacat las *undercut* adalah arus terlalu tinggi, sudut elektroda tidak mencukupi, dan pada saat pengelasan terlalu cepat.

2.14.2 Cacat Las Underfill

Underfill merupakan cacat pengelasan dimana permukaan material kurang terisi, dan permukaan benda kerja lebih tinggi dari daerah las atau kampuh las.

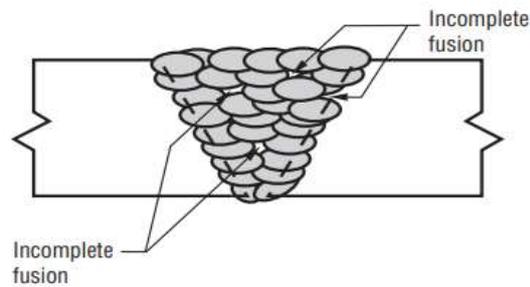


Gambar 2.20 Cacat Las *Underfill* (Brien, 2013)

Penyebab cacat tersebut kecepatan pada saat pengelasan terlalu cepat.

2.14.3 Cacat Las Lack Of Fusion

Cacat las *Lack Of Fusion* adalah hasil pengelasan yang kurangnya antara dua daerah yang ketidaksempurnaan antara logam las dan logam induk. Cacat ini biasanya terjadi di bagian sisi las.



Gambar 2.21 Cacat Las *Lack Of Fusion*
(American Welding Society, 2015)

Penyebab yang terjadi pada cacat tersebut adalah pada permukaan kampuh terdapat kotoran, ampere terlalu rendah, dan kecepatan pengelasan terlalu cepat.

2.14.4 Cacat Las Porosity

Cacat las *porosity* adalah cacat yang berbentuk lubang kecil dalam logam yang dilebur selama proses pengelasan.



Gambar 2.22 Cacat Las *Porosity*
(American Welding Society, 2015)

Penyebab cacat tersebut adalah dimana elektroda yang digunakan lembab, arus pengelasan terlalu rendah, dan kotoran yang ada pada material.

2.14.5 Cacat Las Slag Inclusion

Cacat las *slag inclusion* dimana kondisi partikel serpihan atau slag (lapisan pelindung yang meleleh selama proses pengelasan) terperangkap didalam logam las.



Gambar 2.23 Cacat Las *Slag Inclusion* (Brien, 2013)

Penyebab cacat tersebut dimana proses pengelasan tidak mengikuti prosedur yang ada dan elektroda yang digunakan tidak sesuai.

2.14.6 Cacat Las Crack

Cacat las *crack* adalah cacat yang muncul setelah selesai pada saat proses pengelasan selesai atau proses pendingina.

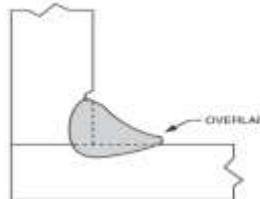


Gambar 2.24 Cacat Las *Crack* (Brien, 2013)

Penyebab cacat yang terjadi adalah arus ampere yang terlalu tinggi, pemanasan material yang kurang, dan permukaan material pengelasan kotor.

2.14.7 Cacat Las Overlap

Cacat las *overlap* adalah kondisi logam las yang melebihi permukaan material pengelasan sehingga logam las tumpang tindih.



Gambar 2.25 Cacat Las *Overlap* (Brien, 2013)

Penyebab terjadinya cacat las overlap karena teknik pengelasannya tidak sesuai dengan standard yang ada