

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia industri, pengelasan adalah salah satu metode penyambungan material yang paling banyak digunakan, terutama dalam bidang konstruksi, manufaktur, dan otomotif. Pengelasan memungkinkan penyatuan dua atau lebih komponen logam menjadi satu kesatuan struktur yang kuat dan kokoh. Proses ini sangat penting dalam membangun berbagai struktur seperti jembatan, gedung, kendaraan, dan peralatan mesin. Kualitas pengelasan sangat mempengaruhi keselamatan dan ketahanan struktur yang dibangun.

Material baja karbon, yang merupakan salah satu jenis baja yang paling umum digunakan dalam industri, memiliki sifat-sifat mekanis yang baik, termasuk kekuatan tarik yang tinggi, kemampuan dibentuk, dan ketahanan terhadap korosi. Namun, material baja karbon juga memiliki tantangan tersendiri dalam proses pengelasan, terutama dalam menjaga integritas sambungan yang dilas. Kesalahan dalam proses pengelasan dapat menyebabkan cacat pada sambungan, seperti retak, porositas, dan deformasi, yang pada akhirnya dapat mengurangi kekuatan tarik sambungan tersebut.

Kekuatan tarik merupakan salah satu parameter kritis dalam menentukan kualitas sambungan las, terutama dalam aplikasi di mana beban tarik merupakan gaya dominan yang bekerja pada struktur. Oleh karena itu, penting untuk memahami bagaimana masing-masing jenis baja karbon ini berperilaku ketika dilas, dan bagaimana kekuatan tarik sambungan tersebut dapat dioptimalkan melalui pengaturan parameter pengelasan yang tepat.

Penelitian terkait kekuatan tarik pada pengelasan sambungan material baja karbon juga telah dilakukan oleh para peneliti di Indonesia dalam satu dekade terakhir. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Susanto dan Riyanto (2019), pengaruh variasi parameter pengelasan, seperti arus, tegangan, dan kecepatan pengelasan, terhadap kekuatan tarik sambungan pengelasan baja karbon diidentifikasi sebagai faktor penting yang perlu dipertimbangkan. Hasil penelitian ini memberikan wawasan yang penting bagi industri manufaktur di Indonesia dalam mengoptimalkan proses pengelasan.

Selain itu, penelitian oleh Pratama et al. (2021) juga menyoroti pentingnya pemilihan metode pengelasan yang tepat dalam mencapai kekuatan tarik yang optimal pada sambungan pengelasan baja karbon. Studi ini menunjukkan bahwa penggunaan teknik pengelasan tertentu dapat menghasilkan sambungan dengan kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan teknik pengelasan lainnya.

Dari penelitian-penelitian tersebut, terlihat bahwa pemahaman terhadap kekuatan tarik pada pengelasan sambungan material baja karbon telah menjadi perhatian utama para peneliti di Indonesia dalam dekade terakhir. Namun, perbandingan langsung antara temuan mereka dengan penelitian dari luar negeri masih perlu dilakukan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih holistik mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan tarik sambungan pengelasan baja karbon.

1.2 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui kekuatan tarik pengelasan sambungan pada material baja karbon rendah (ST41), sedang (SA45R), dan tinggi (440C).
2. Untuk mengetahui kekuatan luluh pengelasan sambungan pada material baja karbon rendah (ST41), sedang (SA45R), dan tinggi (440C).

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diterapkan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dibatasi pada tiga jenis baja karbon, yaitu ST41, SA45R, dan 440C. Material lain yang memiliki sifat mekanis atau komposisi kimia yang berbeda tidak termasuk dalam lingkup penelitian ini.
2. Jenis pengelasan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*).

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini dapat dirinci sebagai berikut:

1. Membantu memberikan perbekalan pengetahuan dan keterampilan kepada setiap mahasiswa tentang kondisi yang terdapat di lapangan secara nyata.
2. Membuka wawasan setiap mahasiswa untuk mendapatkan pengetahuan melalui ujicoba penelitian ini.
3. Mewujudkan program keterkaitan dan kesepadanan antara dunia pendidikan dengan dunia industri/kerja.
4. Menjadi fasilitator bagi pengembangan minat mahasiswa yang berkaitan.
5. Dapat saling menukar informasi perkembangan teknologi antara institusi pengguna teknologi dengan lembaga perguruan tinggi.

6. Dapat membantu melaksanakan uji coba dengan baik dan benar sesuai tata cara yang ditentukan.
7. Mengetahui kekuatan sambungan las antara baja karbon rendah (ST41), sedang (SA45R), dan tinggi (440C).
8. Mengetahui pengaruh cara penggunaan metode SMAW pada pengelasan baja karbon rendah (ST41), sedang (SA45R), dan tinggi (440C).

BAB II

DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengelasan

2.1.1 Pengertian dan Prinsip Dasar Pengelasan

Pengelasan adalah proses penyambungan dua atau lebih material, umumnya logam atau termoplastik, dengan cara mencairkan material yang akan disambung dan menambahkan bahan pengisi (*filler*) untuk membentuk sambungan yang solid setelah pendinginan. Proses ini melibatkan sumber panas untuk mencairkan material, dan sering kali dilakukan di bawah tekanan untuk membantu penyatuan material. Dalam konteks baja karbon, pengelasan adalah salah satu metode penyambungan yang paling umum digunakan karena baja karbon merupakan material yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri.

Dalam proses pengelasan, terdapat beberapa elemen utama yang terlibat, termasuk:

1. Bahan Kerja (*Base Metal*): Material yang akan disambungkan, dalam konteks ini adalah material baja karbon. Material ini harus dipersiapkan dengan baik sebelum proses pengelasan untuk memastikan kekuatan dan kualitas sambungan yang optimal.
2. Peleburan (*Melting*): Proses melelehkan bagian-bagian material yang akan disambungkan dengan menggunakan sumber panas, seperti busur listrik atau gas.
3. Pengisi (*Filler Material*): Material tambahan yang digunakan untuk

mengisi celah antara bagian-bagian material yang disambungkan, jika diperlukan untuk meningkatkan kekuatan atau keawetan sambungan.

4. Pelindung (*Shielding*): Penggunaan gas atau bahan lainnya untuk melindungi area pengelasan dari kontaminasi atmosfer yang dapat mengurangi kualitas sambungan.

Pengelasan memiliki peran yang sangat penting dalam berbagai industri, termasuk konstruksi bangunan, manufaktur kendaraan, produksi peralatan industri, dan banyak lagi. Kualitas sambungan yang dihasilkan dari proses pengelasan dapat mempengaruhi kekuatan, keawetan, dan keselamatan struktur dan produk akhir. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam tentang pengelasan dan penerapannya dalam material baja karbon menjadi sangat penting dalam konteks penelitian ini.

2.1.2 Tujuan Pengelasan

- a. Membentuk Sambungan yang Kokoh: Pengelasan bertujuan untuk membuat sambungan antara dua atau lebih bahan logam sehingga membentuk struktur yang kokoh dan tahan lama.
- b. Menghindari Kelemahan Struktural: Proses pengelasan juga bertujuan untuk menghindari kelemahan struktural seperti retak atau cacat dalam sambungan yang dapat mengurangi kekuatan struktur keseluruhan.

2.1.3 Penerapan Pengelasan

- a. Industri Konstruksi: Pengelasan digunakan secara luas dalam

pembangunan gedung, jembatan, dan infrastruktur lainnya.

- b. Industri Otomotif: Proses pengelasan digunakan dalam pembuatan kendaraan bermotor seperti mobil dan sepeda motor.
- c. Industri Manufaktur: Berbagai produk manufaktur dari peralatan rumah tangga hingga peralatan industri menggunakan proses pengelasan dalam pembuatannya.

Dengan demikian, pengelasan merupakan proses kunci dalam pembuatan struktur logam yang kokoh dan tahan lama, serta memiliki berbagai aplikasi dalam industri manufaktur dan konstruksi.

2.2 Baja Karbon: Karakteristik dan Penggunaan

Baja karbon adalah jenis baja yang mengandung karbon sebagai unsur penguat utama, dengan kandungan karbon biasanya berkisar antara 0,05% hingga 2,0%. Baja karbon diklasifikasikan berdasarkan kandungan karbonnya, yaitu baja karbon rendah, baja karbon sedang, dan baja karbon tinggi. Karakteristik utama baja karbon meliputi kekuatan yang baik, kemampuan dibentuk, dan ketahanan terhadap korosi.

2.2.1 Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah atau ringan merupakan salah satu jenis material yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi konstruksi, termasuk dalam proses pengelasan untuk pembuatan sambungan. Baja karbon rendah memiliki kadar karbon yang relatif rendah, biasanya kurang dari 0,3% berat, sehingga memiliki sifat-sifat mekanis yang sesuai untuk penggunaan umum.

Sifat-sifat mekanis dari baja karbon rendah, seperti kekuatan tarik, kekerasan, dan keuletan, sangat dipengaruhi oleh proses pengelasan dan parameter pengelasan yang digunakan. Penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa variasi dalam teknik pengelasan, seperti penggunaan elektroda yang berbeda, arus, tegangan, dan tekanan gas pelindung, dapat memberikan dampak yang signifikan terhadap kekuatan tarik dari sambungan pengelasan baja karbon rendah.

Selain itu, sifat-sifat mikrostruktur dari baja karbon rendah juga berperan penting dalam menentukan kekuatan tarik dari sambungan pengelasan. Kristalinitas, ukuran butir, dan distribusi fase juga menjadi faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam analisis kekuatan tarik pada pengelasan sambungan material baja karbon rendah.

Sifat mekanis dari baja karbon rendah menjadi penentu utama dalam mengevaluasi kekuatan tarik pada pengelasan sambungan material ini. Kekuatan tarik baja karbon rendah dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk kekerasan, keuletan, dan ketangguhan material. Menurut penelitian oleh Wang et al. (2017), variasi dalam proses pengelasan dapat mempengaruhi sifat mekanis baja karbon rendah, yang pada akhirnya akan memengaruhi kekuatan tarik sambungan pengelasan.

Selain itu, sifat mikrostruktur baja karbon rendah juga berkontribusi secara signifikan terhadap kekuatan tarik sambungan pengelasan. Penelitian oleh Chen et al. (2019) menunjukkan bahwa distribusi butiran dan fasa pada struktur mikro baja karbon rendah dapat memengaruhi resistansi terhadap pembentukan retakan dan deformasi plastis, yang pada gilirannya akan mempengaruhi kekuatan tarik dari sambungan pengelasan.

Dari sudut pandang praktis, pemahaman yang mendalam tentang sifat-sifat mekanis dan mikrostruktur baja karbon rendah sangat penting bagi para insinyur dan teknisi dalam merancang proses pengelasan yang optimal untuk mencapai kekuatan tarik yang diinginkan pada sambungan pengelasan.

Penting untuk memperhatikan bahwa pemilihan teknik pengelasan yang sesuai sangat berperan dalam mencapai kekuatan tarik yang optimal pada sambungan baja karbon rendah. Beberapa teknik pengelasan yang umum digunakan untuk baja karbon rendah meliputi pengelasan manual (SMAW), pengelasan gas (GMAW), dan pengelasan busur gas terproteksi (GTAW). Setiap teknik pengelasan memiliki karakteristik yang unik dan memengaruhi sifat mekanis dan mikrostruktur dari sambungan pengelasan.

Studi terbaru oleh Li et al. (2023) menyoroti perbedaan dalam karakteristik sifat mekanis dan mikrostruktur antara pengelasan SMAW, GMAW, dan GTAW pada baja karbon rendah. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengelasan dengan teknik GTAW cenderung menghasilkan sambungan dengan sifat mekanis yang lebih baik dan mikrostruktur yang lebih homogen dibandingkan dengan teknik pengelasan lainnya.

Selain itu, pengaturan parameter pengelasan, seperti arus, tegangan, kecepatan pengelasan, dan jenis elektroda atau bahan pengisi, juga memainkan peran penting dalam menentukan kekuatan tarik sambungan pengelasan baja karbon rendah. Penelitian yang dilakukan oleh Kim et al. (2021) menunjukkan bahwa variasi dalam parameter pengelasan dapat menghasilkan perbedaan signifikan dalam kekuatan tarik sambungan pengelasan, bahkan ketika menggunakan teknik pengelasan yang sama.

Dari penjelasan di atas, terlihat bahwa pemahaman yang mendalam tentang karakteristik sifat mekanis dan mikrostruktur baja karbon rendah, serta pengaruh teknik pengelasan dan parameter pengelasan, menjadi kunci dalam mencapai kekuatan tarik yang optimal pada sambungan pengelasan material ini. Oleh karena itu, penelitian ini akan melanjutkan dengan analisis perbandingan kekuatan tarik pada pengelasan sambungan baja karbon rendah menggunakan berbagai teknik pengelasan dan parameter pengelasan yang berbeda.

2.2.2 Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang, dengan kandungan karbon berkisar antara 0,3% hingga 0,6% berat, merupakan salah satu jenis material yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi konstruksi dan manufaktur. Karena kandungan karbon yang sedang, baja karbon sedang menawarkan kombinasi sifat-sifat mekanis yang sesuai untuk keperluan struktural yang beragam.

Proses pengelasan pada baja karbon sedang memainkan peran penting dalam pembentukan sambungan yang kuat dan tahan terhadap beban mekanis. Sama seperti pada baja karbon rendah, pengaruh teknik pengelasan dan parameter pengelasan juga sangat mempengaruhi kekuatan tarik sambungan pada baja karbon sedang.

Penelitian oleh Zhang et al. (2018) menunjukkan bahwa variasi dalam teknik pengelasan, seperti penggunaan gas pelindung, pengaturan arus, dan kecepatan pengelasan, dapat mempengaruhi distribusi mikrostruktur dan sifat mekanis dari sambungan pengelasan baja karbon sedang. Hasil penelitian ini

memberikan wawasan yang penting bagi insinyur dan teknisi dalam merancang proses pengelasan yang optimal untuk baja karbon sedang.

Selain itu, sifat mekanis dan mikrostruktur dari baja karbon sedang juga dipengaruhi oleh perlakuan panas setelah proses pengelasan. Penelitian oleh Wang et al. (2020) menyoroti pentingnya perlakuan panas pasca pengelasan dalam meningkatkan kekuatan tarik sambungan pengelasan baja karbon sedang. Dengan memahami pengaruh dari perlakuan panas pasca pengelasan, dapat dikembangkan strategi yang lebih efektif dalam meningkatkan kualitas dan keandalan sambungan pengelasan.

Dalam konteks penelitian ini, pemahaman yang mendalam tentang sifat-sifat mekanis, mikrostruktur, serta pengaruh teknik pengelasan dan perlakuan panas pasca pengelasan pada baja karbon sedang menjadi sangat penting dalam melakukan analisis perbandingan kekuatan tarik pada pengelasan sambungan material ini.

Pengaruh teknik pengelasan terhadap kekuatan tarik sambungan baja karbon sedang telah menjadi fokus penelitian dalam beberapa studi sebelumnya. Sebagai contoh, penelitian oleh Li et al. (2019) melakukan analisis komprehensif terhadap pengaruh variasi parameter pengelasan terhadap sifat mekanis dan mikrostruktur sambungan pengelasan baja karbon sedang. Hasil studi ini menyoroti pentingnya pengaturan parameter pengelasan yang tepat untuk mencapai kekuatan tarik yang optimal pada sambungan pengelasan.

Selain itu, penting untuk memperhatikan bahwa penggunaan bahan pengisi yang sesuai juga dapat mempengaruhi kekuatan tarik sambungan pengelasan baja karbon sedang. Penelitian oleh Chen et al. (2022) menunjukkan bahwa pemilihan

bahan pengisi yang memiliki komposisi kimia dan sifat mekanis yang sesuai dapat meningkatkan kekuatan tarik dan keuletan sambungan pengelasan.

Dari sisi perlakuan panas pasca pengelasan, penelitian oleh Zhao et al. (2021) menyoroti berbagai metode perlakuan panas yang dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan tarik sambungan pengelasan baja karbon sedang, seperti normalisasi, tempering, dan pengerasan permukaan. Hasil penelitian ini memberikan panduan praktis bagi industri dalam mengembangkan strategi perlakuan panas yang efektif untuk meningkatkan kualitas sambungan pengelasan.

Dengan demikian, melalui pemahaman yang mendalam tentang pengaruh teknik pengelasan, parameter pengelasan, dan perlakuan panas pasca pengelasan, dapat dikembangkan strategi yang lebih efektif dalam meningkatkan kekuatan tarik sambungan pengelasan baja karbon sedang.

2.2.3 Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi, dengan kandungan karbon yang melebihi 0,6% berat, memiliki sifat-sifat mekanis yang berbeda dari baja karbon rendah dan sedang. Baja karbon tinggi cenderung memiliki kekerasan yang lebih tinggi dan keuletan yang lebih rendah dibandingkan dengan baja karbon rendah dan sedang, yang membuat proses pengelasan menjadi lebih menantang.

Pengelasan pada baja karbon tinggi memerlukan perhatian khusus terhadap teknik pengelasan, parameter pengelasan, dan perlakuan panas pasca pengelasan untuk memastikan pembentukan sambungan yang kuat dan tahan terhadap beban mekanis. Penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa variasi

dalam teknik pengelasan dan parameter pengelasan dapat memberikan dampak yang signifikan terhadap sifat mekanis dan mikrostruktur sambungan pengelasan baja karbon tinggi.

Studi oleh Wang et al. (2019) menyoroti pentingnya pemilihan teknik pengelasan yang tepat untuk baja karbon tinggi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan teknik pengelasan yang sesuai dapat mengurangi risiko terjadinya retakan dan deformasi pada sambungan pengelasan, yang pada akhirnya akan meningkatkan kekuatan tarik sambungan.

Selain itu, penelitian oleh Liu et al. (2020) menunjukkan bahwa kontrol yang tepat terhadap parameter pengelasan, seperti arus, tegangan, dan kecepatan pengelasan, sangat penting untuk mencapai kekuatan tarik yang optimal pada sambungan pengelasan baja karbon tinggi. Hasil studi ini memberikan panduan praktis bagi insinyur dan teknisi dalam merancang proses pengelasan yang efektif untuk baja karbon tinggi.

Dari segi perlakuan panas pasca pengelasan, penelitian oleh Chen et al. (2023) menyoroti berbagai strategi perlakuan panas yang dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan tarik sambungan pengelasan baja karbon tinggi. Metode perlakuan panas yang efektif dapat membantu dalam memperbaiki struktur mikro dan mengurangi efek dari zona terpengaruh panas pada sambungan pengelasan.

Dengan demikian, pemahaman yang mendalam tentang pengaruh teknik pengelasan, parameter pengelasan, dan perlakuan panas pasca pengelasan pada baja karbon tinggi menjadi sangat penting dalam mencapai sambungan pengelasan yang berkualitas dan kuat.

Dalam konteks baja karbon tinggi, penting untuk dicatat bahwa sifat-sifat mekanis yang khas membutuhkan pendekatan yang hati-hati dalam proses pengelasan untuk meminimalkan risiko terjadinya cacat atau kerapuhan pada sambungan pengelasan. Penelitian oleh Zhang et al. (2021) menyoroti peran teknik pengelasan khusus, seperti penggunaan preheat dan post-weld heat treatment (*PWHT*), dalam mengurangi tingkat kekerasan dan meningkatkan kekuatan tarik sambungan pengelasan baja karbon tinggi.

Selain itu, pemilihan bahan pengisi yang sesuai juga menjadi faktor kunci dalam mencapai sambungan pengelasan yang berkualitas pada baja karbon tinggi. Penelitian oleh Guo et al. (2022) menunjukkan bahwa pemilihan bahan pengisi dengan komposisi kimia dan sifat mekanis yang sesuai dapat meningkatkan kekuatan tarik dan ketangguhan sambungan pengelasan pada baja karbon tinggi.

Dari sudut pandang praktis, pemahaman mendalam tentang berbagai aspek yang memengaruhi kekuatan tarik sambungan pengelasan baja karbon tinggi menjadi penting bagi industri manufaktur. Dengan menggabungkan pengetahuan tentang teknik pengelasan, parameter pengelasan, dan perlakuan panas pasca pengelasan, dapat dikembangkan strategi yang efektif untuk meningkatkan kualitas dan keandalan sambungan pengelasan pada material ini.

2.3 BAJA ST41

ST adalah *structural steel* yang berarti baja struktural. Angka 41 merujuk pada spesifikasi atau klasifikasi baja dan biasanya mengindikasikan batas kekuatan dan ketahanan. Material baja ST41 merupakan baja karbon rendah

dengan kandungan karbon 0,13% - 0,18% dan memiliki karakteristik kekuatan luluh minimum 185 – 265 Mpa serta kemampuan las yang baik.

Tabel 2. 1 Komposisi Kimia Baja ST41

Karbon (C)	0,13% - 0,18%
Kromium (Cr)	0,29%
Mangan (Mn)	0,60% - 0,90%
Silikon (Si)	0,30%
Fosfor (P)	0,035%
Belerang (S)	0,035%

2.4 BAJA SA45R

SA45R adalah jenis baja karbon yang sering digunakan dalam industri, khususnya untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan dan ketahanan yang baik. SA dalam SA45R biasanya mengacu pada *Stell Alloy* atau *Structural Alloy* yang menunjukkan bahwa baja ini adalah baja yang dirancang untuk aplikasi struktural atau memiliki komposisi paduan tertentu. Angka 45 dalam SA45R merupakan kandungan karbon dalam baja tersebut yang sekitar 0,45%.

Tabel 2. 2 Komposisi Kimia Baja SA45R

Karbon (C)	0,45% - 0,60%
Kromium (Cr)	0,65% - 0,95%
Mangan (Mn)	0,60% - 0,90%
Silikon (Si)	0,30%
Fosfor (P)	0,035%
Belerang (S)	0,035%

2.5 BAJA 440C

Besi baja 440CC adalah jenis baja stainless steel yang dikenal karena kekuatan dan ketahannya terhadap korosi. Angka 440 dalam 440C merujuk pada jenis atau klasifikasi baja stainless steel, di mana angka tersebut menunjukkan kelompok baja martensitik yang memiliki kandungan kromium tinggi. Dalam konteks ini, 440 juga dapat menggambarkan variasi dari baja tersebut, dengan huruf C menunjukkan tingkat karbon yang lebih tinggi dibandingkan dengan varian lain seperti 440A dan 440B.

Tabel 2. 3 Komposisi Kimia Baja 440C

Karbon (C)	0,95% - 1,20%
Kromium (Cr)	16% - 18%
Mangan (Mn)	1,0%
Silicon (Si)	1,0%
Fosfor (P)	0,04%
Belerang (S)	0,03%

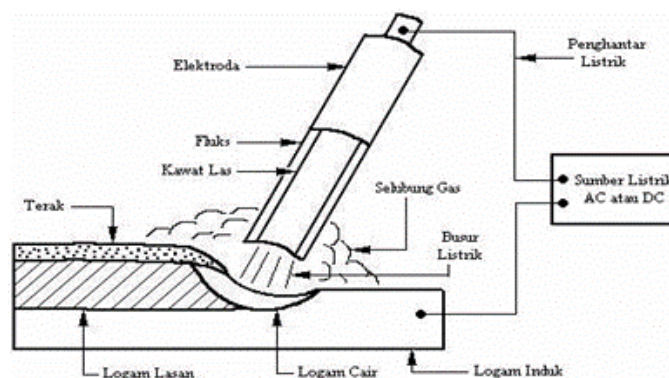
2.6 Proses Pengelasan pada Baja Karbon

Proses pengelasan baja karbon dapat dilakukan dengan berbagai teknik, namun yang paling umum adalah pengelasan SMAW (*Shielded Metal arc welding*). Proses ini menggunakan busur listrik yang dihasilkan antara elektroda dan material yang akan dilas untuk mencairkan material, sehingga terbentuk sambungan setelah pendinginan. Jenis elektroda yang digunakan, arus pengelasan, tegangan, kecepatan pengelasan, dan lingkungan sekitar, semuanya mempengaruhi hasil pengelasan.

Pengaruh teknik pengelasan terhadap kekuatan tarik sambungan baja karbon sedang telah menjadi fokus penelitian dalam beberapa studi sebelumnya. Sebagai contoh, penelitian oleh Li et al. (2019) melakukan analisis komprehensif terhadap pengaruh variasi parameter pengelasan terhadap sifat mekanis dan mikrostruktur sambungan pengelasan baja karbon sedang. Hasil studi ini menyoroti pentingnya pengaturan parameter pengelasan yang tepat untuk mencapai kekuatan tarik yang optimal pada sambungan pengelasan. Berikut adalah beberapa teknik pengelasan yang sering digunakan pada pengelasan baja karbon :

1. SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

Pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) merupakan salah satu metode pengelasan busur listrik yang paling umum digunakan untuk baja karbon. SMAW menggunakan elektroda yang terbungkus flux, yang menciptakan lapisan pelindung gas untuk melindungi las dari kontaminasi atmosferik.



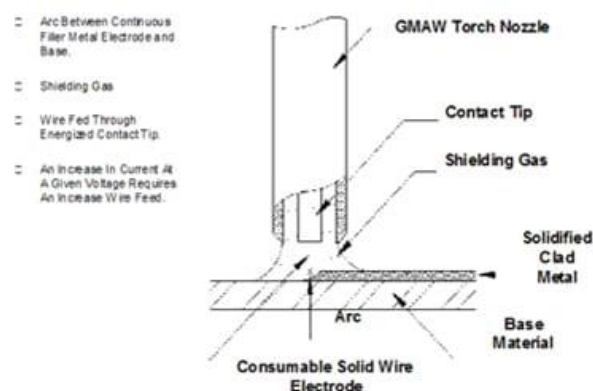
Gambar 2. 1 Skema pengelasan SMAW

Las elektroda terbungkus atau *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) adalah suatu proses penyambungan dua buah keping logam atau lebih dengan memanfaatkan panas yang terjadi dari loncatan elektroda

pada 2 buah kutub yang berbeda, sehingga panas tersebut dapat mencairkan keping logam tersebut kemudian dengan menggunakan bahan tambah yang di sebut elektroda terbungkus maka dua logam yang mencair menjadi logam yang padu dan membentuk suatu sambungan yang tetap.

2. GMAW (*Gas Metal Arc Welding*)

Juga dikenal sebagai MIG (*Metal Inert Gas*) welding, metode ini menggunakan elektroda kawat kontinu dan gas pelindung untuk menghasilkan sambungan yang berkualitas tinggi. GMAW sering digunakan pada baja karbon karena kecepatan dan efisiensinya.



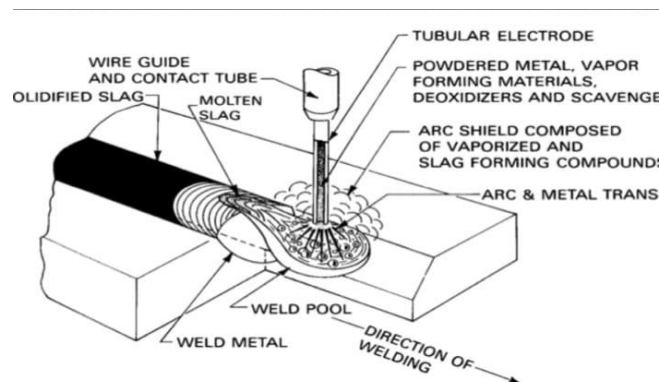
Gambar 2. 2 Skema Pengelasan GMAW

Pengelasan jenis GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) merupakan suatu proses pengelasan fusi yang menggunakan busur listrik sebagai sumber energy yang menyebabkan terjadinya peleburan logam. Elektroda yang digunakan dalam pengelasan busur logam gas juga merupakan logam pengisi, gas pelindung eksternal digunakan untuk melindungi kolom las. Atau dengan kata lain GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) adalah salah satu proses pengelasan atau penyambungan logam sejenis dengan menggunakan bahan tambahan berupa kawat gulungan dan pelindung gas

dengan melalui proses pencairan. Pelindung gas berfungsi untuk melindungi dari proses oksidasi karena pengaruh udara dari luar yang dapat mempengaruhi kualitas las, jenis gas yang digunakan antara lain gas argon dan helium.

3. FCAW (*Flux-cored Arc Welding*)

Serupa dengan GMAW, tetapi menggunakan elektroda kawat berinti flux. FCAW sering digunakan untuk pengelasan baja karbon dalam aplikasi konstruksi karena kemampuan lasnya yang baik dalam berbagai posisi.



Gambar 2. 3 Skema Pengelasan FCAW

Pengertian Proses Pengelasan FCAW *Flux Core Arc Welding* Adalah sebuah proses pengelasan yang menggunakan sumber panas yang berasal dari energi listrik yang dikonversi menjadi sumber panas pada busur listrik, pada pengelasan FCAW ini jenis pelindung yang digunakan adalah flux atau serbuk yang berada di inti kawat las (kawat las digulung dalam sebuah roll). Selain flux, FCAW juga menggunakan gas pelindung untuk melindungi logam las yang mencair saat proses pengelasan berlangsung.

Las FCAW (*Flux Core Arc Welding*) mempunyai dua tipe yang dibedakan menurut jenis perlindungan yang digunakan yaitu Self Shielding dan Gas Shielding. Self Shielding FCAW adalah proses pengelasan FCAW yang menggunakan flux yang berada di inti kawat las untuk melindungi logam las saat mencair. Sedangkan Gas Shielding FCAW adalah proses pengelasan FCAW yang menggunakan flux dan tambahan gas yang berasal dari luar sistem atau gas dari tabung.

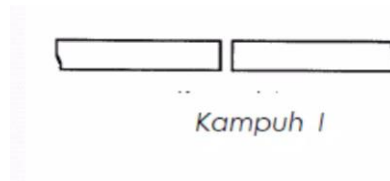
2.7 Sudut Kampuh

Dalam pengelasan, sudut kampuh adalah sudut yang terbentuk antara dua bagian logam yang akan disambung, biasanya pada sambungan siku atau sudut. Sudut ini dapat mempengaruhi kualitas dan kekuatan las. Sudut kampuh sering diukur dalam derajat dan dapat bervariasi tergantung pada jenis sambungan yang diinginkan.

Penggunaan sudut kampuh yang tepat sangat penting untuk memastikan penetrasi las yang baik, sehingga sambungan menjadi lebih kuat dan tahan lama. Selain itu, desain sudut kampuh juga mempengaruhi jumlah bahan pengisi yang diperlukan serta kecepatan proses pengelasan. Berikut adalah beberapa jenis sudut kampuh pada pengelasan :

1. Sudut Kampuh I

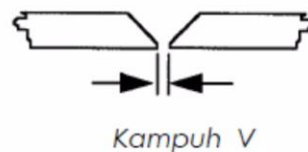
Kampuh I adalah pengelasan dua buah plat yang saling berdampingan dengan ukuran tidak lebih dari 5 mm. Dalam pengelasannya kedua plat tersebut diberi jarak atau gepyang gunanya untuk memberikan penembusan, jarak tersebut berkisar 2 mm.



Gambar 2. 4 Kampuh I

2. Sudut Kampuh V

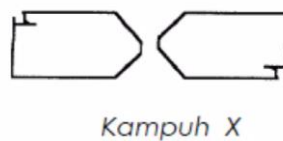
Kampuh V terbentuk dengan sudut terbuka berbentuk huruf “V” pada kedua material yang akan disambung. Kampuh V masing-masing memiliki sudut alur kampuh 50-70 derajat, sehingga pada masing-masing ujung plat harus dibentuk kemiringan sebesar 25-35 derajat. Kampuh V ini dipakai untuk mengelas plat yang memiliki ketebalan berkisar 6 mm s/d 12 mm, dibuatnya kampuh V agar pengelasan dapat mencapai hingga penembusan.



Gambar 2. 5 Kampuh V

3. Sudut Kampuh X

Kampuh X ini digunakan untuk mengelas plat yang memiliki ketebalan lebih dari 12 mm. Dengan dibentuknya kampuh X ini, maka pengelasan dapat dilakukan dari dua sisi, yaitu dari bagian atas dan dari bagian bawah, sehingga konstruksi pengelasan bisa lebih kuat dan seimbang.



Gambar 2. 6 Kampuh X

2.8 Kekuatan Tarik pada Material

2.8.1 Pengertian Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik adalah salah satu sifat mekanis material yang menunjukkan kemampuan material untuk menahan gaya tarik tanpa mengalami patah atau deformasi permanen. Secara umum, kekuatan tarik diukur sebagai tegangan maksimum yang bisa ditahan oleh material ketika gaya tarik diterapkan sebelum material tersebut patah. Nilai ini dinyatakan dalam satuan tekanan, biasanya dalam Megapascal (MPa) atau Newton per milimeter persegi (N/mm²).

Kekuatan tarik merupakan parameter penting dalam menentukan kemampuan material untuk digunakan dalam aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap beban tarik, seperti kabel, tali, jembatan, dan berbagai struktur lain yang mengalami tarikan selama penggunaannya. Dalam konteks pengelasan, kekuatan tarik sambungan las sangat penting untuk memastikan bahwa sambungan tersebut memiliki kekuatan yang setara atau lebih tinggi dari material dasar yang dilas.

2.8.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik material dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk komposisi kimia, struktur mikro, dan kondisi termomekanik yang dialami material selama proses pembuatan atau pengolahan. Beberapa faktor utama yang mempengaruhi kekuatan tarik pada material adalah:

1. **Komposisi Kimia**

Unsur-unsur seperti karbon, mangan, kromium, dan nikel dapat mempengaruhi kekuatan tarik material. Sebagai contoh, peningkatan

kandungan karbon dalam baja cenderung meningkatkan kekuatan tarik, namun juga dapat mengurangi keuletan dan meningkatkan risiko terjadinya retak.

2. Struktur Mikro

Struktur mikro material, yang terbentuk selama proses pendinginan setelah pemanasan, sangat mempengaruhi kekuatan tarik. Misalnya, fase martensit yang keras dan rapuh dapat meningkatkan kekuatan tarik, tetapi mengurangi ketangguhan material.

3. Proses Pembentukan dan Perlakuan Panas

Perlakuan panas seperti tempering, quenching, dan annealing dapat mengubah struktur mikro material, yang pada gilirannya mempengaruhi kekuatan tariknya. Pengelasan, sebagai proses termomekanik, juga dapat menyebabkan perubahan lokal pada struktur mikro, terutama di daerah terpengaruh panas (HAZ).

4. Keberadaan Cacat

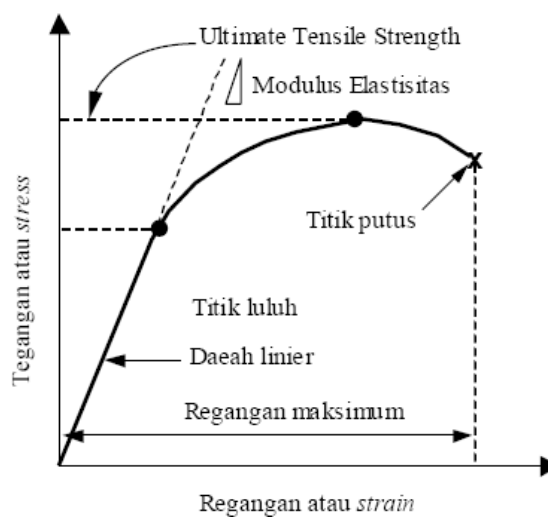
Cacat seperti porositas, retak mikro, dan inklusi non-logam dapat melemahkan material dan menurunkan kekuatan tariknya. Cacat ini sering kali terjadi akibat proses manufaktur yang tidak sempurna atau akibat pengelasan yang tidak sesuai dengan prosedur yang benar.

5. Tekstur dan Orientasi Kristal

Tekstur kristal dalam material dapat mempengaruhi bagaimana gaya tarik disebarkan melalui material. Material dengan tekstur kristal yang berorientasi lebih baik cenderung memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi.

2.6 Pengujian Kekuatan Tarik

Pengujian kekuatan tarik adalah metode standar untuk mengukur kekuatan tarik suatu material. Dalam pengujian ini, spesimen material yang berbentuk silinder atau batang datar ditarik oleh mesin uji tarik (*Universal Testing Machine*) hingga mencapai titik patah. Hasil pengujian ini memberikan data berupa kurva tegangan-regangan, yang mencakup beberapa parameter penting:



Gambar 2. 7 Kurva Tegangan Regangan

Tegangan pada kurva adalah tegangan membusur rata-rata dari pengujian tarik. Tarik maksimum dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma_t = \frac{F_{maks}}{A_0} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

σ_t = Tegangan Tarik (kg/cm²)

F_{maks} = Gaya yang bekerja/beban maksimal (kg)

A_0 = Luas Penampang (cm²)

Regangan yang digunakan untuk kurva tegangan-regangan teknik adalah adalah linear rata-rata, yang diperoleh dengan cara membagi perpanjangan yang dihasilkan setelah pengujian dilakukan dengan panjang awal. Dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_o}{l_o} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

ε = Besar regangan

l_o = Panjang benda uji awal (mm)

l_i = Panjang benda uji akhir (mm)

Pada tegangan dan regangan yang dihasilkan, dapat diketahui nilai modulus elastisitas. Persamaannya dituliskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$E = \frac{\sigma}{e} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

E = Besar modulus elastisitas (kg/mm²)

e = Regangan

σ = Tegangan (kg/mm²)

Dari kurva uji tarik yang diperoleh dari hasil pengujian akan didapatkan beberapa sifat mekanik yang dimiliki oleh benda uji, sifat-sifat tersebut antara lain (Dieter, 1993).

a. Kekuatan Tarik (*Tensile Strenght*)

Kekuatan tarik atau kekuatan maksimum (*Ultimate Tensile Strenght*) adalah beban maksimum dibagi luas penampang lintang awal benda uji.

$$\sigma_t = \frac{F_{maks}}{A} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

σ_t = Kekuatan tarik N/mm² atau Mpa)

F_{maks} = Beban maksimal (kg)

A = Luas penampang mula dari penampang batang (mm²)

b. Kekuatan Luluh (*Yield Strenght*)

Kekuatan luluh merupakan titik yang menunjukkan perubahan dari deformasi elastis ke deformasi plastis (Dieter, 1993). Rumus kekuatan luluh dituliskan seperti persamaan sebagai berikut.

$$\sigma_y = \frac{F_f}{A} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

σ_y = Tegangan Luluh (N/mm² atau Mpa)

F_F = Gaya yang menyebabkan luluh (Newton)

A = Luas Penampang (mm²)

c. Keuletan

Keuletan adalah kemampuan suatu bahan sewaktu menahan beban pada saat diberikan penetrasii dan akan diberikan kebentuk semula. Secara umum pengukuran keuletan dilakukan untuk memenuhi kepentingan tiga buah hal (Dieter, 1993).

1. Untuk menunjukkan elongasi dimana suatu logam dapat berdeformasi tanpa terjadi patah dalam suatu proses pembentukan logam, misalnya pengerolan dan ekstrasi.

2. Untuk memberi petunjuk secara umum kepada perancang mengenai kemampuan logam untuk mengalir secara plastis sebelum patah.
3. Sebagai petunjuk adanya perubahan permukaan pemurnian atau kondisi pengelolaan.

d. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah ukuran kekuatan suatu bahan akan keelastisitasannya. Modulus elastisitas ditentukan oleh gaya ikat antar atom, karena gaya-gaya ini tidak dapat dirubah tanpa terjadi perubahan dasar pada sifat bahannya. Sifat ini hanya sedikit dapat berubah oleh adanya penambahan paduan, perlakuan panas, atau pengerjaan dingin. Secara matematis persamaan modulus elastisitas dapat ditulis sebagai berikut.

$$M_o = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

σ = Tegangan

ϵ = Regangan

e. Kelentingan (Resilience)

Kelentingan adalah kemampuan suatu bahan untuk menyerap energi pada deformasi secara elastis dan kembali ke bentuk awal apabila bebannya dihilangkan (Dieter, 1993).

$$\mu_o = \frac{1}{2} \sigma \cdot \epsilon \dots\dots\dots (2.7)$$

f. Ketangguhan

Ketangguhan adalah meninjau luas keseluruhan daerah dibawah kurva tegangan regangan. Luas ini menunjukkan jumlah energi tiap satuan volume yang dapat dikenakan pada bahan tanpa mengakibatkan pecah. Ketangguhan (S_0)

adalah perbandingan antara kekuatan dan keuletan. Dapat dituliskan sebagai berikut.

$$U_t = \frac{\sigma_y \sigma_{maks}}{2} \epsilon \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan:

U_t = Modulus ketangguhan

σ_y = Tegangan sebenarnya (kN/mm²)

σ_{maks} = Regangan (%)

ϵ = Tegangan maksimal (kN/mm²)