

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Besi baja merupakan salah satu material yang paling umum digunakan dalam berbagai industri, mulai dari konstruksi hingga manufaktur. Sifat mekaniknya yang unggul, seperti kekuatan, kekerasan, dan ketahanan terhadap deformasi, menjadikan besi baja sebagai pilihan utama dalam pembuatan berbagai komponen struktural dan mekanikal. Namun, terdapat berbagai jenis besi baja dengan karakteristik yang berbeda-beda, yang memerlukan pemahaman mendalam untuk memilih jenis yang paling sesuai dengan aplikasi tertentu.

Besi baja adalah logam paduan yang terdiri dari besi (Fe) sebagai elemen utama, dengan kandungan karbon dan unsur lain dalam jumlah tertentu yang dapat meningkatkan kekuatan serta ketahanan logam tersebut. Menurut para ahli, berikut adalah beberapa pengertian besi baja:

Menurut Budinski (1999), baja adalah logam yang digunakan secara luas dalam konstruksi dan berbagai aplikasi teknik. Ia mengungkapkan bahwa karakteristik utama dari baja adalah kekuatan dan daya tahannya yang tinggi, sehingga banyak digunakan di berbagai industri.

Menurut Totten dan MacKenzie (2003), menjelaskan bahwa baja adalah material yang memiliki sifat mekanik yang baik karena proses paduannya. Dengan adanya karbon dan elemen paduan lainnya, baja memiliki kelebihan dalam hal kekerasan, keuletan, dan ketangguhan dibandingkan dengan besi murni.

Menurut Dieter (1988), baja adalah material dengan kekuatan tinggi yang terbentuk dari perpaduan antara besi dan karbon. Penambahan unsur karbon

memungkinkan baja memiliki sifat mekanis yang bervariasi tergantung pada kandungan karbon dan proses tempering atau perlakuan panas yang dilakukan.

Secara umum, besi baja memiliki karakteristik unik yang membuatnya sangat fleksibel dan dapat disesuaikan untuk berbagai kebutuhan konstruksi dan industri.

Baja dibedakan menjadi dua macam, yaitu : baja karbon dan baja paduan. Baja AISI 1050 merupakan baja yang tergolong dalam baja karbon, khususnya baja karbon mediuin atau menengah. Baja AISI 1050 banyak digunakan sebagai konstruksi otomotif, poros, baut, roda gigi, pegas, rel kereta api dan komponen mesin lainnya karena baja tersebut termasuk baja karbon yang memiliki kekerasan yang cukup. Beriringan dengan kelebihan, baja ini tentu juga memiliki kelemahan. Untuk meningkatkan sifat mekanis pada baja AISI 1050 maka dalam penelitian ini akan dilakukan proses pengerasan permukaan dengan cara perlakuan panas *carubizing* dan *nitriding*.

Di sisi lain, besi baja 1020 adalah baja karbon rendah dengan kandungan karbon sekitar 0,20%, yang memiliki kekuatan tarik lebih rendah dibandingkan baja 1050 tetapi menawarkan keluwesan yang lebih tinggi dan kemudahan dalam proses pengerjaan, seperti pengelasan dan pembentukan. Baja 1020 sering digunakan dalam pembuatan pipa, pelat, dan komponen yang tidak memerlukan kekuatan tarik yang sangat tinggi tetapi memerlukan kemudahan dalam proses produksi.

Uji tarik adalah salah satu metode yang paling umum digunakan untuk menentukan sifat mekanik dari material, khususnya kekuatan tarik dan elongasi. Uji tarik memberikan informasi penting mengenai bagaimana material akan

berperilaku di bawah tegangan yang berbeda, yang sangat penting dalam desain dan rekayasa material.

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kekuatan tarik antara besi baja AISI 1050 dan 1020. Penelitian ini penting karena dapat memberikan panduan bagi insinyur dan desainer dalam memilih material yang paling sesuai untuk aplikasi tertentu, berdasarkan kekuatan tarik yang dibutuhkan. Selain itu, penelitian ini juga akan mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan tarik kedua jenis besi baja ini, sehingga dapat membantu dalam pengembangan dan peningkatan kualitas material.

Secara keseluruhan, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam bidang rekayasa material, khususnya dalam pemahaman dan penerapan besi baja AISI 1050 dan 1020 dalam berbagai aplikasi industri.

Secara global, besi baja memainkan peran yang sangat vital dalam pembangunan infrastruktur dan perkembangan teknologi. Sebagai material yang dapat diandalkan untuk berbagai aplikasi, pemahaman yang mendalam tentang sifat-sifat mekanisnya, seperti kekuatan tarik, adalah kunci untuk memastikan keamanan, efisiensi, dan keberlanjutan dalam penggunaannya. Di Indonesia, kebutuhan akan material konstruksi yang kuat dan tahan lama semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan pembangunan infrastruktur.

Besi baja AISI 1050 dan 1020 memiliki karakteristik yang berbeda, yang membuat keduanya cocok untuk aplikasi yang berbeda pula. Besi baja AISI 1050, dengan kandungan karbon menengahnya, menawarkan kombinasi yang baik antara kekuatan dan kemampuan untuk dikeraskan melalui perlakuan panas.

Kemampuan ini membuatnya sangat cocok untuk komponen yang harus menahan beban mekanis tinggi dan keausan, seperti poros dan roda gigi. Namun, kekerasannya yang tinggi juga berarti bahwa material ini kurang fleksibel dan lebih sulit untuk dikerjakan dibandingkan baja karbon rendah.

Sebaliknya, besi baja 1020, dengan kandungan karbon rendahnya, lebih mudah untuk dibentuk dan dilas, menjadikannya pilihan yang baik untuk komponen yang memerlukan proses fabrikasi yang intensif. Meskipun kekuatan tariknya lebih rendah dibandingkan AISI 1050, kelenturannya yang lebih tinggi memberikan keuntungan dalam aplikasi yang memerlukan deformasi plastik yang signifikan tanpa risiko patah. Hal ini menjadikan baja 1020 sering digunakan dalam pembuatan pipa dan pelat yang harus mampu menahan berbagai kondisi pembebanan dan deformasi selama proses manufaktur dan penggunaan.

Namun, pemilihan material tidak hanya berdasarkan kekuatan tarik saja. Faktor-faktor lain seperti biaya, ketersediaan, proses manufaktur, dan kondisi operasional juga harus dipertimbangkan. Oleh karena itu, studi perbandingan yang mendalam antara besi baja 1050 dan 1020 tidak hanya memberikan wawasan tentang kekuatan tarik tetapi juga dapat membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih baik dalam desain dan aplikasi material.

Dalam penelitian ini, uji tarik akan dilakukan untuk kedua jenis baja dengan menggunakan metode standar yang diakui secara internasional. Hasil dari uji tarik ini akan dianalisis dan dibandingkan untuk menentukan material mana yang memiliki performa terbaik dalam kondisi yang diujikan. Selain itu, penelitian ini juga akan mengidentifikasi pengaruh komposisi kimia dan perlakuan panas terhadap kekuatan tarik kedua jenis baja tersebut.

Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi yang berarti dalam bidang ilmu material dan rekayasa, serta memberikan panduan praktis bagi industri dalam memilih material yang tepat untuk aplikasi tertentu. Penelitian ini juga berpotensi membuka peluang untuk pengembangan material baru yang lebih unggul dengan memanfaatkan keunggulan dari kedua jenis baja yang diteliti.

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan material yang lebih kuat dan efisien, penelitian tentang sifat mekanis dari berbagai jenis baja menjadi semakin penting. Dalam konteks ini, analisis kekuatan tarik besi baja 1050 dan 1020 dapat memberikan wawasan yang berharga bagi pengembangan material yang lebih canggih dan aplikasi yang lebih optimal dalam berbagai industri.

Dalam industri otomotif, misalnya, pemilihan material yang tepat sangat krusial untuk memastikan keselamatan, kinerja, dan efisiensi kendaraan. Besi baja 1050 dengan kekuatan tariknya yang tinggi dapat digunakan dalam komponen-komponen penting seperti poros engkol dan roda gigi, yang memerlukan ketahanan terhadap beban mekanis dan keausan. Di sisi lain, besi baja 1020 dapat digunakan dalam pembuatan komponen yang memerlukan kemudahan dalam proses fabrikasi, seperti panel bodi dan pipa knalpot, di mana kemampuannya untuk dibentuk dan dilas menjadi keuntungan utama.

Selain itu, dalam industri konstruksi, besi baja digunakan dalam pembuatan struktur bangunan dan jembatan yang memerlukan material dengan kekuatan tinggi dan ketahanan yang baik terhadap berbagai kondisi lingkungan. Besi baja 1050 dapat memberikan kekuatan struktural yang dibutuhkan, sementara besi baja 1020, dengan kemudahan fabrikasinya, dapat digunakan dalam

komponen-komponen yang memerlukan bentuk khusus atau sambungan yang rumit.

Namun, selain dari segi kekuatan dan kemudahan fabrikasi, faktor ekonomi juga menjadi pertimbangan penting dalam pemilihan material. Biaya produksi dan ketersediaan material dapat mempengaruhi keputusan akhir dalam pemilihan besi baja 1050 atau 1020 untuk aplikasi tertentu. Dengan memahami perbandingan kekuatan tarik dan karakteristik lainnya dari kedua jenis baja ini, insinyur dan desainer dapat membuat keputusan yang lebih informasi dan efisien dalam memilih material yang paling sesuai dengan kebutuhan mereka.

Penelitian ini juga memiliki implikasi untuk pendidikan dan pelatihan di bidang teknik material dan manufaktur. Dengan menyediakan data empiris dan analisis yang komprehensif tentang sifat-sifat mekanis dari besi baja 1050 dan 1020, penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi dalam kurikulum akademik dan program pelatihan teknis. Ini akan membantu calon insinyur dan teknisi dalam memahami karakteristik material yang mereka akan gunakan dalam praktik profesional mereka.

Pada akhirnya, penelitian ini bertujuan untuk memberikan kontribusi yang signifikan dalam peningkatan kualitas dan efisiensi penggunaan material dalam berbagai aplikasi industri. Dengan memberikan pemahaman yang lebih baik tentang kekuatan tarik dan faktor-faktor yang mempengaruhinya, penelitian ini dapat membantu dalam pengembangan material yang lebih unggul dan aplikasi yang lebih optimal, serta mendorong inovasi dalam desain dan manufaktur.

## **1.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana perbandingan kekuatan tarik antara baja AISI 1050 dan baja AISI 1020 dalam kondisi uji tarik standar?
2. Bagaimana pengaruh pengelasan SMAW terhadap kekuatan tarik kedua jenis besi baja ini?
3. Apa faktor-faktor yang dapat mempengaruhi perbedaan kekuatan tarik antara kedua jenis besi baja 1050 dan 1020?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

1. Untuk mengetahui kekuatan tarik hasil pengelasan SMAW antara baja AISI 1050 dengan baja AISI 1020 dengan menggunakan elektroda E6013 dan arus pengelasan 90 Amper
2. Untuk mengetahui sifat atau karakter dari baja AISI 1050 dan baja AISI 1020 setelah dilakukan penyambungan dengan las SMAW.

## **1.4 Batasan Masalah**

1. Penelitian ini hanya menggunakan metode pengelasan SMAW sebagai tujuan untuk mendapatkan kekuatan tarik
2. Penelitian ini akan menggunakan metode uji tarik standar yang diakui secara internasional untuk mengukur kekuatan tarik dan elongasi dari kedua jenis baja.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat yang signifikan, antara lain:

1. **Pemahaman yang Lebih Mendalam:** Penelitian ini akan meningkatkan pemahaman kita tentang karakteristik kekuatan tarik dari besi baja 1050 dan 1020, memberikan landasan yang lebih kokoh untuk pengembangan teknologi material di masa depan.
2. **Pilihan Material yang Lebih Tepat:** Hasil penelitian ini akan memberikan panduan yang lebih jelas bagi insinyur dan desainer dalam memilih jenis baja yang paling sesuai dengan kebutuhan aplikasi mereka, berdasarkan kekuatan tarik dan karakteristik mekanis lainnya.
3. **Inovasi Industri:** Dengan memahami lebih baik kekuatan tarik dan elongasi dari kedua jenis baja ini, industri otomotif, konstruksi, dan manufaktur dapat mengembangkan produk-produk yang lebih aman, efisien, dan berkualitas tinggi.
4. **Efisiensi Proses Fabrikasi:** Dengan pengetahuan tentang kekuatan tarik dan kemampuan pembentukan dari kedua jenis baja ini, produsen dapat meningkatkan efisiensi proses fabrikasi dan mengurangi biaya produksi, melalui pemilihan material yang paling sesuai dan optimal.
5. **Pengembangan Material Baru:** Hasil penelitian ini dapat membuka peluang untuk pengembangan material baru yang menggabungkan keunggulan dari besi baja 1050 dan 1020, untuk aplikasi yang lebih spesifik dan menuntut dalam berbagai industri.

## **BAB II**

### **DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengelasan (Welding)**

Penyambungan logam dua atau lebih menggunakan pengelasan banyak digunakan dalam industri terutama konstruksi. Pembuatan peralatan industri, konstruksi pipa, pembuatan bejana, jembatan dan konstruksi perkapalan dan lain sebagainya. Industri yang pesat sangat membutuhkan sambungan pengelasan yang baik untuk dikembangkan guna menutupi teknologi manufaktur. Pengelasan selain untuk pembuatan produk pesanan, juga banyak dipakai untuk perbaikan (Afan et al., 2020). Banyak sekali logam yang dapat disambung dengan metode las diantaranya yaitu baja karbon tinggi, baja karbon rendah, baja anti karat dan baja paduan non ferros, contohnya aluminium, nikel, timah tembaga, titanium dan lain-lain.

Menurut Cary dan Helzer (2005), pengelasan adalah proses penyatuan dua atau lebih material, biasanya logam, melalui pencairan dan/atau tekanan untuk menciptakan sambungan yang kuat dan permanen. Prinsip dasar pengelasan melibatkan pembentukan ikatan metalurgi antara material melalui proses pemanasan, dengan atau tanpa bahan pengisi. Pengelasan menghasilkan ikatan permanen yang dapat menahan beban mekanis dan termal.

Kalpajian dan Schmid (2014) membagi pengelasan menjadi beberapa jenis berdasarkan metode yang digunakan, seperti pengelasan busur listrik (SMAW, GMAW, GTAW), pengelasan gas, dan pengelasan resistansi. Pengelasan busur listrik, misalnya, adalah metode yang populer untuk baja karbon

karena efisiensi dan kekuatan sambungannya. Setiap jenis pengelasan memiliki karakteristik yang berbeda, sehingga cocok untuk berbagai jenis material dan kondisi kerja.

Menurut Davis (1993), selama pengelasan, terutama pengelasan busur, terbentuk zona yang terkena panas atau Heat Affected Zone (HAZ) di sekitar sambungan las. HAZ adalah area di sekitar sambungan yang mengalami perubahan mikrostruktur akibat panas tinggi selama pengelasan, yang dapat mempengaruhi sifat mekanis material, seperti kekuatan dan keuletan. Pada baja karbon tinggi, HAZ dapat mengandung struktur martensit yang keras tetapi rapuh, sehingga meningkatkan risiko retak.

Menurut Bowditch (1990), proses pemanasan dan pendinginan yang cepat selama pengelasan dapat menyebabkan distorsi atau perubahan bentuk material, serta munculnya tegangan sisa dalam sambungan las. Distorsi dan tegangan ini terjadi karena pemuaian dan penyusutan yang tidak merata pada material. Langkah-langkah seperti pemanasan awal atau perlakuan panas pasca-pengelasan dapat membantu mengurangi efek distorsi dan tegangan sisa ini.

Pengerjaan pengelasan juga sangat mementingkan kualitas dan mutu yang harus sesuai dengan standar misalnya Japanese Industrial Standard (JIS), American System for Testing Material (ASTM), American Welding Society (AWS), dan lain-lain. Didalam pengelasan kita juga harus memilih proses yang tepat, memilih bahan baku logam, proses perancangan, standar prosedur pengelasan dan welder, pengendalian sistem dan standar pengujian pengelasan harus dilakukan untuk memenuhi standar. Agar kualitas pengelasan dapat memenuhi standar. Lebih tepatnya untuk pengelasan logam yang tidak diketahui prosedur standart

pengelasan, maka perlu mengkaji atau melakukan percobaan pengelasan dini yang kemudian diuji sesuai dengan yang diinginkan.

Menurut Dutche Industrial Normen (DIN), pengelasan adalah proses penyambungan dua buah logam atau lebih dengan mencairkan logam pengisi atau biasa disebut dengan elektroda. Jika kawat atau logam pengisi mencair disebut Brazing atau Braze Welding sesuai standart AWS (American welding society). Berdasarkan definisi diatas dapat disimpulkan bahwa pengelasan material logam memerlukan energi panas yang tinggi untuk mencairkan logam pengisi pada sambungan. Jika sambungan memerlukan material tambahan, maka material tambahan juga harus mengalami pencairan agar logam induk membentuk tumpukan las. Energy panas sangat diperlukan pada saat pencairan sebagian material dasar dan logam tambahan karena dapat mempengaruhi sifat dan struktur mikro pada logam. Daerah sambungan las sifatnya akan berubah karena terpengaruh oleh panas terutama daerah HAZ (Habibi et al., 2012).

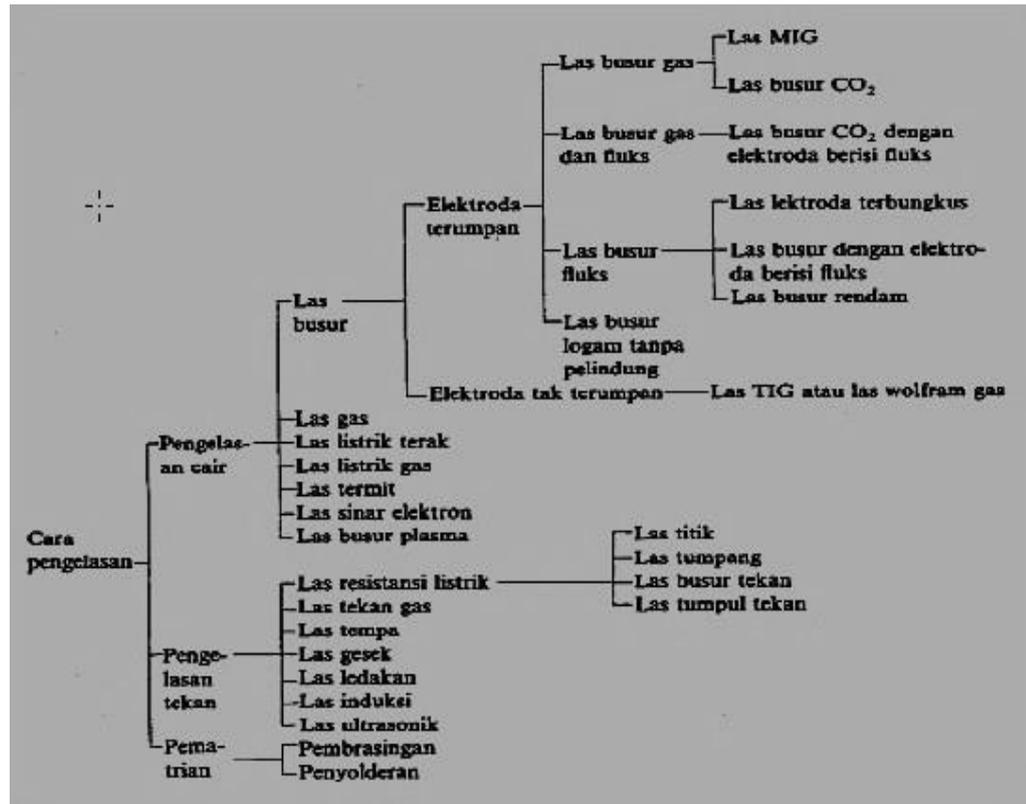
## **2.2 Klasifikasi Cara-cara Pengelasan**

Sampai pada waktu ini banyak sekali cara-cara pengklasifikasian yang digunakan dalam pengelasan, ini disebabkan karena perlu adanya kesepakatan dalam hal-hal tersebut. Secara konvensional cara-cara pengklasifikasi tersebut pada waktu ini dapat dibagi dua golongan, yaitu klasifikasi berdasarkan kerja dan klasifikasi berdasarkan energi yang digunakan. Klasifikasi pertama membagi las dalam kelompok las cair, las tekan, las patri dan lain-lainnya. Sedangkan klasifikasi yang kedua membedakan adanya kelompok-kelompok seperti las listrik, las kimia, las mekanik dan seterusnya.

Bila diadakan pengklasifikasian yang lebih terperinci lagi, maka kedua klasifikasi tersebut diatas dibaur dan akan terbentuk kelompok-kelompok yang banyak sekali. Diantara kedua cara klasifikasi tersebut diatas kelihatannya klasifikasi cara kerja lebih banyak digunakan karena itu pengklasifikasian yang diterangkan dalam bab ini juga berdasarkan cara kerja.

Klasifikasi cara kerja lebih banyak digunakan karena itu pengklasifikasian yang diterangkan adalah berdasarkan cara kerja. Berdasarkan klasifikasi ini pengelasan dapat dibagi dalam tiga kelas utama yaitu pengelasan cair, pengelasan tekan dan pematrian. Mari kita lihat deskripsi klasifikasi tentang pengelasan tersebut:

1. **Pengelasan Cair** adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau sumber api gas yang terbakar.
2. **Pengelasan Tekan** adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.
3. **Pematrian** adalah cara pengelasan dimana sambungan dikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. Dalam hal ini logam induk tidak turut mencair.

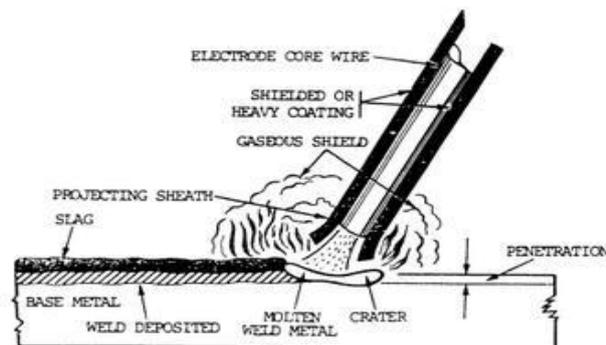


Gambar 2.1 Klasifikasi Cara Pengelasan

### 2.3 SMAW (Shielded Metal Arc Welding)

Shielded Metal Arc Welding (SMAW) merupakan suatu teknik pengelasan elektroda berselaput yang membentuk busur las antara elektroda dengan kawat las menggunakan selaput elektroda/fluks sebagai pelindung. Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butiran yang terbawa arus busur listrik. Bila menggunakan arus listrik besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus dan sebaliknya, bila arus kecil maka butirannya menjadi besar. Pola pemindahan logam cair sangat mempengaruhi sifat mampu las dari logam. Logam mempunyai sifat mampu las yang tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus. Pola pemindahan cairan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan komposisi dari bahan fluks yang digunakan. Bahan fluks yang digunakan untuk membungkus elektroda

selama pengelasan mencair dan membentuk terak yang menutupi logam cair yang terkumpul ditempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi (Santoso, 2006). Elektroda Bagian terpenting dalam las busur listrik adalah elektroda las. Jenis elektroda yang dipergunakan akan menentukan hasil pengelasan sehingga sangat penting untuk mengetahui sifat dan jenis d



Gambar 2.2 Proses Las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

## 2.4 Elektroda

Bagian terpenting dalam las busur listrik adalah elektroda las. Jenis elektroda yang dipergunakan akan menentukan hasil pengelasan sehingga sangat penting untuk mengetahui sifat dan jenis dari masing-masing elektroda sebagai dasar pemilihan elektroda yang tepat. Macam-macam jenis elektroda sangat banyak. Berdasarkan selaput pelindungnya elektroda dibedakan menjadi dua macam yaitu elektroda polos dan elektroda terbungkus.

Elektroda terbungkus terdiri dari bagian inti dan zat pelindung atau fluks. Selaput yang ada pada elektroda jika terbakar akan menghasilkan CO<sub>2</sub> yang berfungsi untuk melindungi cairan las, busur listrik dan sebagian benda kerja dari udara luar. Ukuran standar diameter kawat inti dari 1,5 – 7 mm, dengan panjang antara 350 sampai 450 mm.

Tipe elektroda yang digunakan dalam penelitian ini adalah AWS SFA 5.1 E6013 coating type basic yang memiliki alur las yang ulet dan bebas terjadi keretakan bahkan pada baja yang memiliki kadar karbon hingga 0,15%. Untuk kode yang diberikan pada tipe elektroda tersebut diatas yaitu huruf "E" yang diikuti oleh empat angka dibelakangnya.

Untuk arti masing-masing kode elektroda adalah :

1. Untuk huruf E : Menyatakan elektroda untuk las busur listrik.
2. Untuk angka 60 : Menyatakan nilai tegangan tarik minimum hasil pengelasan yaitu 60000 psi.
3. Untuk angka 1 : Menyatakan posisi pengelasan, angka 1 dapat digunakan untuk pengelasan semua posisi.
4. Untuk angka 3 : Menyatakan penetrasi las sedang, daya AC/DC, kandungan selaputnya serbuk besi 25%-40%, hidrogen rendah.

Dinegara-negara industri elektroda terbungkus sudah distandarisasi berdasarkan penggunaannya. Di Jepang misalnya elektroda las terbungkus untuk baja, kekuatannya telah distandarkan berdasarkan standar Jepang (JIS). Untuk standar Amerika Serikat (ASTM) berdasarkan pada standar asosiasi las Amerika (AWS).

Standarisasi elektroda, baik dalam JIS maupun ASTM didasarkan pada jenis fluks, posisi pengelasan dan arus las. Walaupun dalam memberikan symbol agak berbeda antara kedua system standar tersebut tetapi pada dasarnya adalah sama. Sebagai contoh misal huruf D dalam JIS dan huruf E dalam ASTM menunjukkan elektroda yang dipakai adalah elektroda terbungkus, kedua angka pertama menunjukkan kekuatan terendah dari logam las, hanya dalam JIS

memakai satuan kg/mm<sup>2</sup> dan ASTM menggunakan satuan psi. sedangkan dua angka terakhir menunjukkan jenis fluks yang dipakai dan posisi pengelasan.

Macam-macam standar keperluan elektroda yang disusun oleh American Welding Society (AWS) dan American Society for Testing Material (ASTM), misalnya: E6010, E7010, E6013 dan lain-lain dimana masing-masing memiliki arti tertentu yaitu:

1. E menyatakan elektroda/elektrik welding.
2. Dua angka setelah E menyatakan kekuatan tarik defosit las dalam ribuan dengan lb/in<sup>2</sup>.
3. 1 menyatakan posisi pengelasan, yaitu:
  - a. Angka (1) untuk pengelasan segala posisi,
  - b. Angka (2) untuk pengelasan posisi datar dan bawah tangan.
4. Angka ke empat setelah E menyatakan jenis selaput dan jenis arus yang cocok dipakai untuk pengelasan.

## **2.5 Parameter Pengelasan**

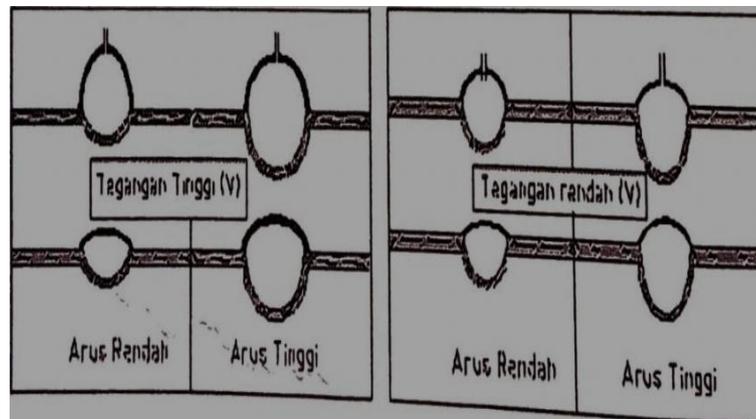
Kestabilan dari busur api yang terjadi pada saat pengelasan merupakan masalah yang paling banyak terjadi dalam proses pengelasan las SMAW, oleh karena itu kombinasi dari Arus listrik (I) yang dipergunakan dan Tegangan (V) harus benar-benar sesuai dengan kawat elektroda dan fluksi yang dipakai.

Parameter pengelasan yang harus diperhatikan dalam proses pengelasan adalah sebagai berikut:

### **1. Pengaruh dari Arus Listrik (I)**

Setiap kenaikan arus listrik yang dipergunakan pada saat pengelasan akan meningkatkan penetrasi serta memperbesar kuantiti lasnya.

Penetrasi akan meningkat 2 mm per 100A dan kuantitas las meningkat juga 1,5 kg/jam per 100A.



Gambar 2.3 Pengaruh Arus Listrik

## 2. Pengaruh dari Tegangan Listrik (V)

Setiap peningkatan tegangan listrik (V) yang dipergunakan pada proses pengelasan akan semakin memperbesar jarak antara tip elektroda dengan material yang akan dilas, sehingga busur api yang terbentuk akan menyebar dan mengurangi penetrasi pada material las. Konsumsi fluksi yang dipergunakan akan meningkat sekitar 10% pada setiap kenaikan 1 volt tegangan.

## 3. Pengaruh Kecepatan Pengelasan

Jika kecepatan awal pengelasan dimulai pada kecepatan 40 cm/menit, setiap pertambahan kecepatan akan membuat bentuk jalur las yang kecil (*Welding Bead*), penetrasi, lebar serta kedalaman las pada benda kerja akan berkurang. Tetapi jika kecepatan pengelasannya berkurang dibawah 40 cm/menit cairan las yang terjadi dibawah busur api las akan menyebar serta penetrasi yang dangkal, hal ini dikarenakan over heat.

#### 4. Pengaruh Polaritas Arus Listrik (*Alternating Current atau Direct Current*)

Pengelasan dengan kawat elektroda tunggal pada umumnya menggunakan tipe arus Direct Current (DC), elektroda positif (EP), jika menggunakan elektroda negatif (EN) penetrasi yang terbentuk akan rendah dan kuantiti las yang tinggi. Pengaruh dari arus Alternating Current (AC) pada bentuk butiran las dan kuantiti pengelasan antara elektroda positif dan negatif adalah sama yaitu cenderung porosity, oleh karena itu dalam proses pengelasan yang menggunakan arus AC harus memakai fluksi yang khusus.

Arus adalah aliran pembawa muatan listrik, simbol yang digunakan adalah huruf besar I dalam satuan ampere. Pengelasan adalah penyambungan dua logam atau logam paduan dengan cara memberikan panas baik diatas atau dibawah titik cair logam tersebut, baik dengan atau tanpa tekanan serta ditambah atau tanpa logam pengisi yang dimaksud dengan arus paengelasan disini adalah aliran pembawa muatan listrik dari mesin las yang digunakan untuk menyambung dua logam dengan mengalirkan panas ke logam pengisi atau elektroda. Hubungan diameter elektroda dengan arus pengelasan menurut Howard BC, 1998 dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Hubungan Diamter Elektroda dengan Pengelasan

<b>Diameter Elektroda (mm)</b>	<b>Arus (Ampere)</b>
<b>2.5</b>	<b>60-90</b>
<b>2.6</b>	<b>60-90</b>
<b>3.2</b>	<b>80-140</b>
<b>4.0</b>	<b>150-190</b>
<b>5.0</b>	<b>180-250</b>

## 2.6 Baja

Baja adalah logam paduan dengan besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0.2% hingga 2.1% berat sesuai grade-nya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat. Unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon adalah mangan (*manganese*), krom (*chromium*), vanadium, dan nikel. Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya, berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*), namun di sisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*).

Pengaruh utama dari kandungan karbon dalam baja adalah pada kekuatan, kekerasan, dan sifat mudah dibentuk. Kandungan karbon yang besar dalam baja mengakibatkan meningkatnya kekerasan tetapi baja tersebut akan rapuh dan tidak mudah dibentuk (Davis, 1982).

Baja karbon disebut juga plain karbon steel, mengandung terutama unsur karbon dan sedikit silikon, belerang dan fosfor. Berdasarkan kandungan karbonnya, baja karbon dibagi menjadi :

1. Baja dengan kadar karbon rendah ( $< 0,2 \% C$ )

Baja ini dengan komposisi karbon kurang dari 2%. Fasa dan struktur mikronya adalah ferrit dan perlit. Baja ini tidak bisa dikeraskan dengan cara perlakuan panas (*martensit*) hanya bisa dengan pengerjaan dingin. Sifat mekaniknya lunak, lemah dan memiliki keuletan dan ketangguhan yang baik. Serta mampu mesin (*machinability*) dan mampu las nya

(*weldability*) baik cocok untuk bahan bangunan konstruksi gedung, jembatan, rantai, body mobil.

2. Baja dengan kadar karbon sedang ( 0,1%-0,5 % C)

Baja karbon sedang memiliki komposisi karbon antara 0,2%-0,5% C (berat). Dapat dikeraskan dengan perlakuan panas dengan cara memanaskan hingga fasa austenit dan setelah ditahan beberapa saat didinginkan dengan cepat kedalam air atau sering disebut quenching untuk memperoleh fasa yang keras yaitu martensit. Baja ini terdiri dari baja karbon sedang biasa (*plain*) dan baja mampu keras. Kandungan karbon yang relatif tinggi itu dapat meningkatkan kekerasannya. Namun tidak cocok untuk di las, dengan kata lain mampu las nya rendah. Dengan penambahan unsur lain seperti Cr, Ni, dan Mo lebih meningkatkan mampu kerasnya. Baja ini lebih kuat dari baja karbon rendah dan cocok untuk komponen mesin, roda kereta api, roda gigi (*gear*), poros engkol (*crankshaft*) serta komponen struktur yang memerlukan kekuatan tinggi, ketahanan aus, dan tangguh.

3. Baja dengan kadar karbon tinggi ( >0,5 % C)

Baja karbon tinggi memiliki komposisi antara 0,6- 1,4% C (berat). Kekerasan dan kekuatannya sangat tinggi, namun keuletannya kurang. baja ini cocok untuk baja perkakas, dies (cetakan), pegas, kawat kekuatan tinggi dan alat potong yang dapat dikeraskan dan ditemper dengan baik. Baja ini terdiri dari baja karbon tinggi biasa dan baja perkakas. Khusus untuk baja perkakas biasanya mengandung Cr, V, W, dan Mo. Dalam pemuadannya unsur-unsur tersebut bersenyawa dengan karbon menjadi

senyawa yang sangat keras sehingga ketahanan aus sangat baik. Kadar karbon yang terdapat di dalam baja akan mempengaruhi kuat tarik, kekerasan dan keuletan baja. Semakin tinggi kadar karbonnya, maka kuat tarik dan kekerasan baja semakin meningkat tetapi keuletannya cenderung turun. Penggunaan baja di bidang teknik sipil pada umumnya berupa baja konstruksi atau baja profil, baja tulangan untuk beton dengan kadar karbon 0,10% - 0,50%. Selain itu baja karbon juga digunakan untuk baja/kawat pra tekan dengan kadar karbon s/d 0,90 %. Pada bidang teknik sipil sifat yang paling penting adalah kuat tarik dari baja itu sendiri.

## **2.7 Baja AISI 1050**

Besi baja 1050 adalah salah satu jenis baja karbon menengah yang paling umum digunakan dalam berbagai aplikasi industri. Komposisi kimianya secara umum terdiri dari sekitar 0,42-0,48% karbon, 0,60-0,90% mangan, 0,15-0,35% silikon, dan sejumlah kecil unsur paduan lainnya seperti fosfor dan belerang. Kandungan karbon yang cukup tinggi memberikan kekerasan dan kekuatan yang baik pada baja ini setelah proses perlakuan panas, yang biasanya meliputi pemanasan hingga suhu kritis, penggantian, dan pendinginan yang cepat (*quenching*).

Salah satu karakteristik utama dari besi baja AISI 1050 adalah kekuatan tariknya yang tinggi setelah perlakuan panas. Baja ini sering digunakan dalam pembuatan komponen-komponen mesin yang memerlukan kekuatan dan ketahanan yang baik terhadap beban mekanis, seperti poros, roda gigi, dan pegas. Selain itu, baja 1050 juga memiliki sifat yang baik untuk pengerasan permukaan

melalui proses perlakuan panas yang tepat, sehingga sering digunakan dalam aplikasi yang memerlukan permukaan yang tahan aus dan tahan gores.

Namun, meskipun memiliki kekuatan yang tinggi, besi baja 1050 memiliki keterbatasan dalam kelenturan dan ketangguhan. Baja ini cenderung lebih rapuh dibandingkan dengan baja karbon rendah, terutama dalam kondisi temperatur rendah atau saat terjadi pembebanan dinamis yang tinggi. Oleh karena itu, desain yang memperhitungkan faktor-faktor ini perlu dipertimbangkan dengan hati-hati saat menggunakan besi baja 1050 dalam aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap pemecahan atau deformasi plastis.

Dalam konteks industri, besi baja 1050 tetap menjadi pilihan yang populer untuk berbagai aplikasi mesin dan konstruksi, terutama di mana kekuatan tarik yang tinggi dan ketahanan terhadap keausan sangat diperlukan. Namun, penting untuk memahami batasan dan karakteristik material ini secara menyeluruh untuk memastikan penggunaannya yang efektif dan aman dalam aplikasi praktis.

Selain itu, besi baja 1050 juga memiliki karakteristik yang membuatnya cocok untuk proses fabrikasi yang melibatkan pembentukan dan pemrosesan mekanis. Kemampuannya untuk dikeraskan melalui perlakuan panas memungkinkan baja ini untuk diubah menjadi berbagai bentuk dan ukuran yang dibutuhkan dalam produksi komponen-komponen mesin yang kompleks. Proses fabrikasi seperti pembentukan, pengelasan, dan pemesinan dapat dilakukan dengan relatif mudah pada baja 1050, menjadikannya pilihan yang populer dalam industri manufaktur.

Namun, seperti halnya dengan semua material, pemilihan besi baja 1050 harus mempertimbangkan berbagai faktor, termasuk persyaratan aplikasi yang

spesifik, biaya produksi, dan ketersediaan material. Meskipun baja ini menawarkan kekuatan tarik yang tinggi dan kemampuan untuk pengerasan permukaan, beberapa aplikasi mungkin memerlukan sifat-sifat tambahan seperti ketangguhan yang lebih tinggi atau ketahanan terhadap korosi. Dalam hal ini, evaluasi yang cermat terhadap kebutuhan aplikasi dan karakteristik material lainnya sangat penting untuk memastikan pemilihan material yang tepat.

Dalam literatur teknik, banyak penelitian telah dilakukan untuk mengoptimalkan penggunaan besi baja 1050 dalam berbagai aplikasi. Penelitian-penelitian ini meliputi pengembangan teknik perlakuan panas yang lebih canggih, penerapan teknologi material baru, dan studi tentang perilaku mekanis baja ini di bawah berbagai kondisi beban dan lingkungan. Dengan demikian, pemahaman tentang besi baja 1050 terus berkembang dan meningkat, memberikan dasar yang lebih kuat bagi penggunaannya dalam industri manufaktur modern.



Gambar 2.4 Baja AISI 1050

## **2.8 Baja AISI 1020**

Besi baja 1020 adalah salah satu jenis baja karbon rendah yang umum digunakan dalam industri manufaktur dan konstruksi. Komposisi kimianya secara

umum terdiri dari sekitar 0,18-0,23% karbon, 0,30-0,60% mangan, 0,040% fosfor, dan 0,050% belerang. Kandungan karbon yang rendah membuat baja 1020 lebih mudah untuk dibentuk dan dilas dibandingkan dengan baja karbon menengah atau tinggi seperti 1050.

Salah satu keunggulan utama dari besi baja 1020 adalah kelenturannya yang tinggi. Baja ini memiliki kemampuan untuk menahan deformasi plastis yang signifikan sebelum mencapai titik patahnya, membuatnya cocok untuk aplikasi yang memerlukan proses pembentukan yang rumit, seperti pembuatan pipa, pelat, dan komponen struktural lainnya. Kemampuan untuk menahan deformasi plastis ini juga menjadikan baja 1020 lebih tahan terhadap retakan dan patah dibandingkan dengan baja karbon yang lebih keras.

Namun, meskipun memiliki kelenturan yang baik, besi baja 1020 umumnya memiliki kekuatan tarik yang lebih rendah dibandingkan dengan baja karbon menengah atau tinggi seperti 1050. Hal ini membuatnya kurang cocok untuk aplikasi yang memerlukan kekuatan tarik yang tinggi atau ketahanan terhadap beban mekanis yang berat. Meskipun demikian, kekuatan tarik baja 1020 masih memadai untuk sebagian besar aplikasi struktural dan mekanikal yang memerlukan keuletan dan kemudahan dalam proses fabrikasi.

Dalam industri, besi baja 1020 banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk pembuatan pipa, pelat, roda gigi, dan komponen struktural lainnya. Kemampuannya untuk dibentuk dan dilas dengan mudah menjadikannya pilihan yang populer dalam industri konstruksi, di mana proses fabrikasi yang efisien dan biaya produksi yang rendah sangat dihargai. Selain itu, baja 1020 juga

digunakan dalam pembuatan komponen mesin yang tidak memerlukan kekuatan tarik yang sangat tinggi, seperti poros kecil dan baut.

Meskipun memiliki kelebihan dalam kelenturan dan kemudahan proses fabrikasi, besi baja 1020 juga memiliki batasan yang perlu dipertimbangkan. Karena kandungan karbon yang rendah, baja ini cenderung kurang tahan terhadap aus dan korosi dibandingkan dengan baja karbon menengah atau tinggi. Oleh karena itu, perawatan dan perlindungan tambahan mungkin diperlukan untuk mencegah kerusakan dan degradasi material dalam lingkungan yang agresif.

Selain itu, keunggulan besi baja 1020 dalam kemampuan pembentukan dan proses fabrikasi juga membuatnya menjadi pilihan yang ideal untuk berbagai aplikasi di mana toleransi dimensi yang ketat dan kehalusan permukaan diperlukan. Proses pembentukan seperti pembengkokan, pembentukan lembaran, dan pengecoran dapat dilakukan dengan baik pada baja ini tanpa risiko retakan atau kegagalan struktural. Hal ini menjadikan besi baja 1020 sering digunakan dalam industri manufaktur yang memerlukan produksi massal dengan biaya yang efisien.

Dalam literatur teknik, besi baja 1020 telah menjadi subjek penelitian yang cukup luas, terutama dalam konteks pengembangan teknologi fabrikasi dan aplikasi struktural. Penelitian-penelitian ini telah mencakup berbagai aspek, mulai dari pengoptimalan parameter pengelasan hingga pengembangan teknik perlakuan panas yang dapat meningkatkan sifat mekanik dan keawetan baja 1020. Dengan demikian, pemahaman tentang besi baja 1020 terus berkembang dan berkembang seiring dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan industri yang semakin kompleks.

Dalam konteks penggunaan praktis, besi baja 1020 menawarkan solusi yang andal dan efisien untuk berbagai kebutuhan manufaktur dan konstruksi. Penggunaannya yang luas dalam berbagai aplikasi industri menunjukkan nilai dan kepraktisan material ini dalam pemenuhan persyaratan kinerja dan keandalan. Namun, penting untuk memahami batasan dan karakteristik material ini dengan baik, serta mempertimbangkan faktor-faktor seperti lingkungan operasional, beban kerja, dan persyaratan mekanis yang spesifik dalam pemilihan dan penggunaannya.



Gambar 2.5 Baja AISI 1020

## 2.9 Uji Tarik

Uji tarik adalah salah satu metode penting dalam pengujian material yang digunakan untuk mengevaluasi kekuatan dan sifat mekanis dari sebuah bahan. Prosedur uji tarik melibatkan penerapan beban tarik secara gradual pada sampel material yang diuji, sementara sampel tersebut ditarik hingga mencapai titik patah atau deformasi yang signifikan. Data yang dihasilkan dari uji tarik dapat memberikan informasi yang berharga tentang berbagai sifat mekanis, termasuk

kekuatan tarik, modulus elastisitas, elongasi, dan ketahanan terhadap deformasi plastis.

Dalam konteks penelitian ini, uji tarik akan dilakukan untuk membandingkan kekuatan tarik dari besi baja 1050 dan 1020. Metode uji yang akan digunakan adalah uji tarik standar yang diatur oleh organisasi standar seperti American Society for Testing and Materials (ASTM). Proses uji tarik akan melibatkan pengujian sampel-sampel standar yang diambil dari kedua jenis baja ini dengan ukuran dan geometri yang telah ditentukan.

Selama uji tarik, sampel-sampel baja akan ditempatkan dalam mesin uji tarik dan dikenakan beban tarik secara perlahan hingga mencapai titik patah atau kegagalan. Selama pengujian, data akan terus dipantau dan direkam, termasuk beban yang diterapkan pada sampel dan perubahan panjangnya seiring waktu. Dari data ini, kurva uji tarik dapat dibuat, yang menunjukkan hubungan antara tegangan (beban per unit area) dan regangan (perubahan panjang relatif) sampel.

Hasil uji tarik akan memberikan informasi tentang kekuatan tarik relatif dari besi baja 1050 dan 1020, serta karakteristik mekanis lainnya seperti modulus elastisitas, elongasi, dan ketahanan terhadap deformasi plastis. Data yang diperoleh dari uji tarik ini akan menjadi dasar untuk membandingkan performa kedua jenis baja dalam berbagai kondisi beban dan lingkungan operasional.

Selain itu, uji tarik juga akan dilakukan untuk sampel-sampel yang telah mengalami perlakuan panas tertentu, seperti pemanasan dan pendinginan cepat, serta tempering. Hal ini akan memungkinkan evaluasi terhadap pengaruh perlakuan panas terhadap sifat-sifat mekanis dari besi baja 1050 dan 1020, serta memberikan wawasan tentang potensi untuk meningkatkan performa material

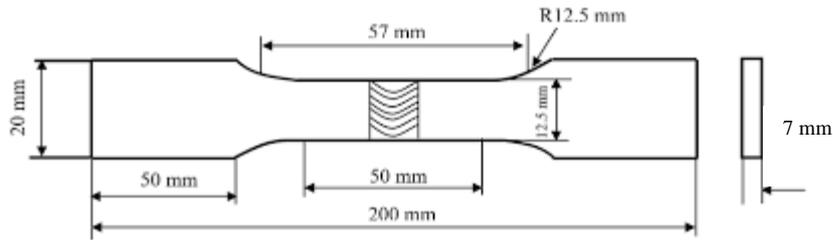
melalui modifikasi perlakuan panas. Dengan demikian, uji tarik akan menjadi salah satu pendekatan yang paling efektif untuk memahami karakteristik mekanis dari kedua jenis baja ini dan mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kinerjanya.

Selain itu, data yang diperoleh dari uji tarik juga akan digunakan untuk memvalidasi hasil analisis terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan tarik dari kedua jenis baja, seperti komposisi kimia, struktur mikro, dan perlakuan panas. Dengan membandingkan hasil uji tarik dari sampel-sampel yang telah mengalami perlakuan panas yang berbeda, penelitian ini akan dapat mengevaluasi pengaruh perlakuan panas terhadap kekuatan tarik dan sifat mekanis lainnya dari besi baja 1050 dan 1020.

Selain itu pula, hasil uji tarik juga akan memberikan wawasan yang berharga tentang aplikasi praktis dari kedua jenis baja ini dalam industri. Dengan memahami kekuatan tarik relatif dan karakteristik mekanis lainnya, pengguna potensial akan dapat membuat keputusan yang lebih informasi tentang penggunaan besi baja 1050 dan 1020 dalam berbagai aplikasi, termasuk pembuatan komponen mesin, struktur bangunan, dan peralatan manufaktur.

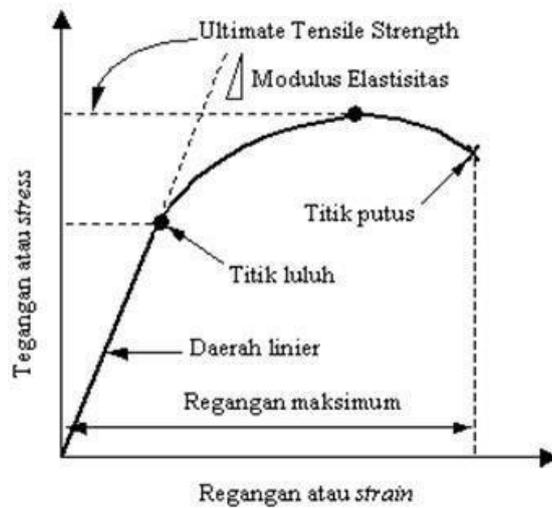
Selain itu, hasil dari uji tarik ini juga akan membantu dalam pengembangan teknologi material yang lebih maju. Dengan memahami lebih baik tentang sifat mekanis dari besi baja 1050 dan 1020, penelitian ini dapat memberikan dasar yang kuat untuk pengembangan material baru yang menggabungkan keunggulan dari kedua jenis baja ini. Hal ini dapat membuka peluang untuk meningkatkan performa dan keandalan material dalam berbagai

aplikasi industri, serta mendukung inovasi dalam rekayasa material secara keseluruhan.



Gambar 2.6 Pengujian Uji Tarik

Pengujian besi plat tersebut dibebani dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit hingga besi plat uji patah. Supaya dapat mengetahui kekuatan tarik dengan bentuk kurva tegangan-regangan teknik, seperti pada gambar dibawah berikut:



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:

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

Keterangan :

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

$A_0$  = Luas Penampang ( $cm^2$ )

$\sigma$  = Tegangan Tarik ( $kg/cm^2$ )

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:

$$E = \frac{l_i - l_0}{l_0} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

$E$  = Besar regangan

$l_i$  = Panjang benda uji akhir (mm)

$l_0$  = Panjang benda uji awal (mm)

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

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

Keterangan:

$E$  = Besar modulus elastisitas ( $kg/mm^2$ )

$e$  = Regangan

$\sigma$  = Tegangan ( $kg/mm^2$ )

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 Strength)

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

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

Keterangan:

$\sigma_t$  = kekuatan tarik (dalam satuan N/mm<sup>2</sup> atau Mpa)

$F_{maks}$  = Beban maksimal (kg)

$A$  = Luas penampang mula dari penampang batang (mm<sup>2</sup>)

b. Kekuatan Luluh (Yield Strength)

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:

$\sigma_y$  = Tegangan Luluh (N/mm<sup>2</sup> atau Mpa)

$F_f$  = gaya yang menyebabkan luluh ( Newton )

$A_o$  = Luas Penampang (mm<sup>2</sup>)

### c. Keuletan

Keuletan adalah kemampuan suatu bahan sewaktu menahan beban pada saat diberikan penetrasi 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 ini ditentukan oleh gaya ikat antar atom, karena 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:

$\sigma$  = Tegangan

$\epsilon$  = 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

$\sigma_y$  = Tegangan sebenarnya (kN/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{maks}$  = Regangan (%)

$\epsilon$  = Tegangan maksimal (kN/mm<sup>2</sup>)