

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dunia industri didukung oleh infrastruktur yang berkembang dan berkelanjutan dalam mengembangkan penelitian untuk bersaing terutama dalam bidang manufaktur. Dalam perkembangannya, perindustrian sendiri tidak dapat dilepaskan dari pengaruh sistem dan proses perancangan, pembentukan, dan pembuatan benda-benda yang terstruktur dan terencana. Hal ini didukung oleh penelitian yang masif dalam menciptakan benda-benda dengan proses manufaktur yang berkelanjutan, termasuk baja karbon (*carbon steel*)

Baja NS 1045 merupakan baja karbon menengah dengan komposisi karbon berkisar 0,43-0,50 %. Baja ini umumnya dipakai sebagai bahan baku utama komponen otomotif misalnya untuk komponen roda gigi pada kendaraan bermotor yang pada aplikasinya sering mengalami gesekan dan tekanan maka ketahanan terhadap aus dan kekerasan sangat diperlukan sekali (Ks Review, 2004).

Pengelasan (*welding*) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan. Pengelasan atau *welding* didefinisikan oleh *Deutsche Industrie Normen* (DIN) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair, atau sambungan logam pada titik tertentu (terlokalisasi) dengan menggunakan energi panas. Selama proses pengelasan, bagian yang dilas menerima panas pengelasan setempat atau

terlokalisir di sekitar titik pengelasan dan selama proses berjalan suhunya berubah terus sehingga distribusi suhu tidak merata. Karena panas tersebut, maka pada 2 bagian yang dilas terjadi pengembangan termal, sedangkan bagian yang dingin tidak berubah sehingga terbentuk tegangan sisa karena proses panas las tidak merata.

Proses pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) yang juga disebut Las Busur Listrik adalah proses pengelasan yang menggunakan panas untuk mencairkan material dasar atau logam induk dan elektroda (bahan pengisi). Panas tersebut dihasilkan oleh lompatan ion listrik yang terjadi antara katoda dan anoda (ujung elektroda dan permukaan pelat yang akan dilas). Panas yang dihasilkan dari lompatan ion listrik ini besarnya dapat mencapai 4000 derajat C sampai 4500 derajat C. Sumber tegangan yang digunakan pada pengelasan SMAW ini ada dua macam, yaitu AC (*alternating current*) / arus bolak balik dan DC (*Direct Current*) / arus searah. Proses terjadinya pengelasan ini karena adanya kontak antara ujung elektroda dan material dasar sehingga terjadi hubungan pendek, saat terjadi hubungan pendek tersebut tukang las (*welder*) harus menarik elektroda sehingga terbentuk busur listrik yaitu lompatan ion yang menimbulkan panas. Panas akan mencairkan elektroda dan material dasar sehingga cairan elektrode dan cairan material dasar akan menyatu membentuk logam lasan (*weld metal*).

Dari uraian diatas, maka penulis tertarik untuk membahas masalah tersebut dan mengambil judul skripsi : “Analisa Pengaruh Kuat Arus Terhadap Sifat Fisis *Heat Area Zone (HAZ)* dan Sifat Mekanis Batang Baja AISI 1045 pada Proses Pengelasan *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*”

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian penulis di atas, maka penulis dapat mengambil dan merumuskan beberapa masalah berikut :

1. Bagaimana pengaruh kuat arus listrik terhadap hasil pengelasan SMAW pada batang baja AISI 1045 melalui metode pengujian *Non Destructive Test* (uji penetrant) ?
2. Bagaimana pengaruh kuat arus listrik terhadap sifat mekanis hasil pengelasan SMAW menggunakan batang baja AISI 1045 dalam pengujian tegangan tarik (σ_t) ?
3. Bagaimana bentuk struktur micro batang baja AISI 1045 pada hasil pengelasan SMAW dengan kuat arus yang dilakukan?

1.3. Batasan Masalah

Dalam penyusunan laporan ini, penulis membatasi masalah-masalah yang akan dibahas. Adapun batasan masalah yang akan dibahas dalam laporan ini adalah:

1. Pengelasan dilakukan dengan menggunakan kawat las E 6013 RB dengan pengelasan kampuh II
2. Kuat arus yang dilakukan pada perobaan ini adalah 80, 90 , dan 100 Ampere
3. Mengamati hasil pengelasan secara visual dengan metode *Non Destructive* menggunakan cairan penetrant.

4. Menghitung dan membandingkan tegangan tarik pengelasan baja AISI 1045
5. Mengamati hasil pengelasan dengan pola struktur mikro baja
6. Metode analisa yang digunakan adalah metode langsung

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui kualitas hasil pengelasan berdasarkan kuat arus listrik pada pengelasan bahan batang baja AISI 1045 melalui metode pengujian *Non Destructive Test* (uji penetrant)
2. Untuk mengetahui pengaruh kuat arus listrik terhadap sifat mekanis hasil pengelasan SMAW menggunakan batang baja AISI 1045 dalam pengujian tegangan tarik (σ_t).
3. Untuk mengamati pengaruh kuat arus listrik terhadap struktur micro batang baja AISI 1045 hasil pengelasan SMAW.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk menambah pengalaman dan wawasan penulis mengenai kuat arus yang ideal saat melakukan pengelasan pada batang baja karbon rendah.
2. Sebagai sarana pelatihan bagi penulis agar dapat menggunakan dan menerapkan ilmu didunia industri.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian mengenai hubungan kuat arus listrik dengan hasil pengelasan secara fisis maupun mekanis pada pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) sudah pernah dilakukan di beberapa penelitian terhadulu dengan berabgai jenis percobaan dan bahan uji. Salah satu tolak ukur pengaruh arus listrik terhadap hasil pengelasan yaitu dengan menggunakan metode langsung. Dan berikut adalah penilitian-penelitian dengan metode serupa yang pernah dilakukan akan menjadi refrensi penulisan guna untuk mendukung penyusunan tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Azwinur, dkk (2020) dalam penelitian untuk tugas akhir Politeknik Negeri lhokseumawe mengenai studi “Pengaruh arus pengelasan SMAW terhadap kekuatan sambungan las *Double Lap Joint* pada material AISI 1050” menyimpulkan bahwa dengan arus pengelasan 100 A, 125 A, dan 150 A didapatkan kekutan tarik terbaik ada pada arus 100 A sebesar 74.05 kgf/mm². sedangkan yang terrendah ada pada pngelasan dengan arus 150 A sebesar 68.60 kgf/mm².
2. Trinova Budi Santoso, dkk (2015) dalam peneltitan jurnalnya tentang studi “Pengaruh kuat arus listrik pegelasan terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro las SMAW dengan elektroda E7016” menyimpulkan bahwa nilai tertinggi kekuatan tarik,kekuatan luluh, dan kekuatan patah ada pada arus

pengelasan 150 A sebesar 48.503 kgf/mm^2 ; 30.373 kgf/mm^2 ; dan 33.485 kgf/mm^2 . Sedangkan yang terendah ada pada arus 100 A sebesar 313.863 kgf/mm^2 ; $16,024 \text{ kgf/mm}^2$; 23.907 kgf/mm^2 . Sedangkan pada struktur mikro secara umum didominasi oleh perlit.

3. Yoyok Winardi, dkk (2020) dalam penelitian “Pengaruh elektroda pengelasan pada baja AISI 1045 dan SS 202 Terhadap Struktur Mikro dan kekuatan tarik” menyimpulkan bahwa jenis elektroda mempengaruhi kekuatan tarik pengelasan baja AISI 1045 dan SS 202. Pengelasan baja dengan elektroda E7018 memiliki pola struktur mikro ferit yang lebih halus dibandingkan dengan menggunakan elektroda E6013. Pengelasan dengan E6013 memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar $275,7 \text{ kN/mm}^2$, sedangkan E7018 memiliki kekuatan rata-rata sebesar $419,5 \text{ kN/mm}^2$.
4. Reymond Reflon F Gultom (2021) dalam penelitian “Analisa sifat mekanik dan struktur mikro terhadap pengelasan baja AISI 1045 dengan metode SMAW dan GTAW pada arus 100 ampere” menyimpulkan bahwa pengelasan dengan GTAW memiliki tingkat kekerasan yang lebih tinggi daripada pengelasan dengan metode SMAW karena pola struktur mikro pada GTAW lebih kecil dibandingkan dengan SMAW. Hasil rata-rata pengujian kekerasan pada baja AISI 1045 las SMAW dengan elektroda E6013 pada arus 100 ampere adalah 160,04 BHN dan las GTAW dengan filer TG-S50 pada arus 100 ampere adalah 172,53 BHN. Nilai rata-rata tegangan pada pengelasan SMAW adalah 323,14 Mpa an las GTAW dengan filer TG-S50 pada arus 100 ampere adalah 411,57 MPA.

Berdasarkan uraian diatas, penulis merasa tertarik untuk melakukan penelitian sejenis dengan judul “Analisa Pengaruh Kuat Arus Terhadap Sifat Fisis *Heat Area Zone (HAZ)* dan Sifat Mekanis Batang Baja AISI 1045 pada Proses Pengelasan *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*”.

2.2 Metode Penyambungan

2.2.1 Pengelasan

Las merupakan sebuah metode yang digunakan untuk menyambung dua bagian logam menjadi satu bagian yang kuat dengan memanfaatkan energy panas. Apabila las *oxyacetylene* menggunakan panas dari gas karbit dan oksigen, pada las busur nyala listrik ini, panas diambil dari arus listrik yang mengalir diantara dua logam.

Energi panas disalurkan pada ujung-ujung bagian logam yang akan disambung hingga bagian tersebut meleleh. Pada saat yang sama bahan tambah (yang juga berada dalam kondisi meleleh) ditambahkan kedalam lelehan kedua bagian logam yang akan disambung. Bahan tambah beserta kedua bagian logam yang dilelehkan berpadu membentuk ikatan metalurgi sehingga setelah dingin membeku dan hasilkan ikatan sambungan yang kuat.

Selama di dalam proses pengelasan terjadi peleburan dan perpaduan antara bahan tambah dan kedua bagian logam yang akan disambung, kekuatan sambungan yang dihasilkan proses pengelasan sama dengan kekuatan bahan dasar logam yang disambung.

Fungsi Pengelasan adalah untuk mendapatkan kekuatan sambungan logam yang melebihi dari sifat mekanik (kekuatan tarik, kekerasan, ketangguhan) logam induk. Sebenarnya fungsi pengelasan juga bisa untuk melapisi permukaan material agar mempunyai nilai kekerasan yang lebih tinggi dengan tujuan agar tahan dari gesekan atau abrasif. Dewasa ini jenis pengelasan semakin banyak dengan adanya kemajuan teknologi, baik proses pengelasan yang menggunakan bahan tambah atau filler maupun yang tanpa menggunakan bahan tambah. Yang terbaru adalah proses pengelasan yang menggunakan energi putaran yang nantinya akan terjadi gesekan dan menimbulkan panas yang tinggi dan dapat digunakan untuk proses pengelasan yang biasanya disebut dengan proses las friction welding.

Pengelasan merupakan penyambungan dua bahan atau lebih yang didasarkan pada prinsip-prinsip proses difusi, sehingga terjadi penyatuan bagian bahan yang disambung. Kelebihan sambungan las adalah konstruksi ringan, dapat menahan kekuatan yang tinggi, mudah pelaksanaannya, serta cukup ekonomis. Namun kelemahan yang paling utama adalah terjadinya perubahan struktur mikro bahan yang dilas, sehingga terjadi perubahan sifat fisik maupun mekanis dari bahan yang dilas.

Perkembangan teknologi pengelasan logam memberikan kemudahan umat manusia dalam menjalankan kehidupannya. Saat ini kemajuan ilmu pengetahuan di bidang elektronik melalui penelitian yang melihat karakteristik atom, mempunyai kontribusi yang sangat besar terhadap penemuan material baru dan sekaligus bagaimanakah menyambungannya.

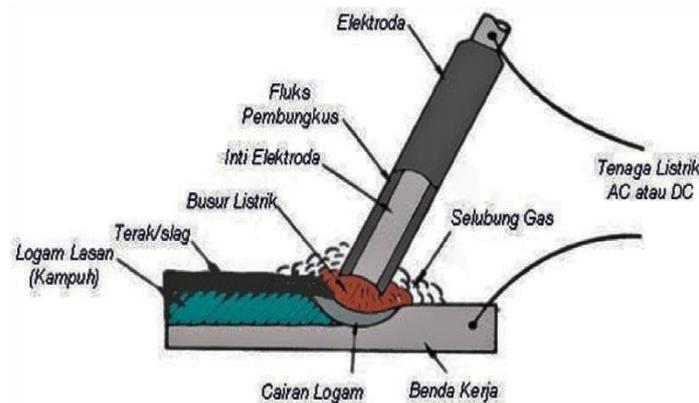
Jauh sebelumnya, penyambungan logam dilakukan dengan memanasi dua buah logam dan menyatukannya secara bersama. Logam yang menyatu tersebut dikenal dengan istilah *fusion*. Las listrik merupakan salah satu yang menggunakan prinsip tersebut.

Pada zaman sekarang pemanasan logam yang akan disambung berasal dari pembakaran gas atau arus listrik. Beberapa gas dapat digunakan, tetapi yang sangat populer adalah gas *Acetylene* yang lebih dikenal dengan gas Karbit. Selama pengelasan, gas *Acetylene* dicampur dengan gas Oksigen murni. Kombinasi campuran gas tersebut memproduksi panas yang paling tinggi diantara campuran gas lain.

Cara lain yang paling utama digunakan untuk memanasi logam yang dilas adalah arus listrik. Arus listrik dibangkitkan oleh generator dan dialirkan melalui kabel ke sebuah alat yang menjepit elektroda diujungnya, yaitu suatu logam batangan yang dapat menghantarkan listrik dengan baik. Ketika arus listrik dialirkan, elektroda disentuhkan ke benda kerja dan kemudian ditarik ke belakang sedikit, arus listrik tetap mengalir melalui celah sempit antara ujung elektroda dengan benda kerja. Arus yang mengalir ini dinamakan busur (*arc*) yang dapat mencairkan logam.

Terkadang dua logam yang disambung dapat menyatu secara langsung, namun terkadang masih diperlukan bahan tambahan lain agar deposit logam lasan terbentuk dengan baik, bahan tersebut disebut bahan tambah (*filler metal*). *Filler metal* biasanya berbentuk batangan, sehingga biasa dinamakan *welding rod* (Elektroda las). Pada proses las, *welding rod* dibenamkan ke dalam cairan logam

yang tertampung dalam suatu cekungan yang disebut *welding pool* dan secara bersama-sama membentuk deposit logam lasan, cara seperti ini dinamakan Las Listrik atau SMAW (*Shielded metal Arch welding*), lihat gambar 2.1.



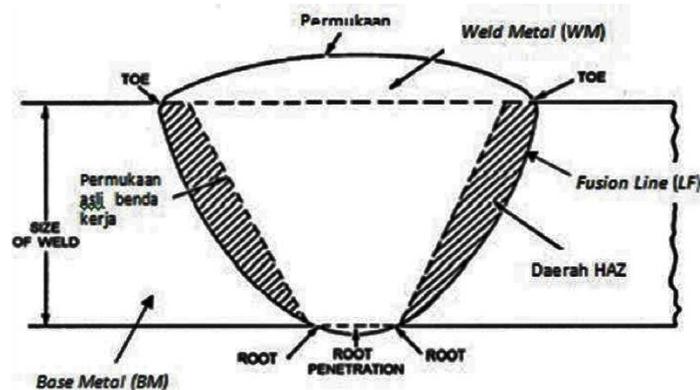
Gambar 2.1. SMAW (*Shielded Metal Arch Welding*)

Sebagian besar logam akan berkarat (korosi) ketika bersentuhan dengan udara atau uap air, sebagai contoh adalah logam besi mempunyai karat, dan aluminium mempunyai lapisan putih di permukaannya. Pemanasan dapat mempercepat proses korosi tersebut. Jika karat, kotoran, atau material lain ikut tercampur ke dalam cairan logam lasan dapat menyebabkan kekroposan deposit logam lasan yang terbentuk sehingga menyebabkan cacat pada sambungan las.

Pengelasan merupakan salah satu bagian yang tak terpisahkan dari proses manufaktur. Proses pengelasan (*welding*) merupakan salah satu teknik penyambungan logam dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam tambahan sehingga menghasilkan sambungan yang kontinu. Sedangkan definisi menurut *Deutsche Industrie and Normen* (DIN), las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan *melting* atau cair

Proses pengelasan memerlukan panas untuk meleburkan atau mencairkan logam dasar dan bahan pengisi agar terjadi aliran bahan atau peleburan. Energi pembangkit panas dapat dibedakan menurut sumbernya yaitu listrik, kimiawi, mekanis, dan bahan semikonduktor. Proses pengelasan yang paling umum, terutama untuk mengelas baja, yaitu memakai energi listrik sebagai sumber panas dan yang paling banyak digunakan adalah busur nyala (listrik). Busur nyala adalah pancaran arus listrik yang relatif besar antara elektroda dan logam dasar yang dialirkan melalui kolom gas ion hasil pemanasan.

Dalam proses pengelasan, secara umum kita dapat mengkategorikan beberapa bagian daerah hasil pengelasan yang terdapat pada saat proses penyambungan (*welding*) terjadi (Gambar 2.2), sesuai dengan perbedaan karakteristik metalurginya yaitu :



Gambar 2.2. Daerah Hasil Pengelasan

1. Weld Metal (WM) atau logam las, merupakan daerah yang mengalami pencairan dan membeku kembali sehingga menyebabkan perubahan struktur mikro dan sifat mekaniknya

2. *Heat Affected Zone (HAZ)* atau daerah terkena pengaruh panas, merupakan daerah yang tidak terjadi pencairan dan pembekuan tetapi mengalami pengaruh panas sehingga terjadi perubahan struktur mikro.



Gambar 2.3. *Heat Area Zone (HAZ)*

3. *Fusion Line (LF)* atau daerah fusi, merupakan garis batas antara logam yang mencair dan daerah HAZ.
4. *Base Metal (BM)* atau logam induk, dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan perubahan struktur dan sifat.

2.2.2 Klasifikasi Pengelasan

Sampai saat ini banyak sekali cara-cara pengklasifikasian yang digunakan dalam bidang las, hal ini disebabkan karena belum adanya kesepakatan dalam hal tersebut. Ada beberapa syarat yang harus dipenuhi untuk keberhasilan proses pengelasan yaitu:

1. Material yang akan disambung dapat mencair oleh panas.
2. Antara material yang akan disambung terdapat kesesuaian sifat lasnya.
3. Cara penyambungan sesuai dengan sifat benda padat dan tujuan penyambungan.

Beberapa contoh cara-cara pengklasifikasian tersebut diantaranya adalah klasifikasi berdasarkan sumber 10 energi panas yang digunakan dan cara pengelasan.



Gambar 2.4. Klasifikasi Pengelasan

Pada proses pengelasan dengan *electric arc welding* dibagi menjadi 2 kategori yaitu *Consumable Electrode* dan *Non Consumable Electrode*. Yang dimaksud dengan *Consumable Electrode* adalah bahwa elektroda ikut habis terbakar dan sekaligus sebagai bahan pengisi. Sedangkan *nonConsumable Electrode* adalah proses pengelasan dimana elektroda tidak ikut terbakar. Bahan pengisi menggunakan bahan lain yang dicairkan bersamaan dengan proses pencairan logam induk.

Macam-macam pengelasan kategori *Consumable Electrode* diantaranya adalah *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*, *Gas Metal Arc Welding (GMAW/MIG)*, *Submerged Arc Welding (SAW)* dan *Flux Core Arc Welding (FCAW)*. Sedangkan pengelasan *Non Consumable Electrode* yang paling populer adalah *Gas Tungsten Arc Welding (GTAW/TIG)*. Dalam dunia industri manufaktur sendiri pada umumnya mengenal semua jenis pengelasan tersebut.

Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

Diantara macam-macam pengelasan yang ada, SMAW merupakan yang paling populer dan banyak digunakan. SMAW sering digunakan baik untuk memenuhi kebutuhan skala rumahan maupun proyek yang besar. Pengelasan SMAW menggunakan elektroda terbungkus yang ikut mencair dan sekaligus sebagai bahan pengisi. Elektroda sekaligus berfungsi sebagai kutub negatif dan benda kerja sebagai kutub positif. Panas berasal dari adanya busur listrik yang menyebabkan elektroda dan logam dasar melebur secara bersamaan.

Fluks elektroda (pembungkus elektroda) berfungsi untuk melindungi logam las agar tidak bereaksi dengan lingkungan/atmosfer. Elektroda dengan diameter kecil, maka arus yang digunakan juga lebih rendah. Elektroda jenis ini biasa digunakan untuk material carbon steel yang tipis pada semua posisi pengelasan. Jenis elektroda dengan diameter besar, maka yang digunakan juga arus tinggi. Elektroda jenis ini biasanya untuk pengelasan material carbon steel yang tebal pada posisi flat dan horisontal. Pengelasan SMAW digunakan hampir pada semua jenis material, sederhana, ringan dan biaya rendah. Contoh kode filler metal yang sering digunakan dalam AWS adalah E 7018.

Gas Metal Arc Welding (GMAW/MIG)

Macam-macam pengelasan berikutnya adalah Gas Metal Arc Welding. Pada pengelasan jenis ini dibagi menjadi dua yaitu MIG (*Metal Inert Gas*) dan MAG (*Metal Active Gas*). Perbedaan keduanya adalah pada gas yang digunakan dalam proses pengelasan. Proses MIG memakai gas mulia saja; Argon, Helium, sedangkan MAG menggunakan gas CO₂ atau campuran dengan argon. Pengelasan GMAW biasanya digunakan pada pengelasan fabrikasi *steel structure* material CS menggunakan CO₂ atau campurannya. Sangat menguntungkan untuk tonase yang besar karena kecepatannya sangat tinggi (tanpa harus berhenti mengganti kawat las). Contoh *filler* dalam AWS: ER 70 S-6.

Submerged Arc Welding (SAW)

Macam-macam pengelasan dengan consumable electrode yang selanjutnya adalah Submerged Arc Welding (SAW). Busur listrik dan logam cair dilindungi oleh fluks cair dan lapisan partikel fluks yg berbentuk *granular*. Ujung elektroda yang dimakan secara kontinu, dibenamkan ke dalam fluks dan pada saat itu busur listrik tidak berfungsi. Proses pengoperasiannya dilakukan secara mekanik dan semi otomatis. Sistem mekanik dapat digunakan bila posisi pengelasan *flat*, sedangkan sistem semi otomatis digunakan apabila pekerjaan memerlukan kualitas las yang konsisten. Proses pengelasan SAW dapat digunakan untuk baja karbon, baja paduan semua *grade* dengan tingkat kekerasan yang relatif tinggi. Sistem pengelasan ini sendiri diaplikasikan dengan cara yang unik dan juga memerlukan energi listrik yang lebih stabil. Contoh *filler metal* dan fluksnya dalam AWS *class* adalah F7A6-EM12K.

Flux Core Arc Welding (FCAW)

Pengelasan FCAW merupakan macam-macam pengelasan yang relatif sama dengan proses GMAW. Proses pengelasan FCAW menggunakan elektroda berinti sebagai pengganti solid electrode dan digunakan untuk menyambung logam *ferrous*. Inti logam dapat berupa atau mengandung mineral, serbuk paduan besi dan material yang dapat berfungsi sebagai *shielding gas*, *deoxidizer* dan pembentuk *slag*. Penambahan ini dapat meningkatkan *arc stability*, sifat mekanik material dan membentuk kontur las. Contoh *filler metal* dalam AWS adalah E 81 T1 B2.

Gas Tungsten Arc Welding (GTAW/TIG)

Macam-macam pengelasan selanjutnya yang juga cukup ⁹energy⁹ adalah *Gas Tungsten Arc Welding*(GTAW) atau juga sering disebut *Tungsten Inert Gas* (TIG). Elektroda yang digunakan (*tungsten*) tidak ikut melebur, yang melebur adalah bahan pengisi (*filler*) biasa disebut *welding rod*. Busur listrik terjadi antara elektroda dan material dasar (*base metal*), sedangkan *shielding gas* digunakan untuk melindungi elektroda dan logam cair.

Proses pengelasan GTAW pada umumnya menggunakan pengaturan arus secara DCSP (DCEN/ *direct current electrode negative*) untuk material CS, SS, Ti. Sedangkan untuk pengelasan pengelasan Aluminium, magnesium menggunakan DCEP (*direct current electrode positive*). Gas yang digunakan adalah gas mulia; argon, helium atau campuran argon dan helium. Penggunaan proses GTAW dilapangan pada umumnya adalah *Full* GTAW, untuk pipa

ketebalan ≤ 5 mm dengan diameter ≤ 4 inch untuk material CS atau material SS semua diameter.

Selain itu juga digunakan pada plat tipis bahan SS atau pipa aluminium. Penggunaan berikutnya adalah sebagai *Root* saja (*Filler & Capping* dengan SMAW), biasanya digunakan untuk ketebalan pipa ≥ 6 mm baik material CS atau SS, atau untuk *root welding* pada pipa *cladding*. Contoh *filler metal* dalam AWS adalah ER70SG, ER80SG.

2.3 Jenis Elektroda

Elektroda adalah konduktor yang dilalui arus listrik dari satu media ke yang lain, biasanya dari sumber listrik ke perangkat atau bahan. Elektroda dapat mengambil beberapa bentuk yang berbeda, termasuk kawat, piring, atau tongkat, dan yang paling sering terbuat dari logam, seperti tembaga, perak, timah, atau seng, tetapi juga dapat dibuat dari bahan konduktor listrik non- logam, seperti grafit. Elektroda yang digunakan dalam pengelasan, listrik, baterai, obat-obatan, dan industri untuk proses yang melibatkan elektrolisis. Di mana pada arus listrik memasuki atau meninggalkan larutan atau media lainnya pada perangkat listrik seperti baterai, sel ic Elektrolit, atau tabung elektron.

Elektroda baja lunak dan baja paduan rendah untuk las busur listrik menurut klasifikasi AWS (American Welding Society) dinyatakan dengan tanda **E XXXX** yang artinya sebagai berikut :

- a. **E** : menyatakan elaktroda busur listrik

- b. **XX** (dua angka) : sesudah E menyatakan kekuatan tarik deposit las dalam ribuan Ib/in²
- c. **X** (angka ketiga) : menyatakan posisi pangelasan.
- d. angka 1 untuk pengelasan segala posisi. angka 2 untuk pengelasan posisi datar di bawah tangan
- e. **X** (angka keempat) menyatakan jenis selaput dan jenis arus yang cocok dipakai untuk pengelasan.

Contoh : **E 6013** ; Artinya:

Kekuatan tarik minimum dan deposit las adalah 60.000 Ib/in² atau 42kg/cm² Dapat dipakai untuk pengelasan segala posisi Jenis selaput elektroda Rutil-Kalium dan pengelasan dengan arus AC atau DC + atau DC -. Dan bermacam-macam jenis elektroda baja lunak perbedaannya hanyalah pada jenis selaputnya. Sedangkan kawat intinya sama. Pada beberapa perangkat elektroda juga disebut kutub atau pelat. Elektroda baterai dipisahkan oleh larutan yang mengandung ion-ion (atom atau kelompok atom bermuatan listrik). Salah satu elektroda (elektroda negatif) mengalami reaksi kimia yang memberikan kelebihan elektron. Elektroda lainnya (elektroda positif) mengalami reaksi kimia yang menghilangkan elektron. Ketika dua elektroda dihubungkan oleh sebuah sirkuit listrik eksternal, kelebihan elektron akan mengalir dari elektroda negatif ke positif.

Sel elektrolit dan tabung elektron yang terhubung ke sumber eksternal daya listrik, seperti baterai atau dinamo. Sumber listrik menggerakkan elektron ke salah satu elektroda (menjadikannya elektroda negatif), menarik elektron dari

yang lain (sehingga elektroda positif), dan menyebabkan arus mengalir melalui media antara mereka.

Elektroda di mana muatan negatif memasuki perangkat listrik disebut katoda, elektroda di mana muatan negatif meninggalkan disebut anoda. Elektroda negatif pada baterai adalah anoda, sedangkan elektroda negatif dari sel elektrolit adalah katoda.

Anoda

Anoda adalah elektroda, bisa berupa logam maupun penghantar listrik lain, pada sel elektrokimia yang terpolarisasi jika arus listrik mengalir ke dalamnya. Arus listrik mengalir berlawanan dengan arah pergerakan elektron. Pada proses elektrokimia, baik sel galvanik (baterai) maupun sel elektrolisis, anoda mengalami oksidasi. Perlu diperhatikan bahwa tidak selalu anion (ion yang bermuatan negatif) bergerak menuju anoda, ataupun tidak selalu kation (ion bermuatan positif) akan bergerak menjauhi anoda. Pergerakan anion maupun kation menuju atau menjauh dari anoda tergantung dari jenis sel elektrokimianya.

Pada sel galvanik atau pembangkit listrik (baterai), anoda adalah kutub negatif. Elektroda akan melepaskan elektron menuju ke sirkuit dan karenanya arus listrik mengalir ke dalam elektroda ini dan menjadikannya anoda dan berkutub negatif. Dalam sel galvanik, reaksi oksidasi terjadi secara spontan. Karena terus menerus melepaskan elektron anoda cenderung menjadi bermuatan positif dan menarik anion dari larutan (elektrolit) serta menjauhkan kation. Dalam contoh gambar diagram anoda seng (Zn) di kanan, anion adalah SO_4^{2-} , kation adalah

Zn^{2+} dan $ZnSO_4$ elektrolit. Pada sel elektrolisis, anoda adalah elektroda positif. Arus listrik dari kutub positif sumber tegangan listrik luar (GGL) dialirkan ke elektroda sehingga memaksa elektroda teroksidasi dan melepaskan elektron.

Katoda

Kebalikan dari anoda, katoda adalah elektroda dalam sel elektrokimia yang terpolarisasi jika arus listrik mengalir keluar darinya. Pada baterai biasa (Baterai Karbon-Seng), yang menjadi katoda adalah seng, yang juga menjadi pembungkus baterai. Sedangkan, pada baterai alkalin, yang menjadi katoda adalah mangan dioksida (MnO_2).

Katoda berasal dari bahasa Yunani yaitu hodos yang berarti jalan. Katoda merupakan elektroda negatif. Kutub negatif. Dalam elektrolisis, katoda merupakan elektroda dengan potensial negatif terhadap anoda. Dalam berbagai sistem elektrik, misalnya tabung lucutan dan piranti elektrik padat, katoda adalah ujung akhir elektron masuk dalam sistem. Katoda merupakan kutub negatif dari sel elektroli. Pada baterai biasa (Baterai Karbon-Seng), yang menjadi kutub katoda biasanya adalah logam seng, yang juga sering menjadi pembungkus dari kotak baterai tersebut. Sedangkan, pada baterai alkalin, yang menjadi katoda adalah logam mangan dioksida (MnO_2).

Dalam kasus arus searah (DC), elektroda datang berpasangan, dan dikenal sebagai anoda dan katoda. Untuk baterai, atau sumber DC lainnya, katoda didefinisikan sebagai elektroda dari mana arus meninggalkan, dan anoda sebagai titik di mana ia kembali. Untuk alasan yang historis daripada ilmiah, listrik pada rangkaian ini, dengan konvensi, digambarkan dengan bergerak dari positif ke

negatif, sehingga dipandang sebagai aliran muatan positif keluar dari katoda, dan ke anoda.

Arus listrik, namun terdiri dari aliran partikel bermuatan negatif kecil yang disebut elektron, sehingga aliran ini sebenarnya dalam arah yang berlawanan. Dalam konteks ini, mungkin lebih baik untuk berpikir hanya dalam hal terminal positif dan negatif.

Di dalam baterai, atau sel elektrokimia, elektroda terbuat dari bahan yang berbeda, salah satunya menyerahkan elektron lebih mudah dari yang lain. Mereka disimpan dalam bahan kimia yang dapat dipecah menjadi ion positif dan negatif. Ketika rangkaian tertutup, dengan kata lain, ketika baterai terhubung ke perangkat listrik, seperti bola lampu, reaksi redoks berlangsung di dalam sel.

Ini berarti bahwa penambahan elektron kimia yang dihantarkan pada salah satu elektroda – sebuah proses yang dikenal sebagai reduksi – dan kehilangan di bagian lain – sebuah proses yang disebut oksidasi – dengan hasil elektron yang mengalir sebagai arus yang berputaran dalam rangkaian. Reduksi selalu terjadi pada katoda, dan oksidasi di anoda.

Dalam baterai isi ulang, proses ini dibalik ketika baterai sedang diisi. Arus listrik dari sumber lain digunakan untuk daya reaksi redoks dalam arah yang berlawanan, yang berarti bahwa anoda menjadi katoda dan sebaliknya.

Hal ini masih terjadi reduksi yang terjadi pada katoda dan oksidasi pada anoda, tetapi arah arus dibalik, sehingga yang elektroda negatif dan yang positif tergantung pada apakah baterai memasok arus atau pengisian. Kadang-kadang

selsel yang terhubung bersama dengan elektroda, yang bertindak sebagai anoda untuk satu sel dan katoda untuk lainnya. Hal ini dikenal sebagai elektroda bipolar.

Dalam kasus arus bolak balik (AC), tidak ada perbedaan antara anoda dan katoda. Hal ini karena arus terus membalikkan arah, berkali-kali per detik. Elektroda menggunakan jenis arus ini akan terus konstan karena itu beralih antara negatif dan positif.

1. Elektrolisis

Untuk mendapatkan unsur tertentu, senyawa ionik unsur dapat di elektrolisis. Contohnya adalah produksi logam natrium dari garam cair, atau natrium klorida. Ketika arus mengalir, ion natrium bermuatan positif tertarik ke elektroda negatif, atau katoda, di mana mereka mendapatkan elektron, membentuk logam natrium. Ion klorida bermuatan negatif tertarik ke anoda, di mana mereka kehilangan elektron, membentuk gas klor, yang juga dikumpulkan sebagai produk sampingan.

2. Elektroplating

Dalam proses ini, benda logam dilapisi dengan logam lain untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi atau penampilan. Benda yang akan dilapisi sebagai katoda dalam proses elektrolisis dengan direndam dalam larutan senyawa larut dari logam yang akan membentuk lapisan, dengan anoda juga terbuat dari logam ini.

Ketika arus mengalir, ion logam positif dari larutan tertarik ke katoda, dan membentuk deposit di atasnya. Saat ion dalam larutan yang digunakan,

mereka digantikan oleh ion yang terbentuk dari anoda. Kadangkadang, anoda terbuat dari bahan yang berbeda yang tidak habis; dalam metode ini, ion logam harus diganti dengan topping pada larutan.

Berikut adalah jenis-jenis elektroda baja lunak yang umum dipakai di proyek konstruksi:

1. Elektroda E 6010 dan E 6011

Elektroda ini adalah jenis elektroda selaput selulosa yang dapat dipakai untuk pengelesan dengan penembusan yang dalam. Pengelasan dapat pada segala posisi dan terak yang tipis dapat dengan mudah dibersihkan.

Deposit las biasanya mempunyai sifat sifat mekanik yang baik dan dapat dipakai untuk pekerjaan dengan pengujian Radiografi. Selaput selulosa dengan kebasahan 5% pada waktu pengelasan akan menghasilkan gas pelindung. E 6011 mengandung Kalium untuk mambantu menstabilkan busur listrik bila dipakai arus AC.

E 6010 digunakan dengan mesin las arus DC, sedangkan E 6011 bisa digunakan dengan arus AC dan DC . Jenis elektroda las ini dapat digunakan pada permukaan yang tidak bersih, terdapat cat, dan galvanis. Cocok untuk gouging pada pekerjaan cutting dan welding repair di workshop fabrikasi.

2. Elektroda E 6012 dan E 6013

Kedua elektroda ini termasuk jenis selaput rutil yang dapat manghasilkan penembusan sedang. Keduanya dapat dipakai untuk pengelasan segala posisi,

tetapi kebanyakan jenis E 6013 sangat baik untuk posisi pengelesan tegak arah ke bawah atau las *downhill*.

Jenis E 6012 umumnya dapat di pakai pada ampere yang relatif lebih tinggi dari E 6013. Jenis elektroda ini mengandung lebih banyak Kalium memudahkan pemakaian pada voltage mesin yang rendah. Elektroda dengan diameter kecil kebanyakan dipakai untuk pangelasan pelat tipis. Elektroda E 6012 memberikan busur yang lebih kuat daripada elektroda E 6013, pada umumnya digunakan untuk pengelasan sheet metal dan aplikasi arus rendah lainnya. Elektroda E 6013 mirip dengan E 6012 tapi, lebih mudah digunakan, percikan minimal, dan menghasilkan manik las yang lebih bagus.

3. Elektroda E 6020

Elektroda jenis ini dapat menghasilkan penembusan las sedang dan teraknya mudah dilepas dari lapisan las. Selaput elektroda terutama mengandung oksida besi dan mangan. Cairan terak yang terlalu cair dan mudah mengalir cocok untuk pengelasan datar tapi menyulitkan pada pengelasan dengan posisi lain misalnya posisi vertikal dan overhead.

4. Elektroda Selaput Serbuk Besi

Elektroda jenis ini antara lain: E 6027, E 7014, E 7018, E 7024 dan E 7028. Mengandung serbuk besi untuk meningkatkan efisiensi pengelasan. Umumnya selaput elektroda akan lebih tebal dengan bertambahnya persentase serbuk besi. Dengan adanya serbuk besi dan bertambah tebalnya selaput, pengelasan akan memerlukan ampere yang lebih tinggi.

5. Elektroda Hydrogen Rendah

Elektroda jenis ini antara lain: E 7015, E 7016 dan E 7018. Selaput elektroda jenis ini mengandung hydrogen yang rendah (kurang dari 0,5 %), sehingga deposit las dapat bebas dari porositas. Elektroda ini dipakai untuk pengelasan yang memerlukan mutu tinggi dan bebas porositas, misalnya untuk pengelasan bejana dan pipa yang bertekanan.

Elektroda las E7015 mempunyai kekuatan tarik 580MPa dan kekuatan luluh 490Mpa. Cocok untuk mengelas struktur baja low carbon steel dan low alloy steel, seperti 16Mn, 16MnR, 09Mn2Si, 09Mn2V dan sebagainya.

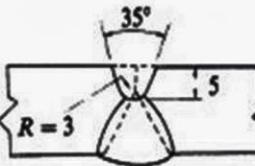
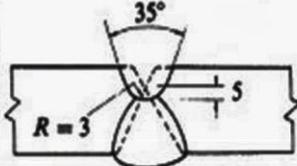
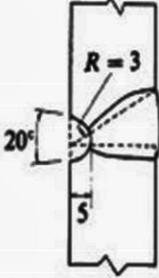
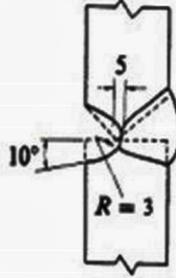
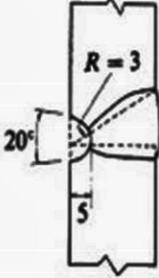
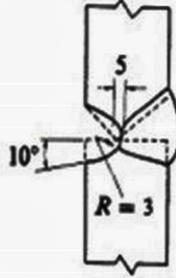
E 7016 menghasilkan las berkualitas dengan kekuatan tarik 70.000 PSI. Cocok untuk pengelasan datar dengan arus AC +, untuk baja high carbon steel sampai pada baja ringan. Biasanya digunakan untuk root pass pada pengelasan pipa.

E 7018 menghasilkan lasan berkualitas tinggi, pada logam yang membutuhkan kekuatan 70.000 PSI ke atas. Elektroda ini dapat digunakan pada baja medium carbon, high carbon, dan low-alloy steel. Sangat baik untuk filler pass dan capping pada pengelasan pipa. Salah satu poin penting yang perlu diperhatikan untuk E 7018 adalah prosedur penyimpanan dan pengeringan. Elektroda harus tetap berada di lingkungan dengan kelembaban rendah agar dapat meminimalkan kelembaban di lapisan elektroda, mengurangi tingkat hidrogen, dan menghindari hydrogen cracking. Penggunaan elektroda / kawat las ini

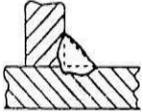
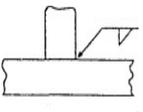
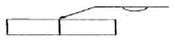
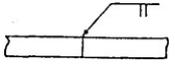
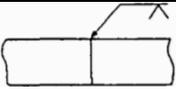
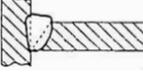
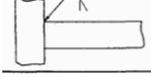
banyak dipakai di workshop fabrikasi, konstruksi baja, proyek piping migas, dan pengelasan bangunan kapal.

2.4 Desain Sambungan (kampuh)

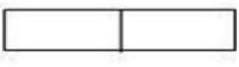
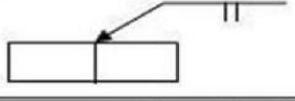
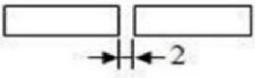
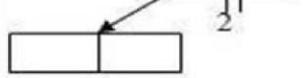
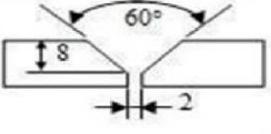
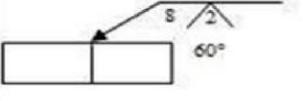
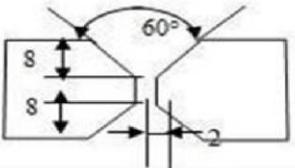
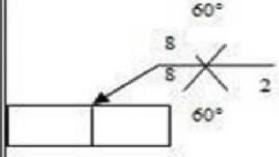
Dalam menentukan desain yang sesuai untuk pengelasan ada beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk mendapatkan hasil yang terbaik, yaitu spesifikasi kekuatan yang diinginkan, bentuk dan ukuran (geometri) serta jenis pengelasan yang sesuai untuk material / logam yang akan dilas. Penyambungan dalam pengelasan diperlukan untuk meneruskan beban atau tegangan diantara bagianbagian yang disambung. Karena meneruskan beban, maka bagian sambungan juga akan menerima beban. Oleh karena itu, bagian sambungan paling tidak memiliki kekuatan yang sama dengan bagian yang disambung. Seperti terlihat pada gambar 2.5. a, b, c

Proses pemotongan	Posisi	Bentuk yang dihasilkan (Ukuran panjang dalam mm)	
Dengan tangan Otomatik	Datar		
	Vertikal Atas kepala		
Dengan Tangan	Horizontal		
			

Gambar 2.5.a Bentuk Sambungan Dan Simbol Las

Bentuk Pengelasan	Gambar	Simbol
Sambungan sudut (<i>fillet</i>)		
Jalur las		
Sambungan tumpul (<i>Kampuh I</i>)		
Sambungan tumpul (<i>Kampuh V</i>)		
Sambungan T (<i>bevel</i>)		
Sambungan tumpul (<i>Kampuh U</i>)		

Gambar 2.5.b Bentuk Sambungan Dan Simbol Las

No.	Bentuk Sambungan	Gambar	Simbol
1.	Kampuh I tertutup		
2.	Kampuh I terbuka		
3.	Kampuh V		
4.	I Kampuh X		

Gambar 2.5.c. Bentuk Sambungan Dan Simbol Las

2.5 Performa Pengelasan

2.5.1 Kekuatan Statik

Kekuatan tarik yang dimaksudkan disini adalah sifat tarikan baja, yang merupakan sifat-sifat yang berhubungan dengan pengujian tarik. Dalam sambungan las sifat tarik sangat dipengaruhi oleh sifat dari logam induk, sifat daerah HAZ, sifat logam las dan sifat sifat dinamik dari sambungan berhubungan erat dengan geometri dan distribusi tegangan dalam sambungan. Dua batang uji tarik untuk sambungan las ditunjukkan dalam Gambar 2.5. yang satu dengan tarikan melintang garis las dan yang lain dengan arah tarikan sejajar garis las. Dalam pengujian batang uji tersebut dibebani dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit sampai batang uji patah. Kemudian sifat sifat tarikannya dapat dihitung dengan persamaan persamaan.

1. Tegangan tarik adalah besar gaya tarik dibagi dengan luas penampang suatu benda. Tegangan tarik termasuk gaya persatuan luas.

$$\text{Rumus : } \sigma = \frac{F}{A_0} \text{ (kg/mm}^2\text{)(2.1)}$$

Dimana : F = beban (kg)

A_0 = Luas mulai penampang batang uji (mm²)

2. Perubahan Plastic (plastic deformation) Yang dimaksud dengan perubahan plastik adalah apabila pada bahan diberikan beban, maka akan terjadi perubahan dan setelah beban dibebaskan, bahan tersebut tidak dapat kembali seperti semula.

a. Yield Stress (σ_s) kgf/mm^2

$$\text{Rumus : } \sigma_s = \frac{FS}{A_o} \text{ kgf/mm}^2 \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

F_s = Beban pada *Yield Stress* (kgf/mm^2)

A_o = Luas penampang bahan sebelum percobaan (mm^2)

$$A_o = \frac{1}{4} \times \pi \times d_o^2$$

b. Tensile Strength (kekuatan tarik) kgf/mm^2

$$\text{Rumus : } \sigma_B = \frac{F_{max}}{A_o} \text{ kgf/mm}^2 \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

F_{max} = Beban maksimum (kgf)

A_o = Luas penampang mula-mula (mm^2)

c. *Stress at Fracture* (kekuatan tarik pada saat bahan percobaan putus)

$$\text{Rumus : } \sigma_f = \frac{F_f}{A_o} \text{ kgf/mm}^2 \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

F_f = Load at Fracture (kgf)

A_o = Luas penampang mula-mula (mm^2)

3. Persen Elongasi (ϵ %)

$$\text{Rumus : } \epsilon = \frac{L_1 - L_o}{L_o} \times 100\%$$

Dimana :

L_0 = panjang mula dari batang uji (mm)

L_1 = panjang batang uji yang dibebani (mm)

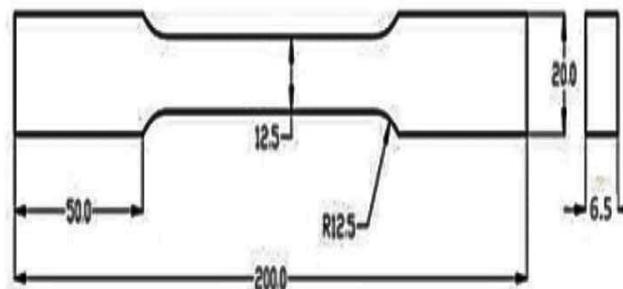
4. Penyusutan luas penampang (%)

$$\text{Rumus : } \delta = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

A_0 = Luas penampang mula-mula (mm^2)

A_1 = Luas penampang akhir (mm^2)

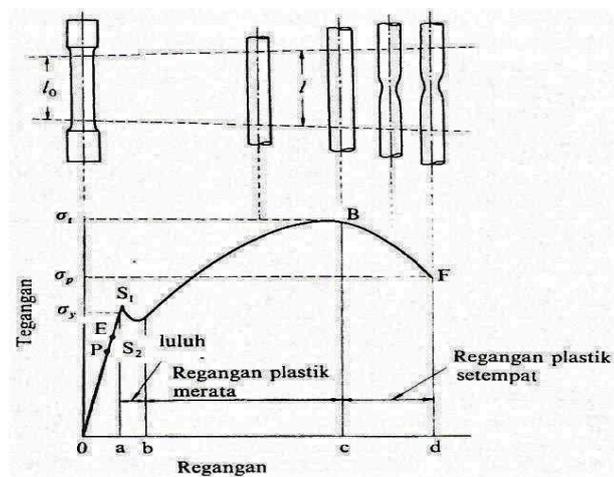


Gambar 2.6 Ukuran Batang Uji Tarik Menurut Laboratorium Material PTKI

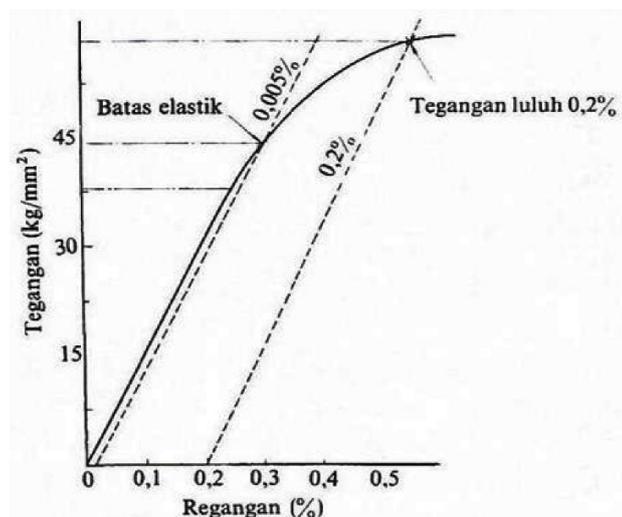
Medan

Hubungan antara tegangan dan regangan untuk batang uji bulat dapat dilihat dalam Gambar 2.6. Di dalam gambar, titik P menunjukkan batas di mana hukum Hooke masih berlaku dan disebut batas proporsi dan titik E menunjukkan batas di mana bila beban diturunkan ke nol lagi tidak terjadi perpanjangan tetap pada batang uji dan disebut batas elastis. Titik E sukar ditentukan dengan tepat karena itu biasanya ditentukan batas elastis dengan perpanjangan tetap sebesar

0,005% sampai 0,01%. Titik S_1 disebut titik luluh atas dan titik luluh bawah. Pada beberapa logam batas luluh ini tidak kelihatan dalam diagram tegangan – regangan dan dalam hal ini tegangan luluh nya ditentukan sebagai tegangan dengan regangan sebesar 0,2% seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.7. Tegangan yang tertinggi adalah kekuatan tarik dari logam (σ_t) dan tegangan yang terjadi pada waktu patah tersebut tegangan patah (σ_p).

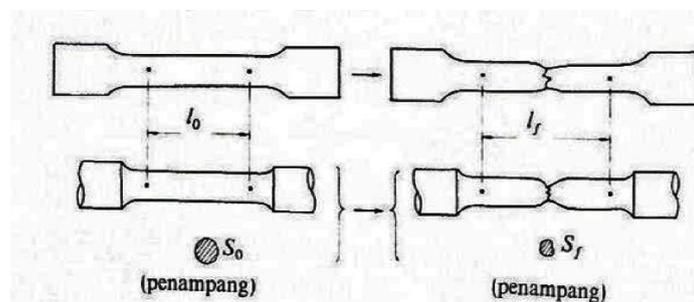


Gambar 2.7 Kurva Tegang – Regang Teknik.



Gambar 2.8 Batas Elastis Dan Tegangan Luluh 0,2%.

Keuletan logam ditentukan sebagai regangan tertinggi dalam logam yang dapat dihitung dengan persamaan dengan $L = L_f$ seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.8. Dalam hal batang uji bulat keuletan dapat juga dinilai dari reduksi penampang (RA), yang didefinisikan seperti dalam kesamaan . Reduksi penampang $RA = A_o - A_f \times 100(\%)$ di mana : A_o = luas penampang mula; A_f = luas penampang akhir .



Gambar 2.9 Patah Pada Batang Uji Tarik

2.5.2 Penetrant Test

Penetrant Test adalah jenis pengujian tidak merusak atau non destructive test (NDT) yang bertujuan memeriksa permukaan material terdapat cacat las atau tidak. Dalam pengujian ini didasarkan dari prinsip kapilaritas, yaitu masuk serta keluarnya cairan penetrant ke dalam diskontinuitas dan dari kontinuitas ke permukaan.

Prinsip Kerja Uji Penetrasi adalah Cairan penetrasi yang masuk ke dalam diskontinuitas kemudian akan keluar ke permukaan dengan bantuan developer atau cairan pengembang. Developer ini harus mempunyai warna yang kontras dengan warna liquid penetrant agar saat proses pengamatan hasil pengujian dapat dilakukan dengan mudah dan benar.



Gambar 2.10 Uji Penetran

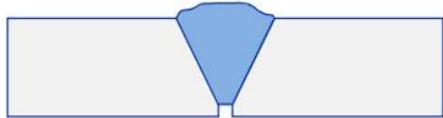
2.5.3 Cacat Las atau *Defect*

Cacat las atau *defect* merupakan kondisi dimana hasil pengelasan yang dilakukan kurang baik atau memiliki kekurangan. Cacat las sangat penting untuk diketahui dan dilakukan pengamatan agar kita tahu apakah hasil pengelasan sudah sesuai dengan standart yang ada sehingga terjamin keamanannya. Ada beberapa cacat las yang umum diketahui diantaranya:

a *Incomplete root penetration* atau *lack of root penetration*

Cacat las ini merupakan *defect* yang dimana penetrasi pada akar (*root*) yang tidak sempurna sehingga terlihat celah antara logam induk. Hal ini terjadi karena pengelasan yang dilakukan logam tidak tembus pada *root*.

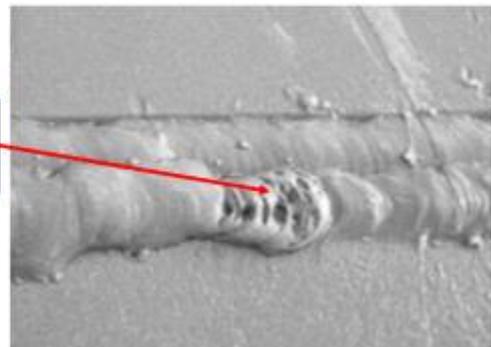
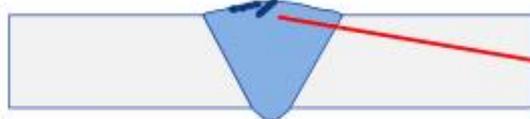
Penyebab dari cacat las ini adalah celah pada root yang terlalu kecil dan ampere pengelasan yang terlalu rendah.



Gambar 2.11 *Incomplete Root Penetration* atau *Lack Of Root Penetration*

b Gas pores atau *porosity*

Gas pores atau *porosity* ditandai dengan lubang-lubang yang berukuran kecil. Apabila berjumlah satu maka dinamakan gas pores atau *porosity* sedangkan apabila berjumlah lebih dari satu maka dinamakan *cluster porosity*. Penyebab dari cacat las ini adalah arus pengelasan yang terlalu rendah, elektroda yang lembab, hilangnya gas pelindung elektroda atau *flux* elektroda yang rusak.

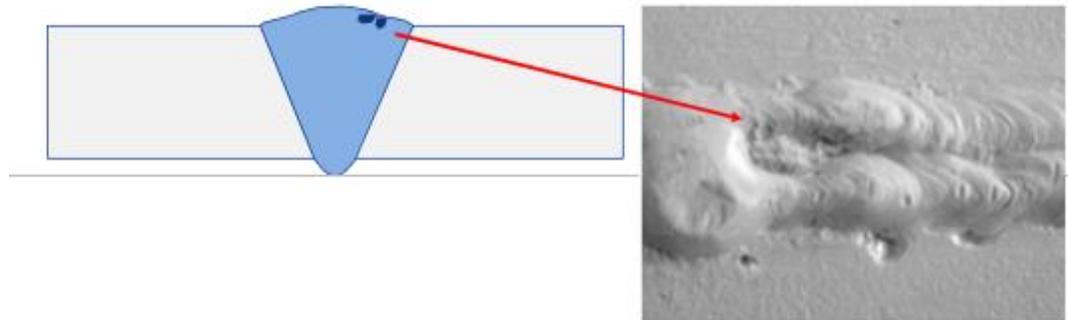


Gambar 2.12 Gas Pores atau *Porosity*

c *Slag inclusion*

Sama halnya dengan *porosity*, jenis cacat las ini juga memiliki bentuk menyerupai lubang-lubang. Hanya saja perbedaannya adalah cacat las ini berada pada permukaan pengelasan dan akan tampak berwarna hitam akibat kontaminasi yang terperangkap pada *weld face*. Penyebab dari cacat las ini diantaranya adalah

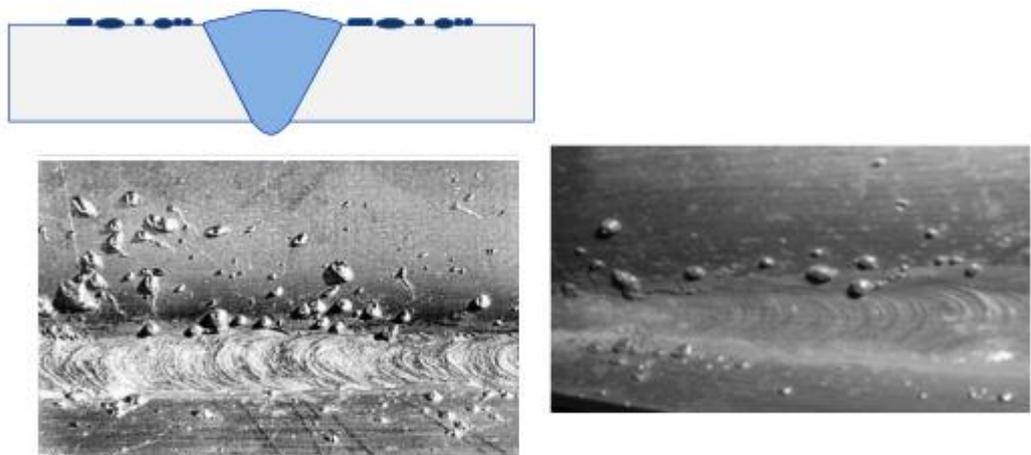
sudut pengelasan yang terlalu tegak terhadap logam induk, busur las terlalu jauh, ampere yang digunakan terlalu rendah.



Gambar 2.13 *Slag Inclusion*

d *Spatter*

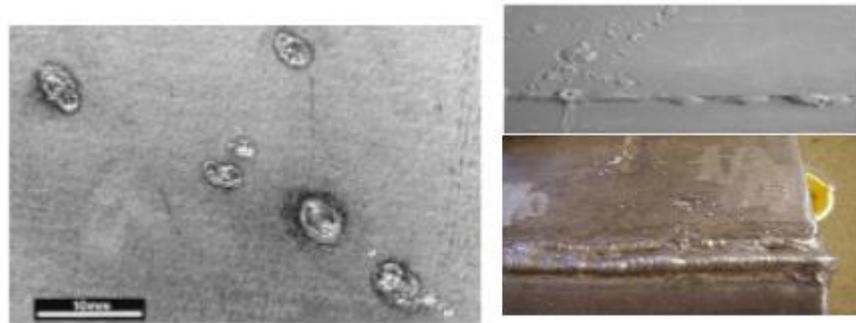
Spatter adalah cacat las dengan ciri-ciri benjolan atau bintik-bintik kecil yang jumlahnya banyak berasal dari tetesan bahan logam ataupun non logam selama pengelasan. Penyebab dari timbulnya *defect* ini adalah potongan-potongan kecil dari logam las yang terbang ke logam induk, hal ini dapat terjadi apabila arus pada pengelasan terlalu tinggi (berlebih).



Gambar 2.14 *Spatter*

e *Arc strikes*

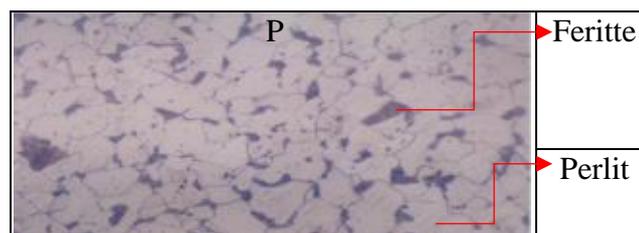
Defect jenis ini terlihat seperti lelehan logam yang memanjang ataupun berbentuk lingkaran dengan jumlah lebih dari satu. Penyebab dari *defect* ini adalah elektroda yang menyentuh logam induk, pegangan elektro dengan isolasi yang buruk, dan grounding pada alat pengelasan yang buruk.



Gambar 2.15 *Arc Strikes*

2.5.4 Struktur Mikro

Logam memiliki pola struktur yang beragam, struktur ini sendiri membentuk sifat daripada logam tersebut. Sering kali struktur dikaitkan dengan tingkat kekerasan dan sifat-sifat mekanis daripada spesimen pengujian. Berdasarkan hasil uji fisis struktur logam sendiri dapat dikaitkan dengan sifat mekanis hasil pengujian.



Gambar 2.16 Struktur Mikro Baja AISI 1045

Baja AISI 1045 memiliki struktur mikro yang didominasi oleh perlit dan ferit. Ferit bersifat sangat lunak, ulet dan memiliki konduktivitas yang tinggi. Perlit merupakan campuran dari sementit dan ferit, dimana sementit adalah struktur baja besi karbida yang terbentuk dari senyawa besi (ferum) dan karbon.

2.6 Klasifikasi Baja Karbon

2.6.1 Struktur Baja

Baja adalah seluruh macam besi yang dengan tidak dikerjakan terlebih dahulu lagi, sudah dapat di tempa. Baja adalah bahan yang serba kesamaannya (homogenitasnya) tinggi, terdiri terutama dari Fe dalam bentuk kristal dan C. Pembuatannya dilakukan sebagai pembersihan dalam temperature yang tinggi dari besi mentah yang di dapat dari proses dapur tinggi.

Sifat-sifat utama baja :

- a. Keteguhan (*solidity*) artinya mempunyai ketahanan terhadap tarikan, tekanan atau lentur.
- b. Elastisitas (*elasticity*) artinya kemampuan atau kesanggupan untuk dalam batas- batas pembebanan tertentu, sesudahnya pembebanan ditiadakan kembali kepeda bentuk semula.
- c. Kekenyalan/ keliatan (*tenacity*) artinya kemampuan atau kesanggupan untuk dapat menerima perubahan bentuk yang besar tanpa menderita kerugian-kerugian berupa cacat atau kerusakan yang terlihat dari luar dan dalam untuk jangka waktu pendek.

- d. Kemungkinan ditempa (*malleability*) sifat dalam keadaan merah pijar menjadi lembek dan plastis sehingga dapat di rubah bentuknya.
- e. Kemungkinan di las (*weldability*) artinya sifat dalam keadaan panas dapat digabungkan satu sama lain dengan memakai atau tidak memakai bahan tambahan, tanpa merugikan sifat-sifat keteguhannya.
- f. Kekerasan (*hardness*) kekuatan melawan terhadap masuknya benda lain.

2.6.2 Klasifikasi Baja

Baja secara umum dapat dikelompokkan atas 2 jenis yaitu : Baja karbon (*Carbon steel*) dan Baja paduan (*Alloy steel*).

1. Baja Karbon (*carbon steel*) Baja karbon dapat terdiri atas :
 - a. Baja karbon rendah (*low carbon steel*) Machine, machinery dan mild steel (0,05 % – 0,30% C). Sifatnya mudah ditempa dan mudah di mesin. Penggunaannya: *automobile bodies, buildings, pipes, chains, rivets, screws, nails, gears, shafts, bolts, forgings, bridges, buildings.*
 - b. Baja karbon menengah (*medium carbon steel*) (0,30 % - 0,60 % C). Kekuatannya lebih tinggi daripada baja karbon rendah, sifatnya sulit untuk dilas, dipotong. Penggunaannya: *connecting rods, crank pins, axles, car axles, crankshafts, rails, boilers, auger bits, screwdrivers, hammers dan sledges.*

- c. Baja karbon tinggi (*high carbon steel*) Sifatnya sulit dibengkokkan, dilas dan dipotong. Kandungan 0,60 % – 1,50 % C.

2. Baja Paduan (*Alloy steel*)

Tujuan dilakukan penambahan unsur yaitu: Untuk menaikkan sifat mekanik baja (kekerasan, keliatan, kekuatan tarik dan sebagainya), untuk menaikkan sifat mekanik pada temperatur rendah, untuk meningkatkan daya tahan terhadap reaksi kimia (oksidasi dan reduksi).

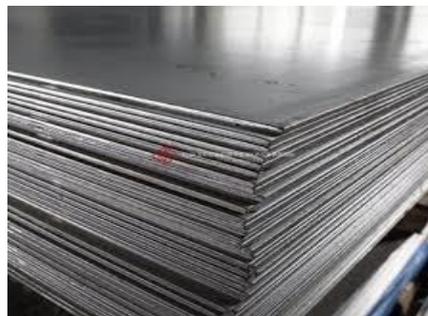
Baja paduan yang diklasifikasikan menurut kadar karbonnya dibagi menjadi:

- *Low alloy steel*, jika elemen paduannya $\leq 2,5$ % .
- *Medium alloy steel*, jika elemen paduannya 2,5 – 10 %.
- *High alloy steel*, jika elemen paduannya > 10 %.

Baja paduan juga dibagi menjadi dua golongan yaitu baja campuran khusus (*special alloy steel*) & *high speed steel*.

Menurut bentuknya baja dapat digolongkan menjadi :

- a. Baja pelat



Gambar 2.17 Baja Pelat

Baja pelat atau baja struktural merupakan jenis baja yang berbentuk lembaran yang biasanya dapat dipotong dan dilas untuk mengembangkan produk yang lebih rumit. Plat baja tersebut dapat dipotong dan dilas sesuai dengan kebutuhan, dan menawarkan kekuatan dan daya tahan yang dibutuhkan dalam berbagai aplikasi.

b. Baja strip

Baja strip merupakan salahsatu jenis baja yang banyak digunakan pada konstruksi, baik untuk membuat rangka atap,rangka plafon, maupun rangka partisi. Baja ini memiliki bentuk yang lebar dan pipih.



Gambar 2.18 Baja Strip

c. Baja *sheet*

Baja *sheet* atau sering dikenal dengan *sheet pile* baja merupakan sebuah desain struktur baja yang dibangun untuk menahan tekanan lateral (horizontal) tanah. Tekanan tanah lateral dibelakang dinding penahan tanah sendiri bergantung pada sudut geser dalam tanah dan gaya tarik menarik antar partikel tanah (kohesi).



Gambar 2.19 Baja Sheet

d. Baja pipa

Baja pipa adalah baja yang memiliki bentuk silinder memanjang. Bentuk ini memudahkan kita untuk melakukan pembentukan dengan cara pembubutan. Baja pipa sendiri biasanya digunakan dalam industri yang luas, baik itu untuk pembuatan konstruksi bangunan juga industri manufaktur dan pabrik. Baja pipa sendiri ada yang pejal dan ada yang berongga tergantung dari tujuan penggunaannya.



Gambar 2.20 Baja Pipa

e. Baja batang profil

Jenis baja ini adalah jenis baja yang memiliki bentuk batangan balok. Bentuk ini sendiri bertujuan untuk memberikan kekuatan dan ketahan pada suatu struktur bangunan. Baja ini sudah sangat umum digunakan pada

pembuatan konstruksi bangunan yang memerlukan kekokohan dan kekuatan topang yang besar.



Gambar 2.21 Baja Profil

Menurut bentuknya, baja yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja pipa bulat pejal agar lebih mudah mengamati pola mikroskopis spesimen yang akan dianalisa.

2.6.3 Baja AISI 1045

American Iron and Steel Institute (AISI) merupakan asosiasi perdagangan produsen baja Amerika Utara. Asosiasi ini merupakan salahsatu organisasi perdagangan tertua di Amerika Serikat yang berdiri sejak 1885. AISI menerapkan sistem penomoran yang relatif mudah untuk dipahami. Dua digit pertama menggambarkan tipe material yaitu element penyusun utama pada digit pertama dan element penyusun kedua untuk digit kedua. Dua digit terakhir adalah kandungan elemen karbon yang dinyatakan dalam seperseratus persen. Contohnya adalah baja AISI 1045: artinya adalah 1 untuk baja karbon (*carbon*

steel); 0 untuk menunjukkan *plain* (tidak ditambahkan sulfur atau fosfor). Dua digit terakhir yaitu 45 merupakan kandungan karbon pada baja sebesar 0.45 %.

Baja AISI 1045 adalah baja karbon yang memiliki sifat yang memiliki ketahanan terhadap aus dan kekerasan sehingga baja ini umumnya dipakai sebagai komponen otomotif misalnya untuk komponen roda gigi pada kendaraan bermotor yang sering mengalami gesekan dan tekanan yang cukup tinggi.

Baja ini juga digunakan dalam banyak untuk komponen manufaktur. Baut dan roda gigi sering dibuat dengan menggunakan baja AISI 1045 karena kekuatan dan ketangguhannya yang tinggi. Lebih jauh lagi, baja AISI 1045 juga digunakan di bidang otomotif, alat berat, dan industri minyak dan gas.

Analisis Komposisi Kimia

AISI 1045 termasuk dalam golongan baja karbon menengah, produk baja dengan kandungan karbon menengah adalah berkisar dari 0,30 – 0,60%, cukup keras untuk pembentukan, permesinan, pengelasan yang mudah. Perlakuan panas memiliki efek baik pada ketahanan benda dan juga tingkat kekerasan pada bahan baja AISI 1045, akan tetapi akan menyebabkan sifat baja menjadi lebih rapuh yang akan mempengaruhi elastisitasnya. Baja AISI 1045 ini sendiri mengandung beberapa elemen lain termasuk elemen paduan: mangan, belerang, fosfor, silikon, dan nikel. Besi dan elemen-elemen ini bersama-sama membentuk sifat mekanik unik AISI 1045, dengan sedikit kandungan nikel, baja ini menunjukkan ketahanan korosi yang cukup baik dibanding baja karbon yang lain. Jika Anda membutuhkan

properti tahan korosi yang lebih baik lagi, melukisnya dengan lapisan pelapisan seperti kromium adalah pilihan yang baik.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja AISI 1045

Komposisi Kimia Baja AISI 1045	
Elemen	Kandungan
Karbon, c	0.45 %
Tembaga, Cu	0.01 %
Besi, Fe	98.0 %
Mangan, Mn	0.76 %
Silicon, Si	0.20 %
Belerang, S	0.021 %
Nikel, Ni	0.02 %

2.7 Analisis Properti Fisik

2.7.1 Korosi

Korosi adalah kerusakan atau kehancuran material akibat adanya reaksi kimia di sekitar lingkungannya. Secara umum, korosi dibedakan menjadi korosi basah dan korosi kering. Korosi disebabkan adanya faktor kimia fisika, metalurgi, elektrokimia dan termodinamika. Dalam bahasa sehari-hari, korosi disebut perkaratan. Contoh korosi yang paling lazim adalah perkaratan besi.

Korosi pada besi menimbulkan banyak kerugian, karena barang-barang atau bangunan yang menggunakan besi menjadi tidak awet. Contohnya pada platform jembatan timbang yang telah mengalami korosi, jika itu terjadi maka keakuratan ukuran berat pada jembatan timbang menjadi tidak presisi dan juga dapat menyebabkan kecelakaan kerja pada pengemudi truk yang melintasi jembatan timbang tersebut jika plat telah mengalami kelapukan (keropos) akibat korosi.

Teknik pencegahan korosi pada Besi

Korosi pada besi menimbulkan banyak kerugian, karena barang-barang atau bangunan yang menggunakan besi menjadi tidak awet. Korosi pada besi dapat dicegah dengan membuat besi menjadi baja tahan karat (*stainless steel*), namun proses ini membutuhkan biaya yang mahal, sehingga tidak sesuai dengan kebanyakan penggunaan besi.

Cara pencegahan korosi pada besi dapat dilakukan sebagai berikut:

- a. Pengecatan
- b. Dibalut plastic
- c. Pelapisan dengan krom (*Cromium plating*)
- d. Pelapisan dengan timah (*Tin plating*)
- e. Pelapisan dengan seng (*Galvanisation*)