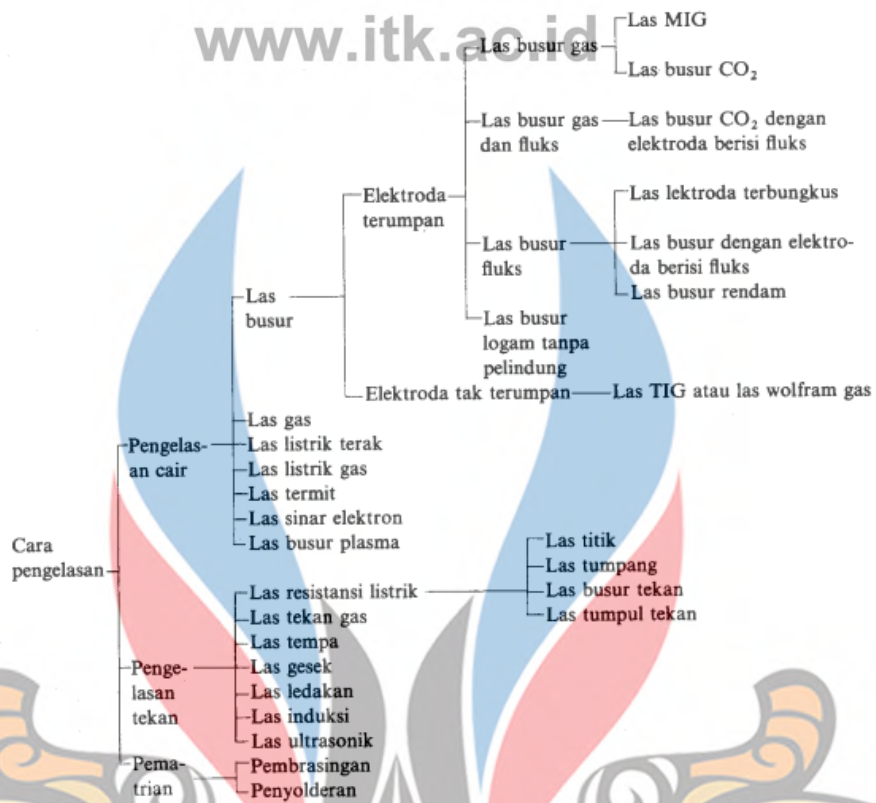


TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab 2 tinjauan pustaka ini akan dijelaskan mengenai keterkaitan beberapa referensi terhadap penelitian “Analisis Variasi Kuat Arus *Root Pass* dan *Hot Pass* SMAW Pada Pengelasan *Cover Pass* FCAW Terhadap Hasil Uji Tarik dan Struktur Mikro Baja JIS G3101 - SS400 Dengan *Single V-Groove*”. Bab 2 ini meliputi beberapa aspek bahasan, diantaranya: Pengelasan, Pengelasan SMAW, Pengelasan FCAW, Parameter Pengelasan, Baja Karbon, Uji Tarik dan Struktur Mikro.

2.1 Pengelasan

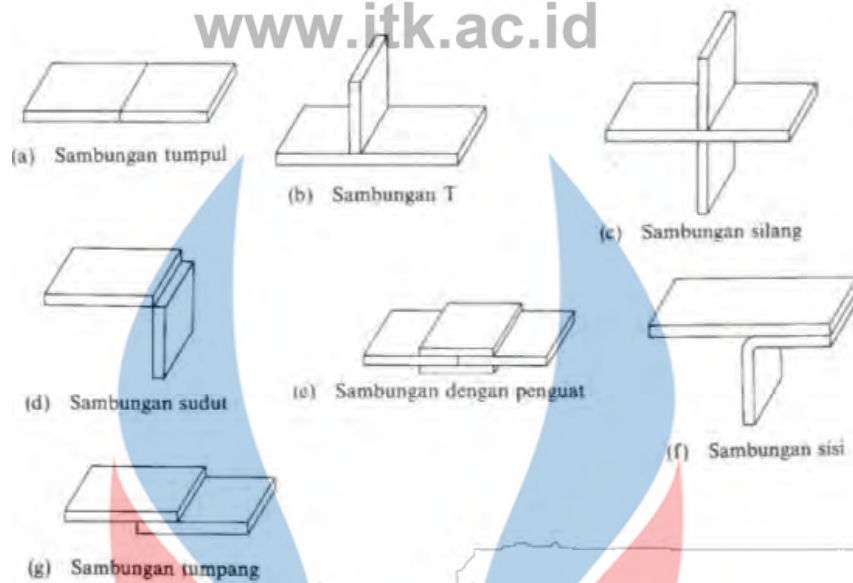
Menurut Callister (2007), pengelasan dapat dianggap sebagai teknik fabrikasi. Dalam pengelasan, dua atau lebih bagian logam digabungkan untuk membentuk satu bagian. Baik logam serupa maupun logam berbeda. Ikatan penyambungannya bersifat metalurgi (melibatkan beberapa difusi) dan bukan mekanis, seperti pada sambungan mur dan baut. Selama pengelasan busur dan gas, benda kerja yang akan disambung dan bahan pengisi yaitu elektroda dipanaskan hingga suhu yang cukup tinggi untuk menyebabkan keduanya meleleh. Setelah pemadatan, bahan pengisi membentuk sambungan fusi antara benda kerja. Jadi, ada daerah yang berdekatan dengan lasan yang mungkin telah mengalami perubahan struktur mikro dan properti, wilayah ini disebut *Heat Affected Zone* kadang-kadang disingkat menjadi HAZ (Callister, 2007).



Gambar 2. 1 Klasifikasi Cara Pengelasan (WiryoSumarto, 2000)

Terdapat macam-macam bentuk sambungan yang digunakan dalam pengelasan. Secara umum terdapat 2 macam sambungan las yaitu sambungan tumpul (*butt*) dan sambungan sudut (*Fillet*). Berikut merupakan macam-macam sambungan las.

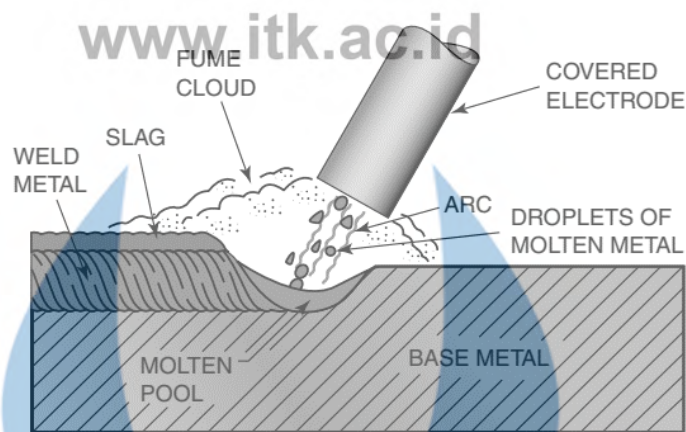
1. Sambungan Tumpul
2. Sambungan T
3. Sambungan Silang
4. Sambungan Sudut
5. Sambungan Dengan Penguat
6. Sambungan Sisi
7. Sambungan Tumpang



Gambar 2. 2 Jenis-Jenis Sambungan dasar

2.2 Pengelasan SMAW

Menurut ASM Handbook (1993), biasa disebut dengan *Stick welding*, atau pengelasan elektroda tertutup, merupakan proses pengelasan manual di mana busur dihasilkan oleh elektroda yang tertutup fluks dengan benda kerja. Proses ini menggunakan dekomposisi penutup fluks untuk menghasilkan gas pelindung dan menyediakan elemen fluks untuk melindungi tetapan logam las pada kolam las. Sedangkan menurut Kalpakjian (2009), Logam leleh terdiri dari campuran logam dasar (benda kerja), logam elektroda, dan zat-zat dari lapisan pada elektroda campuran ini membentuk lasan saat mengeras. Lapisan elektroda mendeoksidasi area lasan dan menyediakan gas pelindung untuk melindunginya dari oksigen di lingkungan. Bagian terbuka di ujung elektroda dijepit ke salah satu terminal catu daya, sedangkan terminal lainnya dihubungkan ke benda kerja yang sedang dilas. Mekanisme dari proses SMAW ditunjukkan pada Gambar 2.3 Busur dimulai dengan menyentuh atau "menggores" elektroda pada logam dasar. Busur yang dihasilkan melelehkan logam dasar dan ujung elektroda las. Logam elektroda leleh ditransfer melintasi busur ke kolam logam dasar, di mana ia menjadi deposit las yang ditutupi oleh terak atau fluks pelindung dari penutup elektroda.



Gambar 2. 3 Mekanisme Pengelasan SMAW (Jeffus, 2016)

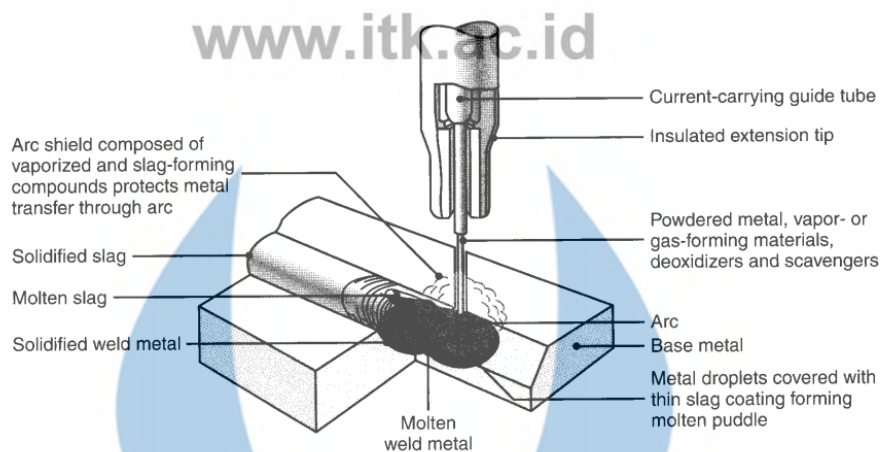
Proses SMAW memiliki keuntungan karena relatif sederhana, serbaguna, dan membutuhkan variasi elektroda yang lebih sedikit. Peralatan terdiri dari catu daya, kabel, danudukan elektroda. Proses SMAW biasanya digunakan dalam pekerjaan konstruksi umum, pembuatan kapal, jaringan pipa, dan pemeliharaan. Ini sangat berguna untuk pekerjaan di daerah sulit terjangkau di mana generator bertenaga bahan bakar portabel dapat digunakan sebagai catu daya. SMAW cocok untuk ketebalan benda kerja 3 hingga 19 mm, namun dapat dilakukan untuk ketebalan yang lebih dengan menggunakan teknik lintasan ganda. Sebelum menambahkan lintasan maka terak harus dihilangkan seluruhnya, misalnya dengan menggunakan sikat kawat atau palu terak. Namun kelemahannya hal tersebut akan mengakibatkan biaya tenaga kerja dan biaya material menjadi tinggi. Jika tidak dibuang seluruhnya, terak yang dipadatkan dapat menyebabkan korosi pada area pengelasan dan menyebabkan kegagalan pengelasan. Selain itu juga menghambat peleburan lapisan pengelasan sehingga dapat mempengaruhi kekuatan hasil lasan. Sebelum melakukan pengelasan tambahan (Kalpakjian, 2009).

Pada pengelasan SMAW, elektroda berlapis fluks dapat berfungsi sebagai pelindung yang mana elektroda tersebut akan menghasilkan gas pelindung untuk menjaga lelehan logam dari udara. Elektroda berlapis fluks juga dapat berperan sebagai deoksidasi. *Deoxidizers* dan *fluxing agents* akan mendeoksidasi dan membersihkan logam las. Terak padat yang terbentuk akan melindungi logam las yang telah padat tetapi masih panas sehingga rentan akan oksidasi. Elektroda berlapis fluks juga berfungsi sebagai penstabil arus listrik. Elektroda akan

membantu mempertahankan kestabilan busur listrik. Busur listrik merupakan gas ionik yang menghantarkan arus listrik. Pada elektroda berlapis fluks, senyawa yang mudah terurai menjadi ion dalam busur listrik seperti potasium oksalat dan litium karbonat akan meningkatkan konduktivitas listrik dan busur mengalirkan arus listrik menjadi lebih lancar. Selain itu, elektroda berlapis busur juga berfungsi sebagai logam tambahan. Logam tambahan ini dapat membantu mengontrol komposisi logam las dan membantu meningkatkan laju pengendapan (Kou, 2003).

2.3 Pengelasan FCAW

Menurut ASM International (1993), pengelasan *Flux Cored Arc Welding* atau FCAW merupakan pengelasan yang menggunakan panas dari busur listrik yang dihasilkan antara *Filler Metal* yang kontinyu dari benda kerja. Menurut Kalpakjian, 2013 Proses FCAW menggabungkan kelebihan SMAW dengan fitur pengumpanan elektroda kontinyu dan otomatis dari GMAW. Proses ini ekonomis dan serbaguna, sehingga dapat digunakan untuk mengelas berbagai sambungan, terutama pada baja karbon, baja tahan karat, dan baja paduan nikel. Tingkat deposisi logam las yang lebih tinggi pada proses FCAW (dibandingkan dengan GMAW) membuat pengelasan metode ini mampu diaplikasikan pada material yang memiliki ketebalan tinggi. Pengelasan FCAW hampir sama dengan GMAW yang membedakan adalah pada FCAW menggunakan electrode tubular yang didalamnya terdapat flux yang berfungsi sebagai gas pelindung sedangkan pada GMAW menggunakan solid wire. Flux di dalam electrode berfungsi memberikan perlindungan pada *molten weld pool* terhadap kontaminasi udara luar, memperbaiki kekuatan karena reaksi kimia dan campuran, memperbaiki *weld shape*. Ilustrasi proses pengelasan *Flux Cored Arc Welding* (FCAW) dapat dilihat seperti pada Gambar 2.2 (Wiryosumarto, 2000).

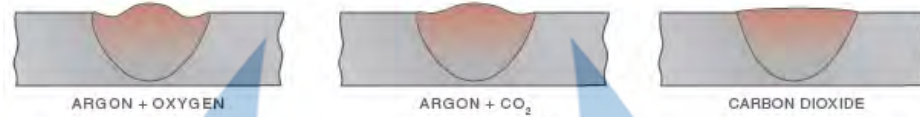


Gambar 2. 4 Ilustrasi Proses pengelasan Flux Core-Arc Welding

(Kalpakjian, 2009)

Pada pengelasan FCAW, penambahan gas pelindung berfungsi untuk memberikan perlindungan ganda. Gas pelindung akan mempengaruhi busur, lebar manik las, penumpukan, penetrasi, percikan, dan sifat mekanik. Ada beberapa gas pelindung yang digunakan dalam pengelasan FCAW di antaranya adalah argon dan CO₂. Gas argon mudah terionisasi oleh busur. Hasil ionisasi sangat terkonsentrasi dalam jalur antara elektroda ke *molten pool*. Konsentrasi ini menghasilkan ukuran tetesan logam yang lebih kecil atau di dalam metal transfer dikenal sebagai *axial spray mode*. Hal ini menjadikan hasil busur yang halus dan stabil serta sedikit percikan. Gas CO₂ yang ditambahkan dalam argon akan meningkatkan penetrasi. Peningkatan penetrasi akan berlanjut hingga gas pelindung yang digunakan berupa CO₂ 100%. Namun seiring meningkatnya persentase CO₂, stabilitas busur akan semakin menurun. Busur yang kurang stabil akan menyebabkan peningkatan percikan. Gas CO₂ dengan mudah dipecah dalam busur. Kemudian membentuk karbon monoksida dan oksigen bebas. Kedua gas tersebut reaktif terhadap beberapa paduan di elektroda. Saat paduan ini bergerak dari elektroda ke *molten pool*, beberapa di antaranya membentuk oksida. Silikon dan mangan adalah paduan utama yang teroksidasi dan hilang dari logam las. Sebagian besar elektroda pengelasan FCAW secara khusus dirancang untuk digunakan dengan atau tanpa gas pelindung dan untuk campuran persentase atau gas pelindung tertentu. Misalnya, elektroda yang dirancang khusus untuk digunakan dengan 100% CO₂ akan

memiliki tingkat silikon dan mangan yang lebih tinggi untuk mengkompensasi hilangnya oksidasi (Jeffus, 2016).



Gambar 2. 5 Pengaruh Gas Pelindung Terhadap Hasil Lasan (Jeffus, 2016)

2.4 Kampuh Las

Salah satu parameter untuk menghasilkan kualitas yang baik adalah pemilihan kampuh las. Kampuh las berguna untuk menampung logam pengisi agar dapat lebih banyak yang merekat pada benda kerja, sehingga kekuatan las yang dihasilkan semakin optimal. Dalam pemilihan kampuh terdapat beberapa fakdeoksidiasitor pemilihan seperti:

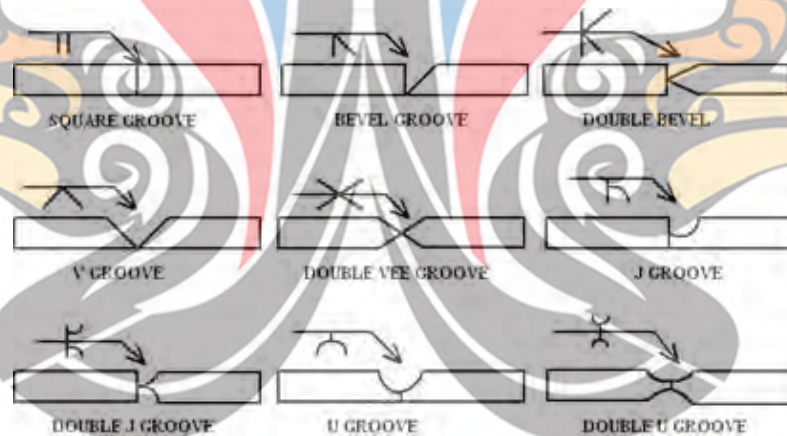
1. Ketebalan benda kerja
2. Jenis benda kerja
3. Kekuatan yang diinginkan
4. Posisi pengelasan

Kampuh V digunakan pada logam/plat dengan ketebalan antara 6-16 mm, di mana sambungan kampuh ini terdiri dari sambungan kampuh V terbuka dan tertutup. Kampuh V terbuka untuk penyambungan logam ketebalan 6-16 mm dengan sudut yang diberikan antara 30° - 60° dengan celah kampuh s Pada waktu mengelas kampuh V terbuka diberi plat penahan cairan sepanjang kampuh yang gunanya untuk mencegah cairan bertumpuk di sebelah bawah kampuh dan plat penahan tersebut dapat dibuka bila diperlukan. Sambungan kampuh V tertutup digunakan untuk menyambung logam/plat yang tebalnya 8-16 mm dengan sudut kampuh dan tinggi dari dasar sampai dasar sudut kampuh dibuat sama dengan sambungan kampuh V terbuka. Sambungan Kampuh U lebih kuat menerima beban statis dan diperlukan untuk sambungan berkualitas tinggi. Dipakai pada ketebalan 8 mm-25 mm. Sekitar 2 mm serta tinggi dasar sampai sudut kampuh 1-2 mm (Wiryosumarto, 2000).

Salah satu parameter untuk menghasilkan kualitas yang baik adalah pemilihan kampuh las. Kampuh las berguna untuk menampung logam pengisi agar

dapat lebih banyak yang melekat pada benda kerja, sehingga kekuatan las yang dihasilkan semakin optimal. Umumnya hanya terdapat berupa sambungan tumpul, namun ada juga pada beberapa bentuk sambungan sudut tertentu, yang digunakan untuk memenuhi persyaratan kekuatan suatu sambungan sudut. Bentuk kampuh las yang banyak dipergunakan pada pekerjaan las dan fabrikasi logam yaitu sebagai berikut:

1. Kampuh I (*Open square butt*)
2. Kampuh V (*Single Vee butt*)
3. Kampuh X (*Double Vee butt*)
4. 4.Kampuh U (*Single U butt*)
5. Kampuh K/Sambungan T dengan penguatan pada kedua sisi (*Reinforcemen on T-butt weld*)
6. Kampuh J/Sambungan T dengan penguatan satu sisi (*Single J-butt weld*).



Gambar 2. 6 Jenis-Jenis Kampuh Las (Gunawan, 2017)

2.5 Parameter Pengelasan

Terdapat beberapa parameter yang perlu diperhatikan dalam proses pengelasan diantaranya adalah sebagai berikut.

2.5.1 Arus Pengelasan

Arus pengelasan sangat mempengaruhi hasil lasan dalam pengelasan busur listrik, besar kecilnya arus pengelasan yang diberikan dapat menentukan bentuk dan

ukuran hasil lasan. Adapun pengaruh arus pengelasan dapat dituliskan sebagai berikut:

1. Penggunaan arus yang tinggi dalam pengelasan cenderung menghasilkan penetrasi yang lebih dalam dibandingkan dengan arus yang lebih rendah.
2. Peningkatan arus juga menyebabkan kecepatan masukan panas ke daerah lasan meningkat dan memperluas distribusi masukan panas.
3. Semakin tinggi arus yang diberikan maka masukan panas ke daerah lasan juga semakin meningkat sehingga hal tersebut dapat memperlambat laju pendinginan yang akan berdampak pada pembentukan struktur dan sifat mekanik hasil lasan (Kou, 2003).

Adapun hubungan arus pengelasan SMAW dengan elektroda yang digunakan yaitu berdasarkan AWS A5.1/5.1M dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 1 Hubungan antara diameter elektroda E7016 dan arus pengelasan SMAW*)

| Diameter (mm) | Arus (Ampere) |
|---------------|---------------|
| 2,4 dan 2,5 | 65 – 110 |
| 3,2 | 100 – 150 |
| 4,0 | 140 – 200 |
| 5,0 | 180 – 255 |
| 5,6 | 240 – 320 |
| 6,0 | 300 – 390 |
| 8,0 | 375 – 475 |

*)AWS A5.1/A5.1M, 2004

Pengelasan FCAW yang cenderung membutuhkan arus yang lebih besar. Tujuan hal tersebut untuk meningkatkan kecepatan pemakanan. Jika kecepatan pemakanan diturunkan, maka arus pengelasan yang dibutuhkan juga diturunkan. Selain itu, semakin besar elektroda juga akan membutuhkan lebih banyak arus untuk melelehkan ujung kawat elektroda untuk menjaga tegangan agar konstan. Dapat dilihat hubungan arus pengelasan FCAW dengan elektroda yang digunakan yaitu berdasarkan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 2 Hubungan antara diameter elektroda E70T-1 dan arus pengelasan FCAW*)

| Diameter (mm) | Arus (Ampere) |
|---------------|---------------|
| 0,9 | 130 – 150 |
| 1,2 | 150 – 210 |
| 1,4 | 150 – 300 |
| 1,6 | 200 – 400 |

*)Jeffus, 2016

2.5.2 Elektroda

Pengelasan dengan menggunakan las busur listrik memerlukan kawat las (elektroda) yang terdiri dari satu inti terbuat dari logam yang dilapisi lapisan dari campuran kimia. Fungsi dari elektroda sebagai pembangkit dan sebagai bahan tambah. Elektroda terdiri dari dua bagian yaitu bagian yang berselaput (fluks) dan tidak berselaput yang merupakan pangkal untuk menjepitkan tang las. Fungsi dari fluks adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara, menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur. Pengelasan dengan menggunakan busur panas dibedakan menjadi 2 bagian menurut elektrodanya yaitu dapat dilihat pada penjelasan berikut.

1. Elektroda *Non-Consumable*

Dalam proses pengelasan elektroda *non-consumable*, elektroda yang digunakan biasanya adalah elektroda tungsten. Karena melibatkan suhu tinggi pada proses pengelasan, diperlukan gas pelindung yang disuplai dari luar untuk mencegah terjadi oksidasi pada daerah las. Biasanya pengelasan ini menggunakan arus searah dan polaritas yang digunakan disesuaikan dengan kebutuhan pengelasan. Pemilihan level arus tergantung pada faktor-faktor seperti jenis elektroda, logam yang akan dilas, serta kedalaman dan lebar zona pengelasan. Beberapa contoh dari jenis pengelasan ini yaitu *Gas Tungsten-Arc Welding*, *Plasma-Arc Welding* dan *Atomic-Hydrogen Welding*.

2. Elektroda *Consumable*

Pada Pengelasan ini elektroda las yang digunakan berfungsi sebagai bahan tambah. Terdapat tiga jenis elektroda *consumable* yang biasa digunakan yaitu elektroda batang, elektroda gulungan kawat dan elektroda gulungan dengan inti fluks ditengahnya. Elektroda batangan digunakan pada las listrik *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). Elektroda gulungan kawat digunakan pada las *Metal Inert Gas* (MIG) dan *Metal Active Gas* (MAG). Elektroda gulungan dengan inti fluks digunakan pada las *Flux Core Arc Welding* (FCAW) dan *Submerged Arc Welding* (SAW) (Kalpakjian, 2020).

Adapun elektroda yang digunakan pada penelitian ini yaitu dengan kode E7016, artinya yaitu (Bintoro, 2000):

- E : Elektroda pada pengelasan busur listrik
- 70 : Besar nilai tegangan tarik maksimum dari hasil pengelasan yaitu sebesar 70.000 psi atau sama dengan 492 MPa
- 1 : Posisi pengelasan, angka 1 menunjukkan proses dapat dilakukan dalam semua posisi pengelasan
- 6 : Elektroda dengan penembusan dangkal dan menengah, dan menunjukkan jenis hidrogen rendah

Tabel 2. 3 Komposisi Elektroda E7016 *)

| Komposisi | S | C | Ni | Si | Cr | V | Mn | Mo | P |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Persentase Berat (%) | 0.35 | 0.15 | 0.30 | 0.75 | 0.20 | 0.08 | 1.60 | 0.30 | 0.35 |

*)AWS A5.1/5.1M, 2004

Bahan fluks yang digunakan untuk jenis E7016 adalah serbuk besi dan hidrogen rendah. Terkadang jenis ini disebut jenis kapur. Jenis ini menghasilkan sambungan dengan kadar hidrogen rendah sehingga kepekaan sambungan terhadap retak sangat rendah, sifat ketangguhannya cukup baik. Kelemahannya adalah busurnya yang kurang, sehingga butiran yang dihasilkan lebih besar dibandingkan jenis lainnya. Dalam pengelasannya memerlukan juru las yang berkompeten. Sifat mampu las fluks ini sangat baik maka biasa digunakan untuk konstruksi yang memerlukan tingkat keamanan tinggi (Wiryo Sumarto, 2000).

Sedangkan untuk elektroda yang digunakan pada pengelasan FCAW dengan kode E70T-1 dijelaskan sebagai berikut.

- E : Elektroda
- 7 : Pada AWS A5.36 satu atau dua digit menunjukkan besar kekuatan tarik minimum dari logam las yaitu sebesar 70.000 psi.
- 0 : Posisi pengelasan yang digunakan saat melakukan proses pengelasan. Angka 0 menunjukkan posisi *flat horizontal*.
- T1 : Huruf “T” mengidentifikasikan sebagai fluks berinti atau logam berinti elektroda. Hal ini mengacu pada polaritas yang digunakan serta karakteristik pengoperasian. T1 menunjukkan proses FCAW-G dan menggunakan polaritas DCEP dan digunakan dalam posisi flat, horizontal, vertical up, dan overhead.

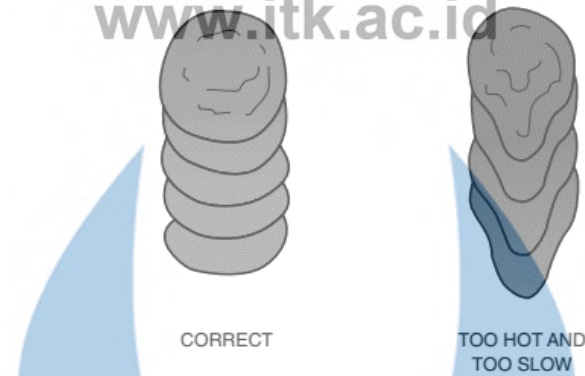
Tabel 2. 4 Chemical Compositition Elektroda E70T-1 *)

| Komposisi kimia | C | Mn | P | S | Si | Cr | Ni | Mo |
|----------------------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|
| Persentase Berat (%) | 0.05 | 1.27 | 0.017 | 0.004 | 0.52 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |

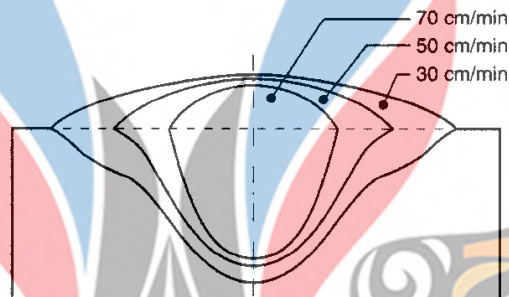
*)AWS A5.36, 2016

2.5.3 Travel Speed

Kecepatan pengelasan tergantung pada jenis elektroda, diameter inti elektroda, bahan yang dilas, geometri sambungan, ketelitian dimensi dan lain-lain. Kecepatan pengelasan berbanding lurus dengan arus pengelasan. Dalam hal ini, semakin cepat pengelasan maka diperlukan arus yang semakin besar pula. Bila tegangan dan arus dibuat tetap, tetapi kecepatan pengelasan dinaikkan maka jumlah deposit per satuan las menurun. Apabila kecepatan pengelasan terus ditingkatkan maka masukan panas per satuan panjang akan semakin kecil sehingga pendinginan terjadi terlalu cepat yang berkemungkinan dapat memperkeras daerah HAZ (Wiryosumarto, 2000).



Gambar 2. 7 Pengaruh Travel Speed Terhadap Bentuk lasan (Jeffus, 2016)



Gambar 2. 8 Pengaruh *Travel Speed* Terhadap Hasil Lasan (Weman, 2003)

American Welding Society (AWS) mendefinisikan *travel speed* sebagai laju linier di mana busur digerakkan di sepanjang sambungan las. Apabila *travel speed* terlalu cepat, *Filler Metal* tidak dapat mengisi jalur yang dilebur oleh busur secara memadai. Hal ini dapat menyebabkan cacat *undercut*. *Travel speed* yang terlalu lambat pada awalnya akan meningkatkan penetrasi dan meningkatkan deposit *Filler Metal*. Saat *Filler Metal* meningkat, manik las akan menumpuk di kolam las. Karena penetrasi yang dalam dari kawat berinti fluks, sudut elektroda sangat menentukan keberhasilan pengelasan. Cara lain untuk mengetahui *travel speed* yang benar adalah dengan melihat bagan rekomendasi pabrik untuk laju pembakaran untuk elektroda yang dipilih dalam pengelasan FCAW (Jeffus, 2016).

2.5.4 Tegangan Pengelasan

Tingginya tegangan busur tergantung pada panjang busur yang digunakan dan dari jenis elektroda yang digunakan. Pada elektroda yang sejenis tingginya tegangan busur yang diperlukan berbanding lurus dengan panjang busur. Pada

www.itk.ac.id

dasarnya busur listrik yang terlalu panjang tidak disarankan karena stabilitasnya mudah terganggu sehingga hasil pengelasannya tidak rata. Di samping itu tingginya tegangan tidak banyak mempengaruhi kecepatan pencairan logam pengisi, sehingga tegangan yang terlalu tinggi hanya akan membuang-buang energi saja.

Panjang busur yang baik kira-kira sama dengan diameter elektroda. Tegangan yang diperlukan untuk mengelas dengan diameter elektroda 3 sampai 6 mm, kira-kira antara 20 sampai 30 volt untuk posisi datar. Sedangkan untuk posisi tegak atau atas kepala biasanya dikurangi lagi dengan 2 sampai 5 volt. Kestabilan busur dapat juga dianalisa dari kestabilan suaranya selama pengelasan. Untuk mereka yang telah berpengalaman ketepatan panjang busur pun dapat diduga atau diperkirakan dari suara pengelasan. Sehubungan dengan panjang busur, hal yang paling sulit dalam las busur listrik dengan tangan adalah mempertahankan panjang busur yang tetap. (Wiryosumarto, 2000)

2.5.5 Polaritas Listrik

Pengelasan dengan menggunakan busur listrik dengan elektroda terbungkus dapat menggunakan polaritas lurus dan polaritas terbalik. Pemilihan polaritas sendiri bergantung pada fluks pelindung elektroda, kondisi termal dari logam induk dan kapasitas panas dari sambungan.

Bila titik lebur logam induk dan kapasitas panasnya besar sebaiknya digunakan polaritas lurus di mana elektrodanya dihubungkan dengan kutup negatif. Sebaliknya jika titik lebur logam induk rendah dan kapasitas panasnya kecil maka dapat menggunakan polaritas terbalik di mana elektrodanya dihubungkan dengan kutup positif.

Sifat busur pada umumnya lebih stabil pada arus searah dibandingkan dengan arus bolak balik. Namun, pada pengelasan sambungan pendek lebih baik menggunakan arus bolak balik dikarenakan pada arus searah rentan terjadi ledakan busur pada akhir pengelasan (Wiryosumarto, 2000).

2.6 Baja Karbon www.itk.ac.id

Secara garis besar baja karbon dibedakan berdasarkan proporsi atau berat dari kandungan karbon baja tersebut. Diantaranya yaitu terdapat baja karbon rendah, baja karbon menengah dan baja karbon tinggi (Kalpakjian, 2009).

1. Baja karbon rendah

Baja karbon jenis ini memiliki kandungan carbon yaitu kurang dari 0.3%, baja jenis ini banyak digunakan umumnya pada produk industri seperti baut, mur, lembaran, plat dan juga tabung. Selain itu juga dapat digunakan untuk komponen mesin yang tidak terlalu membutuhkan kekuatan yang sangat tinggi.

2. Baja karbon menengah

Baja karbon menengah memiliki rentang kadar karbon yaitu 0.3 - 0.6%. secara umum baja jenis ini digunakan pada pengaplikasian yang membutuhkan kekuatan lebih tinggi dibandingkan baja karbon rendah seperti pada pengaplikasian mesin, otomotif, serta komponen untuk agrikultur seperti *gear, axles, connecting rods, crankshaft* selain itu juga untuk rel kereta dan komponen untuk pengerjaan logam (*metal working*).

3. Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi memiliki rentang kadar karbon lebih dari 0.6%. secara umum baja jenis ini banyak digunakan untuk pengaplikasiann yang membutuhkan kekuatan tarik, kekerasan dan ketahanan aus yang tinggi seperti *cutting tools, cable, music wire, springs* dan *cutlery*. Setelah dilakukan proses manufaktur menjadi suatu bentuk, maka biasanya bagian tersebut dilakukan proses perlakuan panas dan *tempered*. Semakin tinggi kandungan karbon baja, maka akan semakin tinggi kekerasan, kekuatan, dan ketahanan aus setelah dilakukan perlakuan panas (Kalpakjian, 2009).

2.7 Baja JIS SS400

Baja JIS SS400 Baja struktural JIS SS400 memiliki komposisi hampir sama dengan ASTM A36 yang mana termasuk kedalam mild steel. Komposisi dari mild steel umumnya terdiri dari 0,20% C, 0,4-0,7% Mn, 0,5% Si, dan sedikit sulfur, fosfor dan unsur lain yang tersisa. Unsur Mn dalam baja ini berfungsi sebagai

penguat pada baja. Mild steel umumnya digunakan pada produk as-rolles, forged, atau annealed. Dalam dunia industri saat ini JIS SS400 banyak digunakan untuk menggantikan ASTM A36 karena lebih mudah dicari. Mild Steel adalah salah satu baja canai panas struktural yang umum digunakan. Adapun komposisi pada baja JIS SS400 adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 5 Komposisi Baja JIS SS400(*)

| Komposisi | Kandungan (%wt) |
|--------------|-----------------|
| Karbon (C) | 0,14 – 0,20 |
| Silikon (Si) | 0,09 |
| Mangan (Mn) | 0,53 |
| Fosfor (P) | 0,100 |
| Sulfur (S) | 0,040 |
| Kromium (Cr) | 0,30 |
| Nikel (Ni) | 0,30 |

*)Wiryosumarto, 2000

Sedangkan untuk nilai sifat mekaniknya dapat dilihat pada tabel berikut.

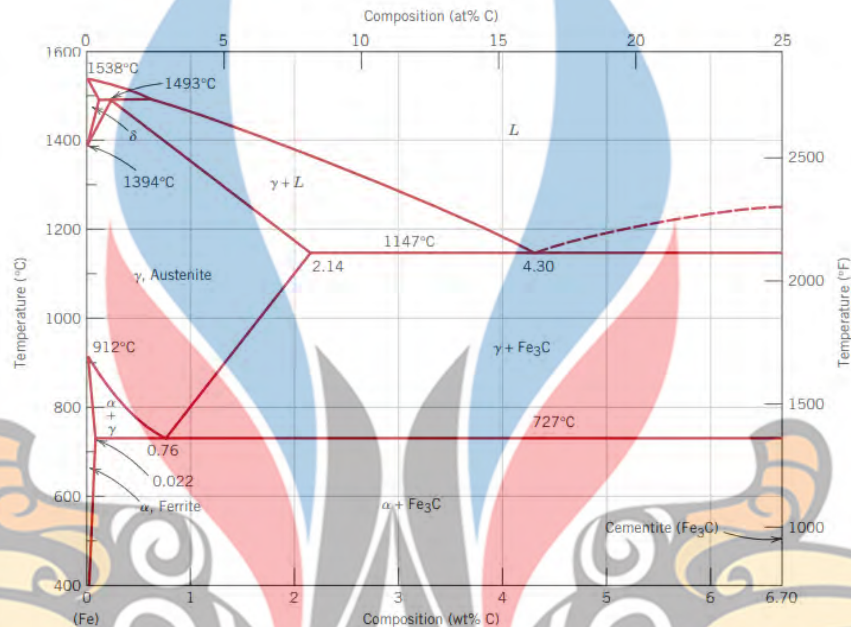
Tabel 2. 6 Sifat Mekanik JIS G3101 SS400

| Sifat Mekanik | Nilai |
|----------------|---------------|
| Kekuatan Tarik | 400 - 430 MPa |
| Kekuatan Yield | 286 MPa |
| Elongasi | 31 % |

))*Mill Test Certificate* KARAKATAU POSCO, 2020

2.8 Diagram Fe-Fe₃C

Fasa-fasa dalam baja karbon akan mengalami perubahan jika mengalami pemanasan atau pendinginan dijelaskan pada diagram fasa. Perubahan fasa dalam baja karbon dapat dilihat pada diagram fasa Fe-Fe₃C pada gambar berikut.



Gambar 2. 9 Diagram Fasa Fe-Fe₃C (Callister, 2014)

Fasa-fasa yang terdapat dalam Fe-Fe₃C adalah:

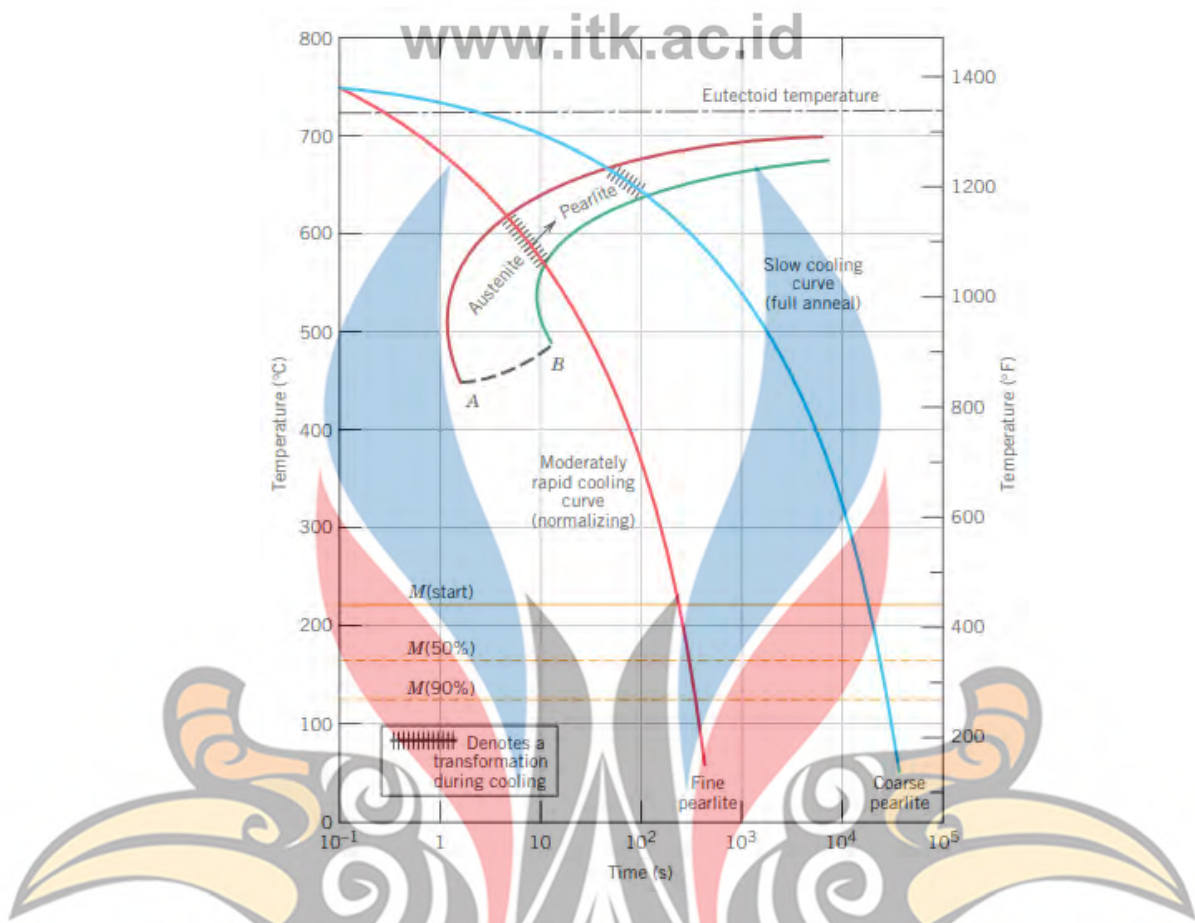
- Besi (δ) Besi adalah larutan padat intertisi karbon dalam struktur kristal besi bcc, besi mempunyai konstanta kisi yang lebih besar dibanding α . Kelarutan karbon maksimum dalam δ adalah 0.09% pada suhu 1.493°C.
- Ferit (α) Ferit adalah larutan padat intertisi karbon dalam struktur kristal bcc besi. Dalam diagram fasa kelarutan karbon maksimum dalam α adalah 0,022% pada suhu 727°C. Kelarutan karbon dalam ferit menurun menjadi 0,005% pada suhu 0°C.
- Pearlit Perlit adalah Suatu eutectoid mixture dari sementit dan ferit, mengandung 0,8% C, terbentuk pada suhu 727°C.
- Austenit (γ) Austenit adalah larutan padat intertisi karbon didalam struktur kristal fcc besi. Kelarutan karbon dalam austenit lebih besar dari ferit. Kelarutan karbon maksimum dalam austenite adalah 2% pada suhu 1.147°C dan menurun menjadi 0,8% C pada suhu 727°C. Tidak stabil pada suhu kamar.

- e) Ledeburite Fasa ini adalah Suatu eutectic mixture dari austenit dan sementit, mengandung 4,3% C, terbentuk pada suhu 1.130°C.
- f) Lower Critical temperatute (Temperatur kritis bawah) A1 Pada diagram Fe-Fe₃C tampak berupa garis mendatar pada suhu 723°C. Pada suhu ini terjadi reaksi eutectoid di mana austenit menjadi ferit dan semen.
- g) Sementit (Fe₃C) Sementit adalah campuran logam dengan karbon. Limit kelarutannya diabaikan, komposisi karbon 6,67% dan 93,3% Fe. Sementit adalah senyawa keras, getas dan berkekuatan rendah.

2.9 Diagram CCT

Diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*) menunjukkan tahap-tahap transformasi selama pendinginan dari setiap jenis struktur mikro yang berhubungan dengan temperatur pendinginan. Untuk menganalisis laju pendinginan cepat dan lambat dibuat diagram (*Continuous Cooling Transformation*). Diagram ini dibuat dengan cara memanaskan baja karbon sampai mencapai temperatur austenisasi kemudian mendinginkan dengan laju pendinginan yang kontinyu.

Pengaruh pendinginan yang kontinyu mengakibatkan proses pendinginan yang cepat terjadi didaerah HAZ pada hasil lasan (Avner, 1974). Pada material baja karbon jika kandungan karbon kurang dari 0,3 % akan sulit terbentuk fasa martensit. Hal ini dapat terjadi karena pada daerah *weld metal* terjadi perubahan fasa dari austenit ke ferit dan perlit sedangkan pada daerah HAZ terjadi perubahan fasa austenit ke martensit. Pada perubahan fasa di daerah *weld metal*, hidrogen berpindah menuju daerah HAZ karena pada daerah *weld metal* fasa austenit tidak dapat menyerap hidrogen dan hidrogen terlarut dalam fasa ferit. Pada daerah *base metal* tidak banyak terjadi perubahan fasa karena pada daerah ini kandungan karbon lebih tinggi dari daerah *weld metal* dan tidak terpengaruh panas. Pada daerah HAZ perubahan austenit ke martensit terjadi setelah perubahan fasa austenit ke ferit dan perlit di daerah *weld metal* (Kou, 2003).



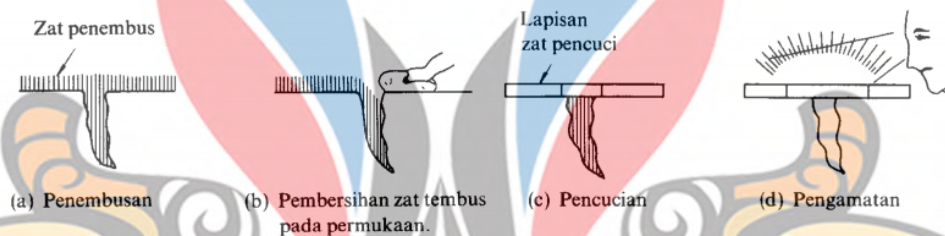
Gambar 2. 10 Diagram CCT pada Baja Eutektoid (Callister, 2014)

2.10 Visual test

Visual test merupakan salah satu pengujian tanpa merusak yang dapat dilakukan pada hasil lasan. Pengujian ini dilakukan dengan cara mengamati hasil lasan tersebut secara kasat mata. Sehingga pengujian ini hanya dilihat dari bagian luar dan mengamati permukaan hasil lasan yang digunakan atau diamati. *Visual test* ini tidak memerlukan peralatan sehingga pengujian ini tergolong ke dalam pengujian yang murah dan cepat untuk dilaksanakan. Kelemahan dari pengujian ini adalah hanya dapat mengidentifikasi cacat yang terdapat pada permukaan saja. Selain itu hasil pengamatan subjektif berdasarkan pengamatan inspektor sehingga butuh ketelitian tinggi dikarenakan cacat pada lasan dapat sulit dilihat atau terlihat hanya dengan kasat mata. Adapun cacat-cacat yang dapat diamati menggunakan *visual test* ini adalah *undercut*, *incomplete fusion*, *crack* pada permukaan hasil las dan lain-lain (Rendy, 2015).

2.11 Liquid Penetrant Test www.itk.ac.id

Pengujian ini adalah cara yang cukup baik untuk menentukan adanya cacat halus pada permukaan, seperti retak, lubang halus atau kebocoran. Cara ini pada dasarnya adalah menggunakan cairan berwarna yang dapat menembus cacat pada material. Setelah cairan yang ada di permukaan dibersihkan maka cacat akan terlihat dengan jelas seperti terlihat dalam gambar 2.8. Cara ini adalah cara yang murah, cepat dan mudah. Penggunaan yang paling tepat adalah untuk menguji logam-logam bukan magnet di mana penggunaan cara dengan magnet tidak dapat dilakukan. Berikut merupakan gambar mengenai proses pengujian *Liquid Penetrant Test* (Wiryosumarto, 2000).



Gambar 2. 11 Pengujian Liquid Penetrant Test (Wiryosumarto, 2000)

2.12 Pengujian Tarik

Uji tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan (Dieter, 1987). Pada proses uji tarik, benda uji diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah secara kontinyu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan terhadap perpanjangan yang dialami benda uji (Davis, Troxell, dan Wiskocil, 1955). Kurva tegangan regangan rekayasa didapat dari pengukuran pertambahan panjang benda uji. Tegangan yang dipergunakan pada kurva adalah tegangan yang diperoleh dengan membagi beban dengan luas awal penampang melintang benda uji.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots \dots \dots (2.1)$$

Di mana: σ = tegangan Teknik (N/mm^2)

F = beban yang bekerja (N) www.itk.ac.id

A_0 = luas penampang awal (mm^2)

Regangan yang digunakan untuk kurva tegangan regangan teknik adalah regangan linier rata-rata, yang diperoleh dengan membagi perpanjangan *gauge length* benda uji (ΔL) dengan panjang awalnya (L_0).

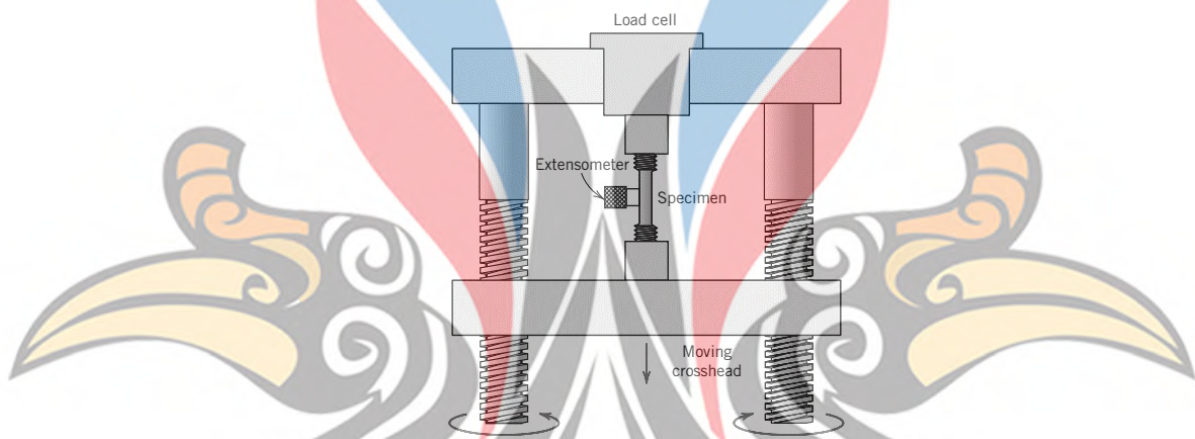
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots(2.2)$$

Di mana: ε = regangan teknik

ΔL = pertambahan panjang (*mm*)

L = Panjang akhir (*mm*)

L_0 = panjang awal (*mm*)



Gambar 2. 12 Ilustrasi Pembebanan Tarik Pada *Tensile Test* (Callister, 2014)

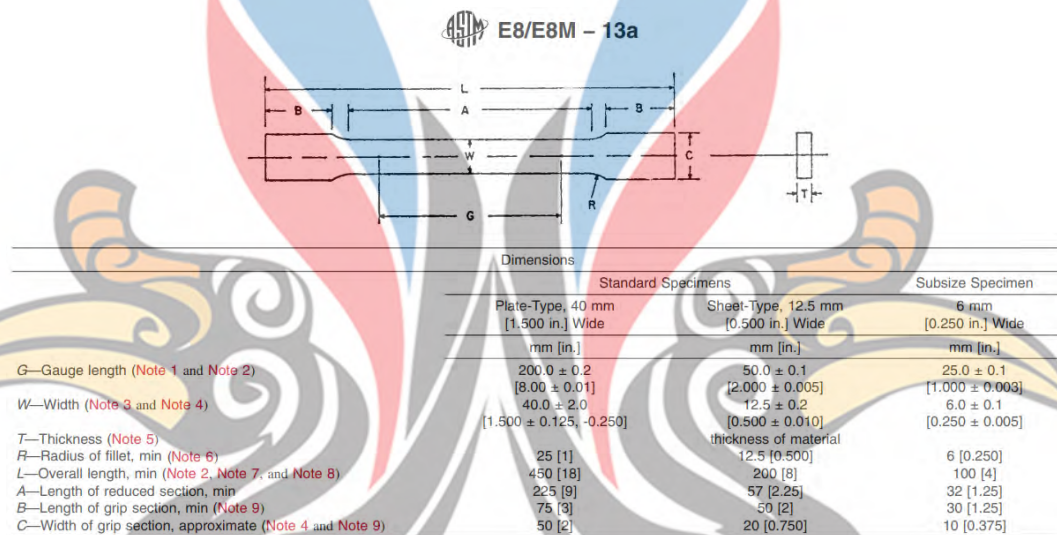
Menurut ASME IX (2013), nilai minimal untuk standar prosedur kualifikasi dapat dilihat pada tabel 2.1, untuk dinyatakan lulus dalam pengujian tensile, maka spesimen haru memenuhi kekuatan tarik yang tidak kurang dari:

1. Ketentuan minimal kekuatan tarik material dasar atau logam induk atau:
2. Ketentuan minimal kekuatan tarik material dasar yang lebih lemah diantara keduanya jika material dasar atau logam induk yang digunakan berbeda.
3. Ketentuan minimal kekuatan tarik apabila bagian yang berlaku memberlakukan penggunaan logam las yang memiliki kekuatan suhu ruangan lebih rendah dari logam dasar.
4. Jika spesimen putus tidak pada logam las atau tidak pada permukaan las, maka hasil pengelasan dapat diterima sesuai dengan kebutuhan, asalkan kekuatan

tarik tidak lebih dari 5% di bawah ketentuan kekuatan tarik dari material dasar atau logam induk.

5. kekuatan tarik minimum yang ditentukan untuk spesimen ketebalan penuh termasuk pelapis untuk bahan aluminium alclad kurang dari 1/2 inci. untuk bahan aluminium alclad 1/2 inci atau lebih besar, kekuatan tarik minimum yang ditentukan adalah untuk kedua spesimen ketebalan penuh yang mencakup pelapis dan spesimen yang diambil dari inti.

Bentuk dari standar spesimen yang digunakan pada penelitian ini adalah berdasarkan standar ASTM E8/E8M yang dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 13 Standar Spesimen Pengujian Tarik ASTM E8/E8M

2.13 Pengujian Mikro Struktur

Pengujian struktur mikro bertujuan untuk mengetahui suatu fisik logam yang nampak pada bagian luar dan untuk mengetahui susunan fasa pada suatu benda uji atau spesimen. Salah satu cara dalam mengamati struktur mikro suatu bahan yaitu dengan teknik metalografi (pengujian mikroskopik). Metalografi merupakan suatu ilmu yang mempelajari karakteristik mikrostruktur suatu logam, paduan logam dan material lainnya serta hubungannya dengan sifat-sifat material tersebut. Dalam pengujiannya membutuhkan mikroskop yang berfungsi untuk menunjukkan atau menentukan ukuran butir, ukuran bentuk, dan distribusi berbagai fasa yang memiliki efek yang cukup besar terhadap sifat mekanik suatu logam. Alat uji yang

www.itk.ac.id

biasa digunakan untuk mengamati struktur mikro adalah *Olympus Metallurgical Microscope* dan yang digunakan untuk pengambilan gambar struktur mikro yaitu *Olympus Photomicrographic System*. Standar uji yang digunakan dalam pengujian ini terdiri dari standar persiapan sebelum uji struktur mikro (ASTM E3) dan standar pelaksanaan uji struktur mikro (ASTM E7). ASTM E3 (*Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens*) berisi tentang persiapan sebelum pelaksanaan foto mikro seperti pemilihan permukaan pada spesimen, pembuatan ukuran dan juga pemotongan pada spesimen, pembersihan dan penghalusan permukaan spesimen, pelapisan spesimen (resin), proses gerinda, poles, dan proses pengetsaan. Sedangkan pada ASTM E7 (*standar terminologi Relating to Metalografi*) berisi tentang istilah, proses dan syarat-syarat pada uji metalografi (Avner, 1974).

Metode pengujian *grain size* merupakan penentuan ukuran butir rata-rata dalam bahan logam terutama prosedur pengukuran dan dasar basis geometrisnya murni tidak tergantung pada logam atau paduan yang bersangkutan. Bahkan, 26 prosedur dasar juga dapat digunakan untuk memperkirakan butiran rata-rata, kristal, atau ukuran sel dalam bahan bukan logam. Metode perbandingan (*comparison method*) dapat digunakan jika struktur material mendekati tampilan salah satu grafik perbandingan standar. Prosedur metode perbandingan (*comparison method*) tidak memerlukan penghitungan butir, pemotongan, atau persimpangan, tetapi, seperti namanya, melibatkan perbandingan struktur butir dengan serangkaian gambar bertingkat, baik dalam bentuk *m*, atau lembaran plastik bening sebagai pembanding (ASTM E112, 2010)

2.14 Penelitian Terdahulu

Berikut merupakan rangkuman dari hasil penelitian terdahulu yang mempunyai keterikatan dengan laporan penelitian ini.

Tabel 2. 7 Rangkuman Hasil Penelitian Terdahulu

| No | Nama dan Tahun Publikasi | Hasil |
|----|--------------------------|--|
| 1 | Hariri, 2014 | <p>Metode : Menggunakan material JIS SS400 metode pengelasan SMAW menggunakan parameter variasi arus SMAW (40A, 50A dan 60A) elektroda E6013 <i>Single V Groove</i> ketebalan pelat (10 mm) dengan sudut 70°</p> <p>Hasil : Variasi temperatur arus pengelasan berpengaruh terhadap sifat kekuatan tarik material, dengan nilai kekuatan tarik tertinggi yaitu pada arus pengelasan SMAW 50A sebesar 260,3 Mpa.</p> |
| 2 | Aji, 2019 | <p>Metode: Menggunakan material JIS G3131 sambungan disimilar dengan <i>stainless steel</i> AISI SS201 dengan elektroda <i>stainless steel</i> NSN – 308 ketebalan 10mm. Metode pengelasan yang digunakan adalah pengelasan SMAW.</p> <p>Hasil: didapatkan nilai kekuatan tarik pada kampuh V sebesar 32,782 Kgf/mm² dan nilai kekerasannya 63,03 HRC.</p> |
| 3 | Lailiyah, 2017 | <p>Metode: pengelasan yang digunakan adalah pengelasan dengan mesin SAW dan FCAW dengan material yang digunakan yaitu ASTM A36.</p> <p>Hasil: Pada spesimen pengelasan FCAW memiliki nilai kekuatan rata-rata sebesar 516.40 MPa dan memiliki nilai kekerasan rata-rata pada daerah lasan sebesar 193.20 HVN dan pada daerah HAZ sebesar 155.73 HVN. Juga memiliki nilai ketangguhan rata-rata pada daerah lasan sebesar 1.779 J/mm² dan pada daerah HAZ sebesar 1.848 J/mm²</p> |

