

www.itk.ac.id

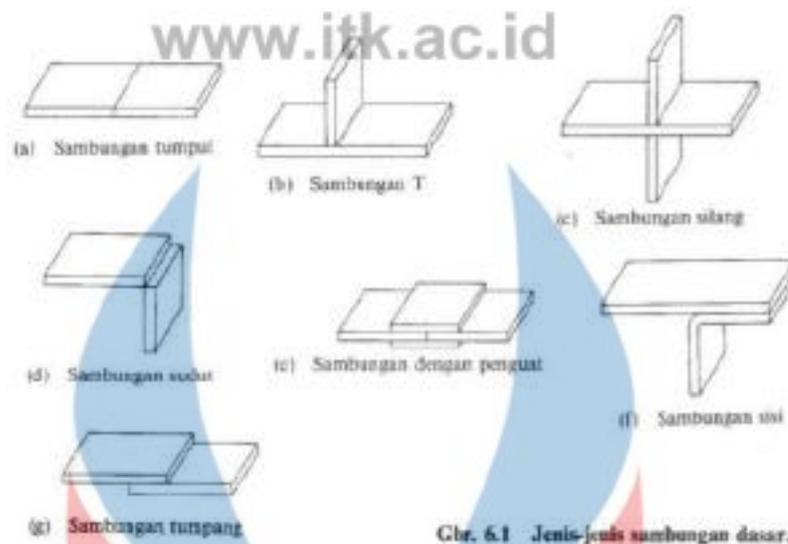
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab 2 tinjauan pustaka ini akan dijelaskan mengenai keterkaitan beberapa referensi terhadap penelitian “Analisis Pengaruh Variasi Sudut Kampuh Pengelasan Kombinasi Smaw-Fcaw Kampuh *Single V* Jis G3101-Ss400 Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro”. Bab 2 ini meliputi beberapa aspek bahasan, diantaranya : pengertian pengelasan, SMAW, FCAW, diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*), pengujian tarik, pengujian metalografi , baja struktural JIS G3101-SS400, dan penelitian terdahulu.

2.1 Pengelasan

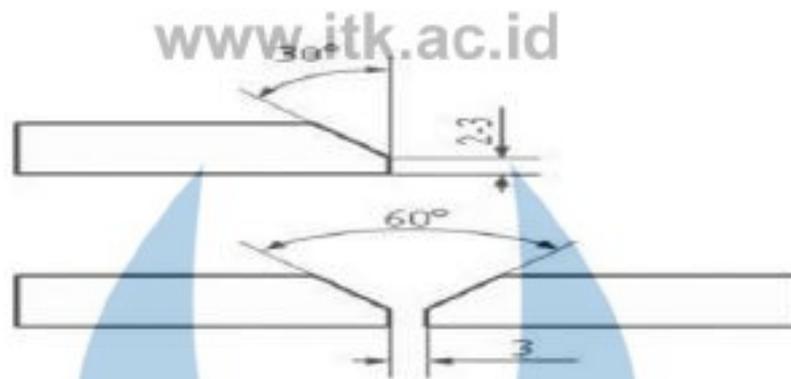
Pengelasan (*Welding*) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa tambahan logam lain. Dari definisi tersebut terdapat 3 kata kunci untuk menjelaskan definisi pengelasan yaitu mencairkan sebagian logam, logam pengisi, dan tekanan. Proses penyambungan lain yang telah dikenal lama selain pengelasan adalah penyambungan dengan cara *Brazing* dan *Soldering*. Perbedaannya dengan pengelasan adalah tidak sampai mencairkan logam induk tetapi hanya logam pengisinya saja. Sedangkan perbedaan antara *Brazing* dan *Soldering* adalah pada titik cair logam pengisinya. Proses *Brazing* berkisar 4500°C – 9000°C, sedangkan untuk *Soldering*, titik cair logam pengisinya kurang dari 4500°C (Widharto,2003).



Gambar 2. 2 Macam-macam bentuk sambungan las (Wirjosumatro, 2000)

2.2 Kampuh V (*Single V-Groove*)

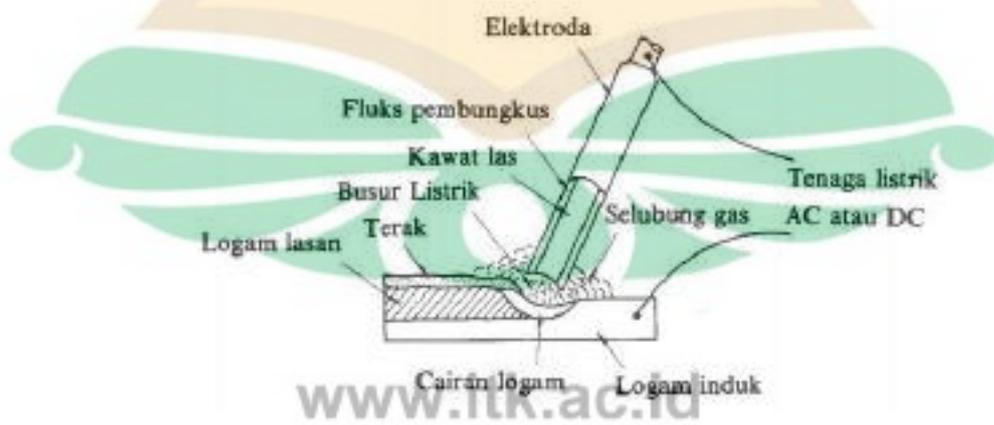
Kampuh las merupakan bagian dari logam induk yang nantinya akan diisi oleh deposit las atau logam las (*weld metal*). Kampuh las, awalnya adalah berupa kubangan las (*weld pool*) yang kemudian diisi dengan logam las. Sambungan kampuh V terbuka dipergunakan untuk menyambung pelat dengan ketebalan 6-15 mm dengan sudut kampuh antara $60^\circ - 80^\circ$, jarak akar 2 mm, tinggi akar 1-2 mm. Alur pengelasan dinyatakan oleh sepasang sisi ujung dari dua logam yang akan disambung dengan pengelasan. Sebuah kampuh las harus dirancang untuk pengelasan yang efisien secara ekonomis dan mudah pelaksanaannya serta untuk meminimalkan jumlah endapan tanpa menyebabkan cacat las. Kampuh las dapat dipersiapkan dengan proses pemesinan atau pemotongan panas lainnya. Metode pemotongan panas yang dapat dipakai meliputi: pemotongan gas, pemotongan busur plasma, pemotongan busur udara, pemotongan laser, dan sebagainya. Pada penelitian ini penulis akan menggunakan jenis sambungan alur berbentuk V tunggal karena pemilihan bentuk alur kampuh tersebut berdasarkan ketentuan dari ketebalan bahan, elektroda dan sebagainya. (Qomari dkk., 2015)



Gambar 2. 3 *Single V-Groove* (Suharto,1991)

2.2 Pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding)

Pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding) adalah pengelasan dengan menggunakan busur nyala listrik sebagai sumber panas pencair logam. Jenis pengelasan SMAW ini paling sering dipakai dimana-mana untuk hampir semua keperluan pengelasan. Logam induk dalam pengelasan ini mengalami pencairan akibat pemanasan dari busur listrik yang timbul antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja. Busur listrik dipancarkan dari suatu mesin las. Pengelasan SMAW juga memiliki proses pengelasan yang paling sederhana dan paling serbaguna, karena sederhana dan mudah dalam mengangkut peralatan dan perlengkapannya, membuat proses pengelasan SMAW ini mempunyai aplikasi luas seperti untuk proses pengelasan dibawah laut dan pengelasan SMAW dapat dilakukan pada berbagai posisi atau lokasi yang bisa dijangkau dengan sebatang elektroda.



Gambar 2. 4 Proses Pengelasan SMAW (Wiryosumatro,2000)

2.3 Parameter Pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*)

2.3.1 Arus pengelasan

Arus sangat mempengaruhi dalam proses pengelasan busur listrik, besar kecil arus yang dipergunakan dalam proses pengelasan tersebut dapat menentukan ukuran dan bentuk hasil penetrasi dan deposit las. Pengaruh dari penggunaan arus dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Dengan adanya peningkatan arus maka akan meningkatkan pengadukan elektromagnetik pada kawah las. Arus yang lebih tinggi cenderung menghasilkan penetrasi yang lebih dalam dan luas daerah lasan sempit.
2. Dengan peningkatan arus akan menyebabkan meningkatnya kecepatan masukan panas maksimum ke daerah lasan dibawah pusat busur dan juga memperluas distribusi masukan panas.
3. Peningkatan arus pada pengelasan juga mengakibatkan masukan panas yang meningkat pada kampuh las. Masukan panas yang meningkat tersebut akan menurunkan kecepatan pendinginan pada logam las yang berpengaruh terhadap struktur dan mekanis yang terbentuk. Besarnya arus las yang diperlukan tergantung dari bahan dan ukuran dari lasan, geometri sambungan, posisi pengelasan macam elektroda dan diameter inti elektroda. Dalam hal daerah las mempunyai kapasitas panas yang tinggi maka dengan sendirinya diperlukan arus las yang besar dan mungkin juga diperlukan pemanasan tambahan. Dalam pengelasan logam paduan, untuk menghindari terbakarnya unsurunsur paduan sebaiknya menggunakan arus las yang kecil (Kou, 2003).

2.3.2 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. Bahan fluks yang digunakan untuk jenis

E7018 adalah serbuk besi dan hidrogen rendah. Jenis ini kadang disebut jenis kapur. Jenis ini menghasilkan sambungan dengan kadar hidrogen rendah sehingga kepekaan sambungan terhadap retak sangat rendah, ketangguhannya sangat memuaskan. Hal yang kurang menguntungkan adalah busur listriknya kurang, sehingga butiran yang dihasilkan agak besar dibandingkan jenis lain. Dalam pelaksanaan pengelasan memerlukan juru las yang sudah berpengalaman. Sifat mampu las fluks ini sangat baik maka biasa digunakan untuk konstruksi yang memerlukan tingkat pengaman tinggi (Wiryosumarto, 2000).

Untuk pemilihan jenis elektroda yang digunakan, maka harus memperhatikan beberapa langkah antara lain (Bintoro, 2005).

- a. Jenis logam yang akan dilas
- b. Tebal bahan yang akan dilas
- c. Kekuatan mekanis yang diharapkan dari hasil pengelasan
- d. Posisi pengelasan
- e. Bentuk kampuh benda kerja

Adapun elektroda yang digunakan pada penelitian ini yaitu dengan kode E7018, artinya yaitu (Bintoro, 2005):

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

8 : Elektroda dengan penembusan dangkal dan menengah, dan menunjukkan jenis selaput serbuk besi hidrogen rendah

Tabel 2. 1 Komposisi Kimia Elektroda E7018 *

Komposisi Kimia Elektroda E7018 (%)												
S	C	Ni	Nb	Si	Cr	V	Mn	Mo	W	P	Cu	Ti
0,01	0,098	0,019	0,01	0,316	0,046	0,01	1,028	0,004	0,05	0,009	0,004	0,01

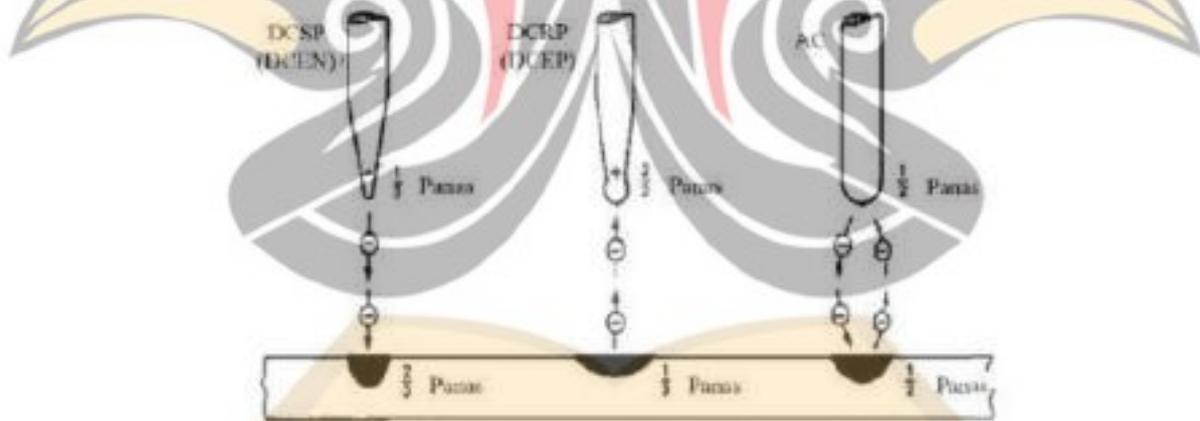
*ASM Handbook, 1995

2.3.3 Kecepatan Pengelasan

Kecepatan pengelasan tergantung pada jenis elektroda. Diameter inti elektroda. Bahan yang dilas, geometri sambungan, ketelitian sambungan. Kecepatan las tidak ada hubungannya dengan tegangan tetapi berbanding lurus dengan kuat arus, sehingga pengelasan yang cepat membutuhkan arus las yang tinggi untuk mencapai hasil las yang baik. Jika kecepatan las dinaikkan maka masukan panas per satuan panjang akan menjadi kecil sehingga pendinginan akan berjalan cepat. (Kamal, 2014).

2.3.4 Polaritas Pengelasan

Polaritas listrik mempengaruhi hasil dari busur listrik. Sifat busur listrik pada arus searah (DC) akan lebih stabil daripada arus bolak-balik (AC). Terdapat dua jenis polaritas yaitu polaritas lurus (DCEN), dimana benda kerja positif dan elektroda negative, sedangkan polaritas balik (DCSP) sebaliknya. Skema perbedaan antara ketiga polaritas diatas ditunjukkan pada Gambar 2.5 yaitu terlihat perbedaan panas yang dihasilkan setiap polarisasi (DED, 2000).



Gambar 2. 5 Distribusi Panas Tipe Arus Pengelasan (DED, 2000)

Berdasarkan gambar diatas, didapatkan tiga tipe yaitu DCEP, DCEN, dan AC. Berikut penjelasan dari ketiganya :

1. Direct Current Electro Negative (DCEN) Polaritas jenis ini biasanya disebut dengan Direct-Current Straight Polarity (DCSP), benda kerja yang akan dilas dihubungkan dengan kutub positif (+) sementara elektrodanya disambungkan pada kutub negative (-) pada mesin las DC. Polaritas

www.itk.ac.id

DCEN menghasilkan pencairan material yang lebih banyak dibandingkan elektrodanya. Sehingga memiliki hasil pengelasan yang dalam.

2. Direct Current Electro Positive (DCEP) Benda kerja yang akan dilakukan pengelasan dihubungkan dengan kutub negative (-) dan elektrodanya dihubungkan pada kutub positif (+) pada mesin las DC. Polaritas DCEP akan menghasilkan pencairan elektroda yang lebih banyak daripada materialnya. Sehingga dapat menghasilkan hasil lasan yang dangkal.
3. Alternating Current (AC) AC ini merupakan arus listrik yang besar dan arahnya arus dapat berubah secara bolak-balik. AC ini merupakan setengah DCEP dan setengah DCEN. Bentuk gelombang dari arus ini berupa gelombang sinusoida. Hal ini disebabkan karena arus ini memungkinkan terjadinya perpindahan energy yang paling efisien (DED, 2000)

2.4 Pengelasan FCAW (*Flux Core Arc Welding*)

Pengelasan FCAW (*Flux Cored Arc Welding*) adalah proses pengelasan busur listrik yang tercipta antara elektrod terumpun dan weld pool dengan menggunakan pelindung berupa flux yang terdapat di dalam elektroda yang berongga, dimana prosesnya dilakukan tanpa tekanan dan dapat diberi tambahan gas CO₂ sebagai pelindung. Pada dasarnya proses pengelasan FCAW memiliki prinsip yang sama seperti proses pengelasan Gas Metal Arc Welding (GMAW). Perbedaannya adalah elektroda (kawat las) yang digunakan diisi dengan flux (kemudian disebut dengan flux-core). Elektroda ini menghasilkan busur listrik yang lebih stabil, memperbaiki garis bentuk lasan dan menghasilkan sifat-sifat mekanik yang baik dari logam lasan. Fluks dalam elektroda ini lebih fleksibel dari pada pelapisan yang rapuh atau getas yang digunakan pada elektroda SMAW (*Shield Metal Arc Welding*), sehingga elektroda yang berbentuk pipa dapat disediakan dalam bentuk gulungan yang Panjang pada suatu rol. Proses pengelasan FCAW ini merupakan proses semi otomatis dan dapat juga disebut sebagai kombinasi SMAW, GMAW, dan SAW (Wiryosumatro 2000).

Menurut Suharto (1991) Berdasarkan metode pelindung, Pengelasan FCAW dapat dibedakan menjadi 2, yaitu:

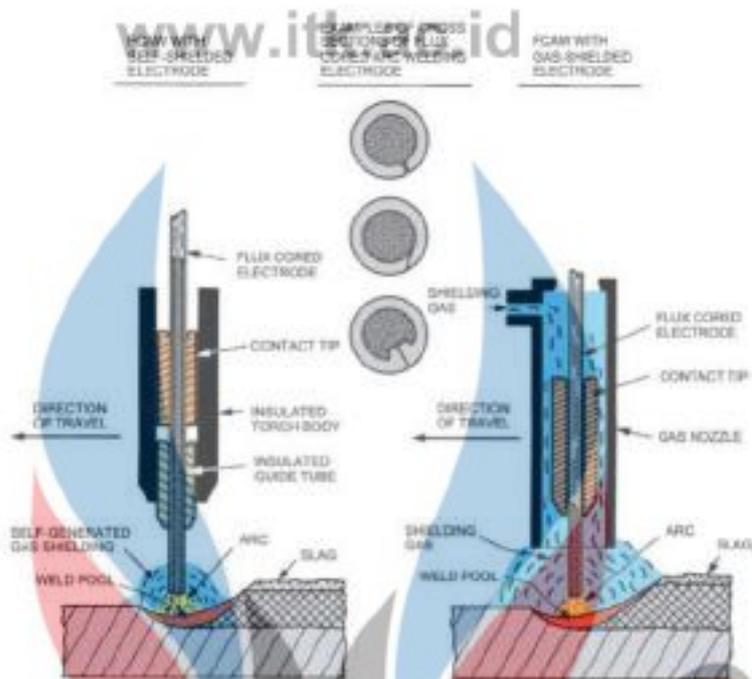
www.itk.ac.id

1. *Self shielding* FCAW (perlindungan sendiri), yaitu merupakan proses melindungi logam las yang mencair dengan menggunakan gas dari hasil penguapan atau reaksi dari inti fluks. 17
2. *Gas shielding* FCAW (perlindungan gas) adalah perlindungan dengan dual gas, yaitu melindungi logam las yang mencair dengan menggunakan gas sendiri juga ditambah gas pelindung yang berasal dari luar sistem.

Dua metode di atas sama-sama menghasilkan terak las yang berasal dari flux dalam kawat las yang berfungsi untuk melindungi logam las saat proses pembekuan. Namun, perbedaan metode di atas terletak pada tambahan sistem pemasok gas dan welding torch yang digunakan. Pengelasan FCAW berdasarkan cara pengoperasiannya dibedakan menjadi dua, yaitu: otomatis (machine automatic) dan semi otomatis (semi automatic). Sifat-sifat utama (Principal features) yang dimiliki FCAW dalam proses pengelasan (Suharto,1991)

1. FCAW mempunyai sifat metalurgy las yang bisa dikontrol dengan pemilihan fluks.
2. Las FCAW mempunyai produktivitas yang tinggi, karena dapat pasokan elektroda las yang kontinu.
3. Saat pembentukan manik atau rigi-rigi las yang cair dapat dilindungi oleh slag yang tebal.

Pada pengelasan FCAW umumnya menggunakan gas CO₂ atau campuran CO₂ dengan Argon sebagai gas pelindung. Digunakan gas pelindung CO₂ karena memiliki kelebihan kecepatan pengelasan yang tinggi dan mengasilkan penetrasi yang lebih dalam. Tetapi untuk menghindari logam las terjadi kontaminasi dengan udara luar atau menghindari porosity maka harus dilakukan pemilihan fluks yang mempunyai sifat pengikat *oxygen* atau *deoxidizer* (Wiryo Sumarto, 2000).



Gambar 2. 6 Proses pengelasan FCAW (Flux Core Arc Welding) (Welding Handbook, 2011)

Pada pengelasan FCAW memiliki beberapa keunggulan yaitu mempunyai kecepatan deposisi yang lebih tinggi dari pengelasan SMAW dan GMAW, dapat digunakan pada berbagai posisi pengelasan, lebih efisien serta ekonomis dibandingkan dengan MIG. Sedangkan kelemahan pada pengelasan FCAW ini menghasilkan terak (slag) yang harus dibersihkan, dan menghasilkan banyak asap (Welding Handbook, 2001).

2.5 Parameter Pengelasan FCAW (*Flux Core Arc Welding*)

2.5.1 Polaritas Listrik

Karakteristik mesin las FCAW berdasarkan arusnya dibedakan menjadi tiga macam, yaitu mesin las arus searah atau Direct Current (DC), mesin las arus bolak-balik atau Alternating Current (AC) dan mesin las arus ganda yang merupakan mesin las yang dapat digunakan untuk pengelasan dengan arus searah (DC) dan pengelasan dengan arus bolak-balik (AC). Mesin las arus DC dapat digunakan dengan dua cara yaitu polaritas lurus dan polaritas terbalik. Mesin las DC polaritas lurus (DC-) digunakan bila titik cair bahan induk tinggi dan

kapasitas besar, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub negatif dan logam induk dihubungkan dengan kutub positif, sedangkan untuk mesin las DC polaritas terbalik (DC+) digunakan bila titik cair bahan induk rendah dan kapasitas kecil, untuk pemegang fillernya dihubungkan dengan kutub positif dan logam induk dihubungkan dengan kutub negatif. Pilihan ketika menggunakan DC polaritas negatif atau positif adalah terutama ditentukan elektroda yang digunakan. Beberapa filler FCAW didesain untuk digunakan hanya DC- atau DC+. Filler lain dapat menggunakan keduanya DC- dan DC+ (Jones, 2015).

2.5.2 Gas Pelindung

Adapun fungsi utama dari gas pelindung yaitu berfungsi untuk menghindari terjadinya oksidasi dari udara luar terhadap cairan pada proses pengelasan sehingga akan menyebabkan kurang sempurnanya perpaduan antara bahan tambah (filler rod) dengan cairan bahan yang akan dilakukan penyambungan. Disamping fungsi tersebut, gas lindung juga memiliki beberapa berfungsi antara lain :

1. Mempengaruhi sifat busur
2. Moda transfer metal
3. Penetrasi dan profil jalur las
4. Kecepatan las
5. Kecenderungan untuk sisi longsor (undercut)
6. Aksi pembersihan
7. Sifat mekanis bahan las

Terdapat beberapa jenis-jenis gas pelindung yang digunakan seperti pada proses pengelasan GMAW dan FCAW yaitu :

A. Argon (Ar)

Merupakan gas inert yang monoatomic, memiliki berat molekul 40 gr/ml yang dapat diperoleh dengan mencairkan udara. Dapat digunakan untuk pengelasan gas argon murni (min 99,95 %) untuk metal yang tidak reaktif, namun untuk metal yang reaktif dan metal tahan panas, tingkat kemurniannya lebih tinggi (99,997%).

B. Helium (He)

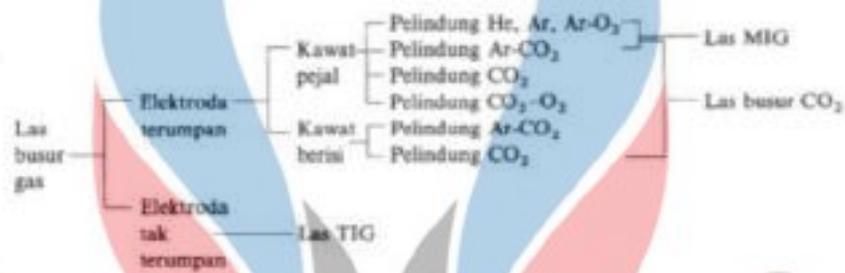
Helium merupakan gas inert yang monoatomik dan sangat ringan, didapat dari pemisahan gas alam, apabila digunakan pada proses pengelasan harus dilakukan pemurnian menjadi 99,99%. Lebih banyak menghantarkan panas daripada argon. Dengan tenaga panas yang lebih tinggi tersebut, helium banyak digunakan untuk pengelasan dengan menggunakan tenaga mekanis. Gas pelindung helium jika digunakan sendiri tanpa dicampur dengan gas argon dapat menghasilkan voltase busur yang lebih tinggi. Busur yang dihasilkan dengan penggunaan gas pelindung helium tidak menghasilkan transfer semprot aksial yang sebenarnya pada besaran arus mana saja dengan stabilitas busur yang terbatas. Akibatnya menimbulkan banyak percikan (spatter) pada jalur hasil las. Namun untuk beberapa pada pengelasan tertentu justru diperlukan penggunaan helium murni agar didapatkan penetrasi yang dalam, jalur las yang lebar dan melengkung atau parabol. Penggunaan gas helium murni juga menyebabkan sulitnya penyalaan awal elektroda.

C. Campuran Argon dan Helium

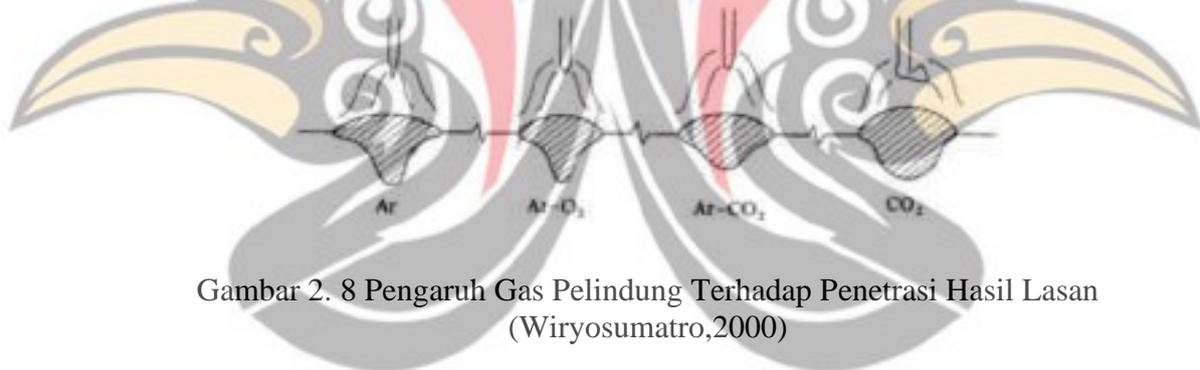
Apabila ditinjau dari berat, argon memiliki berat sekitar 10 x helium, karena besarnya berat, gas argon akan langsung menyelimuti jalur cairan logam yang di las, sedangkan helium yang lebih ringan dari argon akan naik keatas menghalangi penetrasi udara luar ke dalam daerah nyala las. Jadi dengan dikombinasikannya kedua jenis gas tersebut tentunya akan menghasilkan campuran yang fungsi lindungnya sangat optimal. Campuran gas argon dan helium (80% argon, 20% helium) akan menghasilkan transfer semprot aksial, apabila arus mencapai di atas nilai transisi dan penetrasi yang dalam serta jalur las yang lebar. Pada pengelasan yang menggunakan teknik transfer arus pendek dibutuhkan masukan panas (heat input) yang besar agar terjadi fusi yang baik, disarankan agar digunakan gas pelindung dengan campuran antara argon dan helium (60 hingga 90% helium). Campuran argon dengan sedikit helium umumnya digunakan untuk gas lindung pengelasan stainless steel dan baja paduan rendah. Campuran argon dan helium dengan kandungan helium antara 50 sampai 75 % dapat meningkatkan voltase.

D. Karbon Dioksida (CO₂)

Karbon Dioksida memiliki sifat perpindahan panas yang baik. Menghasilkan penetrasi sangat dalam pada hasil pengelasan tetapi dengan busur yang tidak stabil dan, karena kereaktifannya banyak menimbulkan percikan atau spatter. Karbon dioksida dapat digunakan murni atau campuran dengan 5 sampai 25 argon%, atau sampai dengan 50%. Dengan meningkatnya persentase karbon dioksida dapat meningkatkan lebar dan kedalaman penetrasi hasil dari proses pengelasan (Wiryosumarto, 2000).



Gambar 2. 7 Klasifikasi Gas Pelindung (Wiryosumarto,2000)



Gambar 2. 8 Pengaruh Gas Pelindung Terhadap Penetrasi Hasil Lasan (Wiryosumarto,2000)

2.5.3 Elektroda

Elektroda yang digunakan pada pengelasan GMAW/FCAW yaitu elektroda terumpan yang berfungsi sebagai pencipta busur nyala dan juga sebagai logam pengisi. Besar kecilnya ukuran elektroda tergantung pada bahan yang digunakan dan ukuran tebal bahan. Proses FCAW pada dasarnya adalah GMAW dan yang menjadi pembeda utamanya adalah elektrodanya yang berbentuk tubular yang berisi fluks. Elektroda FCAW-G dapat digunakan untuk mengelas *carbon steel*, *low alloy steel* dan *stainless steel*. Pada AWS A5.36 dijelaskan klasifikasi elektroda E71T1-C1A2- CS1-H5 sebagai berikut:

E : Elektroda

- 7 : Pada AWS A5.36 satu atau dua digit menunjukkan kekuatan tarik minimum (dikalikan dengan 10.000 psi) dari logam las yang diendapkan dengan elektroda dalam kondisi pengelasan yang ditunjukkan dalam spesifikasi ini.
- 1 : Posisi yang digunakan pada saat melakukan proses pengelasan. “0” hanya untuk posisi flat dan horizontal, sementara “1” untuk semua posisi pengelasan (flat, horizontal, vertical up, vertical down, dan overhead).
- T1 : Huruf "T" mengidentifikasinya sebagai fluks berinti atau logam berinti elektroda. Penunjuk ini mengacu pada polaritas yang digunakan dan karakteristik umum pengoperasian. T1 menunjukkan proses FCAW-G dan menggunakan polaritas DCEP dan digunakan dalam posisi flat, horizontal, vertical up, dan overhead.
- C1 : Menunjukkan shielding gas yang digunakan. C1 menggunakan shielding gas 100% CO₂.
- A2 : Merupakan aturan suhu untuk impact test, dimana “A2” menunjukan suhu -20° Celcius.
- CS1 : Merupakan chemical composition yang digunakan untuk memenuhi komposisi baja karbon.
- H5 : Bukan bagian dari penunjukan klasifikasi elektroda tetapi merupakan opsional, penunjuk tambahan yang menunjukkan bahwa logam las memiliki rata-rata hidrogen difusi maksimum 5 mL / 100g

Tabel 2. 2 Komposisi kimia Elektroda E71T1-C1A2-CS1-H5*

Komposisi	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo
Kimia								
Persentase (max %)	0,05	1,27	0,017	0,004	0,52	0,02	0,01	0,01

*AWS A5.36, 2016

2.5.4 Arus Listrik

Arus las merupakan salah satu parameter pengelasan yang dapat mempengaruhi penembusan serta kecepatan dari pencairan logam induk (*weld*

metal). Besarnya arus pengelasan yang digunakan tergantung dari diameter elektroda, tebal material yang akan di las, jenis elektroda yang digunakan, diameter inti elektroda, serta posisi pengelasan. Semakin tinggi arus las maka semakin besar penembusan serta kecepatan yang dihasilkan pada pencairan logam induk. Besar arus ada pengelasan dapat mempengaruhi hasil las, bila arus terlalu rendah maka perpindahan cairan dari ujung elektroda yang dipakai sangat sulit digunakan dan busur listrik menjadi tidak stabil (Wiryosumarto, 2000).

2.5.5 Kecepatan Pengelasan

Kecepatan pengelasan tergantung pada jenis elektroda. Diameter inti elektroda. Bahan yang dilas, geometri sambungan, ketelitian sambungan. Kecepatan las tidak ada hubungannya dengan tegangan tetapi berbanding lurus dengan kuat arus, sehingga pengelasan yang cepat membutuhkan arus las yang tinggi untuk mencapai hasil las yang baik. Jika kecepatan las dinaikkan maka masukan panas per satuan panjang akan menjadi kecil sehingga pendinginan akan berjalan cepat. (Kamal, 2014).

2.6 JIS G3101-SS400

Baja struktural JIS G3101-SS400 memiliki komposisi hampir sama dengan ASTM A36 yang mana termasuk kedalam mild steel. Komposisi dari mild steel umumnya terdiri dari 0,25% 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 di cari.

Mild steel yang banyak digunakan adalah kategori low carbon yang umumnya untuk *forming* dan *packaging*. *Mild steel* dengan kandungan karbon dan mangan yang lebih tinggi juga digunakan untuk produk struktural seperti pelat, barangan, dan structural section (Saputra,2019). Adapun komposisi kimia pada baja JIS SS400 yaitu sebagai berikut :

Tabel 2. 3 Komposisi Kimia JIS G3101-SS400*

Material	Kandungan Unsur (%)							
	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
JIS G3101- SS400	98,98	0,200	0,09	0,53	0,100	0,040	0,030	0,030

*Saputra,2009

Tabel 2. 4 Sifat Mekanik JIS G3101-SS400*

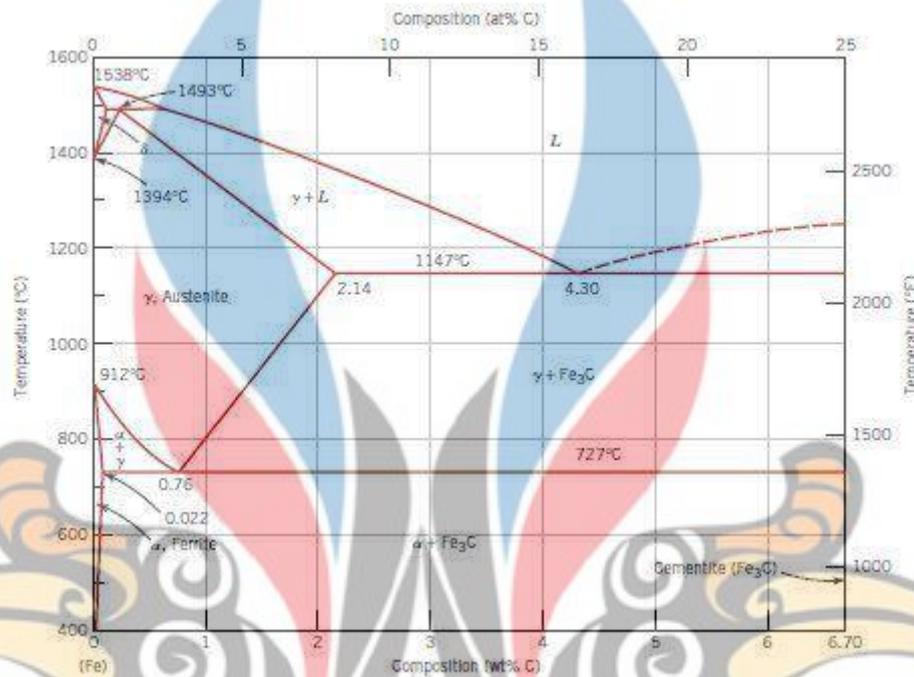
Sifat Mekanik	Nilai
Kekuatan Tarik	228 MPa
Modulus young	70,3 GPa
Kekuatan Luluh	193 MPa
Massa Jenis	2,68 g/cc
Poisson ratio	0,33
Kekerasan Vickers	68 Hv

*Wiryosumatro,2000

2.7 Diagram fasa Fe-Fe₃C

Diagram fasa Fe-Fe₃C merupakan sebagian potongan dari diagram fasa Fe-C. Besi murni selama dipanaskan, mengalami dua perubahan struktur kristal sebelum melebur. Pada temperatur ruangan, bentuk stabil dari besi yang disebut ferit atau besi- α memiliki struktur kristal BCC. Ferit mengalami transformasi isomorfik ke austenit FCC atau besi- γ pada temperatur 912°C (1674°F). Austenit bertahan hingga temperatur 1400°C (2541°F). Pada temperatur tersebut austenite FCC kembali ke fasa BCC yang disebut besi- δ . Hingga akhirnya, besi melebur pada temperatur 1538°C (2800°F). Karbon merupakan sebuah senyawa tak murni yang menyisip ke dalam besi dan membentuk sebuah larutan padat pada masing-masing dari fasa yang terbentuk. Setiap unit sel mengandung sebuah atom karbon yang tersisip. Dalam ferit, hanya karbon dengan konsentrasi yang kecil yaitu maksimum sebesar 0,022% yang dapat terlarut pada temperatur 727°C (1341°F). Batas kelarutan dapat dijelaskan dengan bentuk dan ukuran dari posisi interstitial

BCC. Meskipun karbon yang berada dalam besi memiliki konsentrasi yang relatif rendah, secara signifikan akan mempengaruhi sifat mekanik dari ferit. Ferit memiliki sifat yang relatif lunak dan dapat dimagnetisasi pada temperatur di bawah 768°C (1414°F) serta memiliki massa jenis sebesar 7,88 g/cm³



Gambar 2. 9 Diagram Fasa Fe-Fe₃C (ASM International,1990)

Austenit atau besi- γ , bila hanya dipadukan dengan karbon, akan menjadi tidak stabil di bawah temperatur 727°C (1341°F). Batas kelarutan karbon maksimum di dalam austenit adalah 2,44% pada temperatur 1147°C (2097°F). Batas kelarutan ini kira-kira 100 kali lebih besar daripada ferit karena struktur oktahedral FCC lebih besar daripada struktur tetrahedral BCC. Oleh karena itu, regangan yang dikenakan atom besi di sekitarnya jauh lebih rendah. Besi- δ hampir sama dengan ferit kecuali temperatur dimana masing-masing kedua fasa tersebut terbentuk. Besi- δ hanya stabil di suhu yang relatif tinggi. Sementit (Fe₃C) terbentuk ketika batas kelarutan karbon dalam ferit melebihi 727°C (1341°F). Sementit bersifat sangat keras dan rapuh, sehingga dapat meningkatkan kekuatan baja.

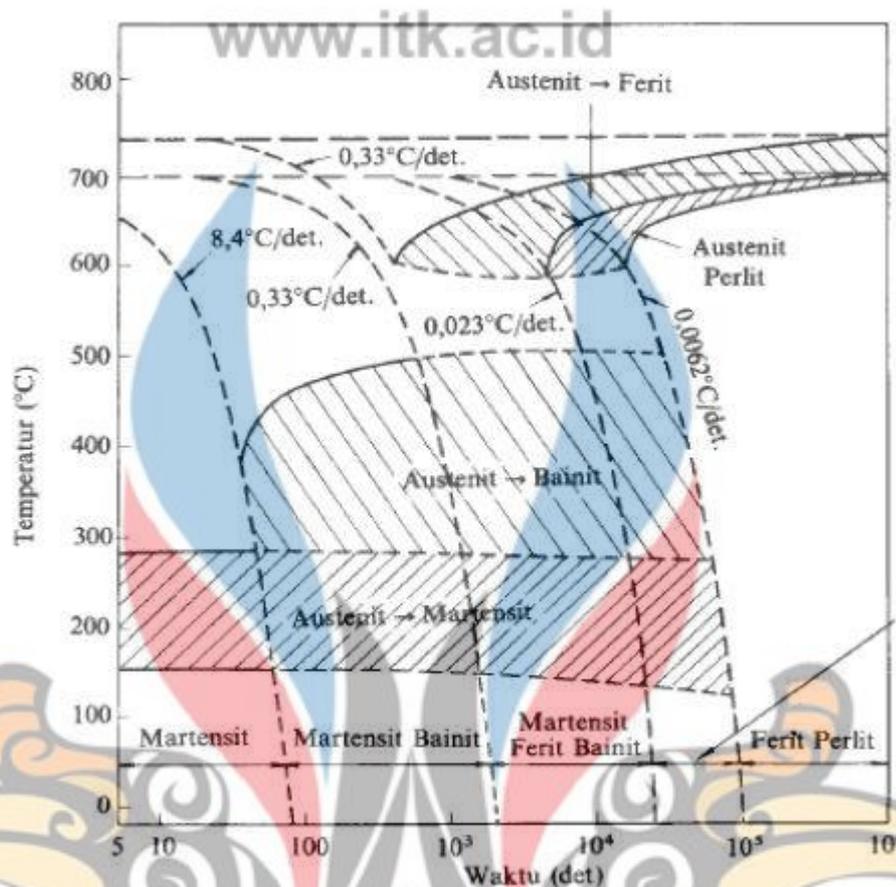
Sementit merupakan fasa metastabil. Artinya, sementit akan tetap sebagai senyawa pada temperatur kamar. Namun, apabila dipanaskan hingga temperatur antara 650°C dan 700°C (1200°F dan 1300°F) selama beberapa tahun, secara

bertahap akan berubah menjadi ferit dan karbon dalam bentuk grafit (Callister, 2014).

2.8 Diagram CCT (Continuous Cooling Transformation)

Pada proses pengelasan, transformasi austenit menjadi ferit merupakan tahap yang paling penting karena akan mempengaruhi struktur logam las, hal ini disebabkan karena sifat-sifat mekanis material ditentukan pada tahap tersebut. Faktor-faktor yang mempengaruhi transformasi austenit menjadi ferit adalah masukan panas, komposisi kimia las, kecepatan pendinginan dan bentuk sambungan las. Struktur mikro dari baja pada umumnya tergantung dari kecepatan pendinginannya dari temperatur daerah austenite sampai suhu kamar. Karena perubahan struktur ini maka dengan sendirinya sifat-sifat mekanik yang dimiliki baja juga akan berubah. Hubungan antara kecepatan pendinginan dan struktur mikro yang terbentuk biasanya digambarkan dalam diagram yang menghubungkan waktu, suhu dan transformasi, diagram tersebut dikenal dengan diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*) (Avner, 1974).





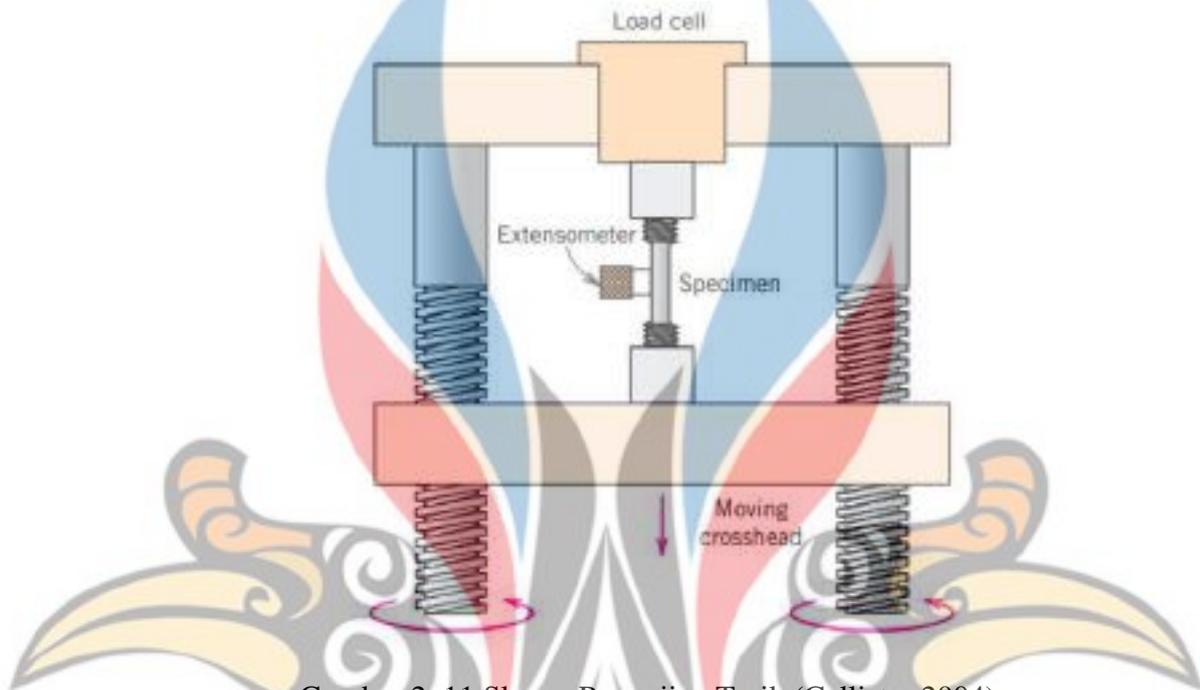
Gambar 2. 10 Diagram CCT (Continuous Cooling Transformation) (Avner 1974)

Contoh diagram CCT ditunjukkan dalam gambar di atas, dari diagram di atas dapat dilihat bahwa bila kecepatan pendinginan naik berarti waktu pendinginan dari suhu austenit turun, struktur akhir yang terjadi berubah campuran ferit – perlit ke campuran ferit - perlit - bainit - martensit, ferit - bainit - martensit, kemudian bainit-martensit dan akhirnya pada kecepatan yang tinggi sekali struktur akhirnya adalah martensit. Struktur mikro dan sifat mekanis akhir lasan sangat ditentukan oleh laju pendinginan. Kecepatan pendinginan kritis atau Critical Cooling Rate (CCR) adalah kecepatan pendinginan dimana pada batas ini cenderung timbulnya retak besar sekali, untuk baja akan terbentuk struktur martensit yang keras dan getas (Wirjosumarto,2000).

2.9 Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan salah satu tes tegangan-regangan mekanik yang paling umum dilakukan. Uji tarik dapat digunakan untuk memastikan beberapa

sifat mekanik bahan yang penting dalam desain, seperti kekuatan tarik, kekuatan luluh, serta keuletan dari material tersebut. Spesimen mengalami deformasi hingga patah, dengan beban tarik yang meningkat secara bertahap yang diterapkan secara uniaksial di sepanjang sumbu panjang spesimen (Gambar 2.10)



Gambar 2. 11 Skema Pengujian Tarik (Callister,2004)

Output dari uji tarik dicatat (biasanya pada komputer) sebagai beban atau gaya versus perpanjangan. Karakteristik beban-deformasi ini tergantung pada ukuran spesimen. Sebagai contoh, diperlukan dua kali beban untuk menghasilkan perpanjangan yang sama jika luas penampang spesimen digandakan. Untuk meminimalkan faktor-faktor geometris ini, beban dan perpanjangan dinormalisasi ke masing-masing parameter tegangan teknik dan regangan teknik. Tegangan teknik didefinisikan oleh persamaan :

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

di mana F adalah beban sesaat yang diterapkan tegak lurus terhadap potongan melintang spesimen, dalam satuan newton (N) atau gaya pound (lbf), dan A₀ adalah luas penampang asli sebelum beban diterapkan (m² atau in.²). Satuan tegangan teknik (selanjutnya disebut sebagai tegangan saja) adalah

megapascal, MPa (SI) (di mana 1 MPa = 10⁶ N / m²), dan pound gaya per inci persegi, psi (Callister, 2014).

Regangan teknik P didefinisikan sesuai dengan persamaan :

$$\frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

di mana l_0 adalah panjang awal sebelum beban diterapkan dan l_i adalah panjang sesaat. Kadang-kadang kuantitas $l_i - l_0$ dilambangkan sebagai Δl dan merupakan pertambahan panjang akibat deformasi. Regangan Teknik (selanjutnya disebut regangan saja) tidak memiliki satuan, tetapi meter per meter atau inci per inci sering digunakan; nilai regangan jelas tidak tergantung pada sistem unit. Kadang-kadang regangan juga dinyatakan sebagai persentase, di mana nilai regangan dikalikan dengan 100 (Callister, 2014).

2.10 Pengujian Metalografi

Pengetahuan metalografi pada dasarnya mempelajari karakteristik struktur dan susunan dari suatu logam atau paduan logam dalam hubungannya dengan suatu analisis. Metalografi merupakan suatu ilmu yang mempelajari karakteristik mikro struktur suatu logam paduan logam dan material lainnya serta hubungannya dengan sifat-sifat material tersebut, baik secara kuantitatif maupun kualitatif dari informasi-informasi yang terdapat dalam material yang dapat diamati, seperti fasa, bentuk/ukuran butir, jarak atom, dislokasi, topografi, dan lainnya. Pada Metalografi, secara umum yang akan diamati adalah dua hal yaitu :

1. Struktur makro adalah struktur dari logam yang terlihat secara makro pada permukaan yang dietsa dari spesimen yang telah dipoles.
2. Struktur mikro adalah struktur dari sebuah permukaan logam yang telah disiapkan secara khusus yang terlihat dengan menggunakan perbesaran minimum 25x.

Dalam preparasi sampel untuk pengujian mikroskopik dilakukan melalui lima tahapan yaitu: (Geels, 2006).

1. Pemotongan

Sampel untuk pengujian metalografi biasanya diambil dari material induk dengan melibatkan operasi pemotongan. Proses pemotongan induk dikerjakan

dengan material abrasive-wheel cutting atau gergaji sehingga diperoleh sampel dengan dimensi sesuai dengan yang dikehendaki. Sampel yang dipotong tersebut harus memenuhi criteria persyarataan untuk metalografi.

2. Pembungkaiian

Tujuan dari pembungkaiian adalah untuk kenyamanan dalam menangani sampel dengan bentuk dan ukuran yang sulit selama proses penggerindaan, pemolesan, dan pengamatan metalografi. Tujuan kedua adalah melindungi ujung-ujung ekstrim dan cacat permukaan selama proses metalografi. Selain itu pembungkaiian juga digunakan sebagai sarana untuk menangani sampel radioaktif.

3. Penggerindaan

Penggerindaan dilakukan untuk mengeliminasi sisi-sisi tajam dan goresan dari sampel Qxx akibat proses pemotongan. Proses penggerindaan dilakukan dengan menggunakan kertas gerinda grade 80, 100, 120, 240, 320, 500, 800, 1000, 1200, 1500 dan 2000 dengan penggantian bertahap. Ketika dilakukan penggantian kertas gerindra posisi sampel harus diputar 90° dari posisi sampel ketika menggunakan kertas gerindra grade sebelumnya. Perlakuan ini ditujukan untuk menghilangkan goresan yang mungkin terbentuk ketika dilakukan penggerindaan.

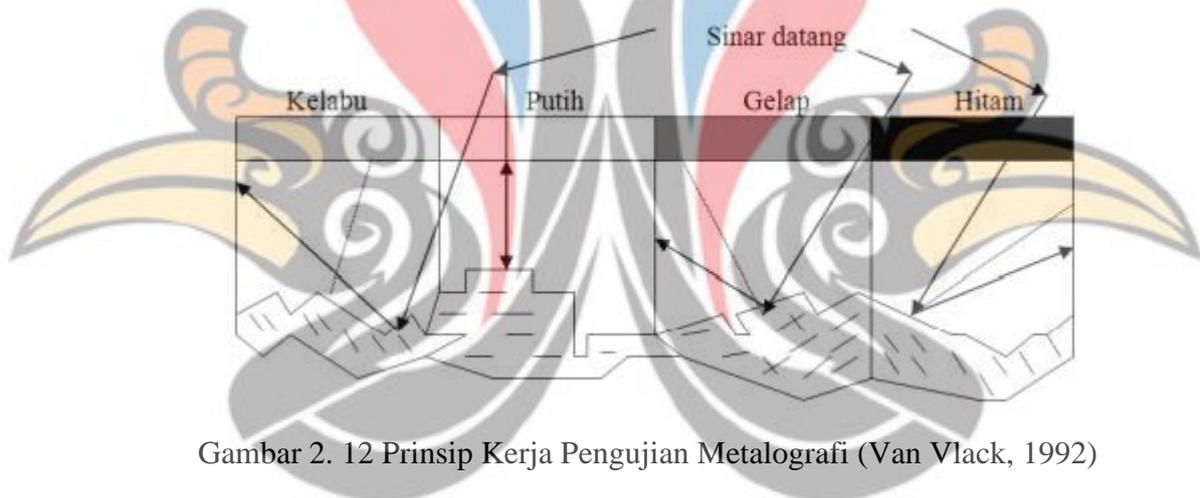
4. Pemolesan

Pemolesan merupakan tahapan yang dilakukan untuk menyempurnakan hasil dari proses penggerindaan. Pada proses ini akan terjadi penghapusan goresan- goresan halus yang mungkin tersisa dari proses penggerindaan. Sehingga melalui proses pemolesan ini akan didapatkan sampel yang bebas dari goresan yang dapat menyebabkan hasil tidak maksimal saat metalografi. Pada umumnya pemolesan dilakukan dengan pasta abrasive seperti dengan menggunakan pasta alumina dan pasta intan.

5. Pengetsaan

Pengetsaan adalah suatu proses yang dilakukan untuk menampakkan batas- batas butir yang terbentuk pada logam. Prinsip dasar pengetsaan adalah melalui proses korosi terkendali. Pengendalian ini dapat berupa pengendalian waktu dan pengendalian bahan korosif yang digunakan. Proses terjadinya perbedaan warna, besar butir, bentuk dan ukuran butir yang mendasari penentuan

dari jenis dan sifat fasa pada hasil pengamatan foto mikro adalah di akibatkan adanya proses pengetsaan. Salah satu jenis bahan yang digunakan dalam pengetsaan adalah Aqua Regia. Prinsip dari pengetsaan sebenarnya merupakan proses pengikisan mikro terkendali yang menghasilkan alur pada permukaan akibat crystal faceting yaitu orientasi kristal yang berbeda (batas butir), akan terjadi reaksi kimia yang berbeda intensitasnya. Maka atomatomnya akan lebih mudah terlepas sehingga terkikis lebih aman. Akibatnya adanya perbedaan ini dan bergantung pada arah cahaya pantulan yang tertangkap oleh lensa maka akan tampak bahwa fasa yang lebih lunak akan terlihat lebih terang dan fasa yang lebih keras akan terlihat gelap. Begitu juga akan terlihat bentuk dan ukuran butirannya sehingga dapat dibedakan fasa-fasa yang terlihat dalam bahan yang akan diuji (Van Vlack, 1992).



Gambar 2. 12 Prinsip Kerja Pengujian Metalografi (Van Vlack, 1992)

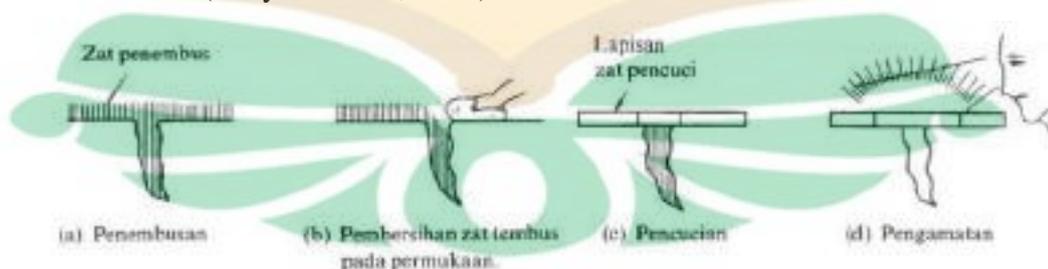
Secara umum prinsip kerja mikroskop optik adalah sinar datang yang berasal dari sumber cahaya melewati lensa kondensor, lalu sinar datang itu menuju glass plane yang akan memantulkannya menuju sampel. Sebelum mencapai sampel, sinar datang melewati beberapa lensa pembesar. Kemudian sinar datang tersebut sebagian akan dipantulkan kembali, sedangkan sebagian lagi akan menyimpang akibat mengenai permukaan yang telah terkorosi pada saat pengetsaan. Sinar datang yang dipantulkan kembali ke mikroskop optik akan diteruskan ke lensa okuler sehingga dapat diamati (Van Vlack,1992).

2.11 Pengujian Makro (*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 talenjang. Sehingga pengujian ini hanya dilihat dari 28 bagian luar dan mengamati 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 adanya keterbatasan terhadap penglihatan inspektor. Dimana 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. (Beumer, 1994)

2.12 *Liquid Penetrant Test*

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 2.12. Cara ini adalah cara yang murah, cepat dan mudah. Penggunaan yang paling tepat adalah untuk menguji logam-logam bukan magnet dimana penggunaan cara dengan magnet tidak dapat dilakukan. Berikut merupakan gambar mengenai proses pengujian Liquid Penetrant Test (Wiryosumarto, 2000)



Gambar 2. 13 Pengujian *Liquid Penetrant Test* (Wiryosumarto, 2000)

2.13 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah rangkuman hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan.

Tabel 2. 5 Daftar Peneliti Terdahulu

Nama dan Tahun Publikasi		Hasil
Mathews Yose Pratama, Untung Budiarto, Sarjito Jokosisworo, 2019	Metode : Hasil :	Pengelasan FCAW (Flux Cored Arc Welding) dengan Variasi Jenis Kampuh Kekuatan rata-rata tegangan tarik maksimum tertinggi yang dihasilkan dari sambungan las FCAW (Flux-Cored Arc Welding) adalah kampuh V posisi 2G yaitu 411,66 MPa dengan kampuh V posisi 1G adalah 410 MPa, dan Raw material yaitu 391 MPa. Rata-rata regangan tarik tertinggi dari sambungan las FCAW (Flux-Cored Arc Welding) adalah Raw material yaitu 47% dengan kampuh V posisi pengelasan 1G adalah 41,67%, kampuh V posisi pengelasan 2G 42,66%.
Muhammad Farid Anshori, Suharno, Yuyun Estriyanto (2017)	Metode : Hasil :	Pengaruh Variasi Besar Sudut Kampuh V Tunggal Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Material Baja SS400 Menggunakan Metode SMAW Terdapat pengaruh besar sudut kampuh terhadap nilai kekuatan Tarik hasil pengelasan paduan baja SS400 dengan

besar sudut kampuh 50° , 60° dan 70° .

Spesimen dengan besar sudut 70° mempunyai tingkat rata-rata kekuatan Tarik yang lebih tinggi yaitu 432,51 MPa. Untuk sudut kampuh 50° sebesar 407,56 MPa dan 60° sebesar 425,69 MPa. Kemudian untuk hasil mikrostruktur yang didapatkan pada sudut 70° , struktur mikro acicular ferrite (AF) dan grain boundary ferrite (GF) lebih mendominasi dibandingkan dengan sudut 50° dan 60°

Bagus Bagaskara, Sri Mulyo	Metode	:	Pengaruh Posisi Pengelasan SMAW Terhadap Kekuatan Tarik, Foto Makro Dan Mikro Pada Baja SS400
----------------------------------	--------	---	---

Bondan Respati ,2020	Hasil	:	Berdasarkan pengujian yang dilakukan, nilai kekuatan tarik tertinggi pada posisi 1G yaitu sebesar 35,947 Kgf/mm ² dimana hasil tersebut hampir mendekati material asli atau raw material yaitu dengan nilai kekuatan tarik sebesar 35,327 Kgf/mm ² . Dari hasil pengamatan struktur mikro dapat disimpulkan bahwa struktur mikro pada baja hollow didapatkan fase ferit dan perlit, sedangkan struktur mikro setelah dilas dengan media pendingin udara didapatkan fase ferit dan perlit yang mendominasi
-------------------------	-------	---	---

baik pada daerah Las dan HAZ,
dikarenakan pada penelitian ini
hanya menggunakan pendinginan
udara.

