

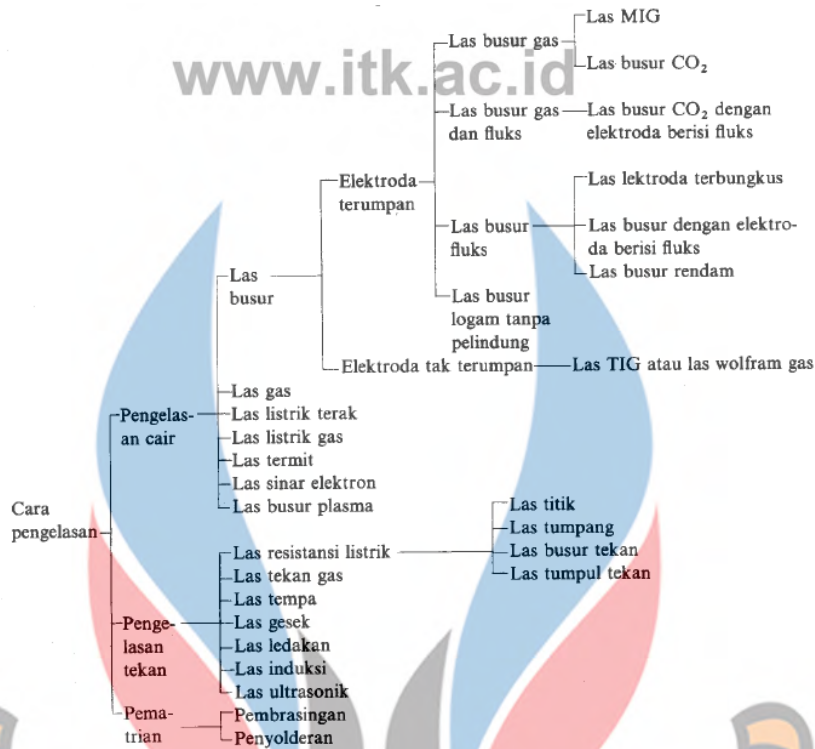
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab 2 tinjauan pustaka ini akan dijelaskan mengenai keterkaitan beberapa referensi terhadap penelitian “Studi Awal Pengelasan Kombinasi GMAW-FCAW dengan Variasi Arus *Weld Metal* Menggunakan Metode *Wire Arc Additive Manufacturing* (WAAM) Terhadap Nilai Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro”. Bab 2 ini meliputi beberapa aspek bahasan, diantaranya adalah pengertian pengelasan, parameter pengelasan, pengelasan GMAW, pengelasan FCAW, *weld metal*, pengujian tarik, dan pengujian metalografi.

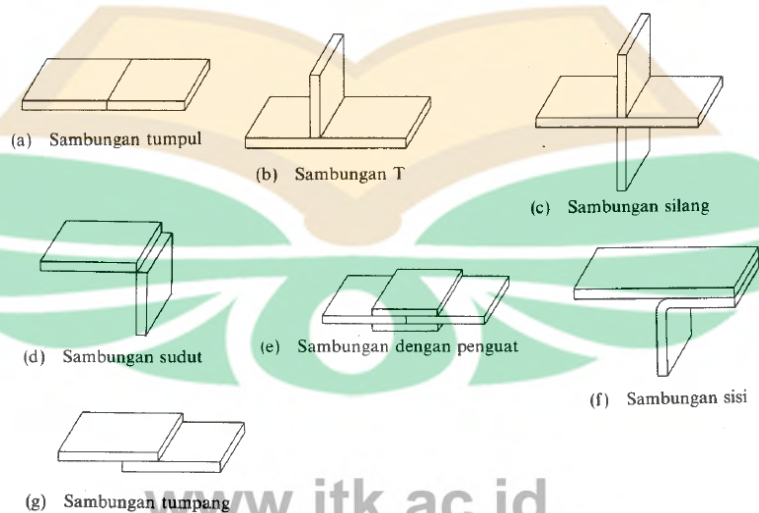
2.1 Pengelasan (*Welding*)

Definisi pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Norman*) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Secara konvensional pengelasan dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis utama, yaitu pengelasan cair, pengelasan tekan dan pematrian. Pengelasan cair adalah pengelasan di mana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar. Pengelasan tekan adalah cara pengelasan di mana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu. Pematrian adalah cara pengelasan di mana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah, dalam cara ini logam induk tidak turut mencair (Wiryosumarto, 2000).



Gambar 2. 1 Klasifikasi Pengelasan (Wiryosumarto, 2000)

Sambungan pengelasan pada dasarnya dibagi menjadi beberapa sambungan dasar, yaitu sambungan tumpul, sambungan T, sambungan sudut dan sambungan tumpang. Jenis sambungan tersebut berkembang menjadi sambungan silang, sambungan dengan penguat dan sambungan sisi. Pemilihan jenis sambungan ini harus disesuaikan dengan penggunaannya secara tepat dengan mempertimbangkan bahwa jenis sambungan tersebut harus dapat menerima beban statis maupun dinamis (Wiryosumarto, 2000).

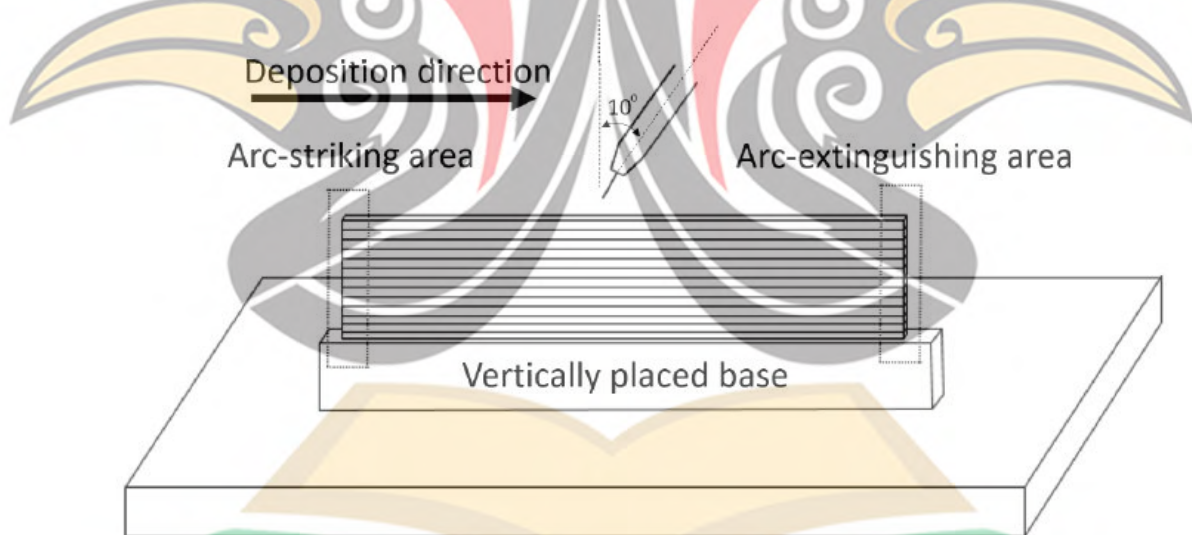


Gambar 2. 2 Jenis-jenis Sambungan Las (Wiryosumarto, 2000)

2.2 *Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM)*

Proses pembuatan benda dengan metode lapis demi lapis hingga menjadi bentuk yang diinginkan disebut sebagai manufaktur aditif. Proses pembuatan dengan menambahkan bahan lapis demi lapis merupakan cara pembuatan yang lebih efisien dari segi waktu dan biaya dibandingkan dengan pembuatan subtraktif konvensional (Hoefler, 2018). Aditif manufaktur digunakan untuk pembuatan suku cadang, dan juga dapat digunakan untuk memperbaiki suku cadang yang rusak (Busachi, 2017).

Pada pengelasan juga terdapat metode aditif manufaktur yang dikenal dengan *Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM)*. Proses pengelasan ini bekerja dengan melelehkan kawat elektroda dan pelat baja sebagai substrat dengan busur listrik untuk menghasilkan material di atas substrat. Material akan dibentuk lapis demi lapis hingga mendapatkan bentuk yang diinginkan. Selain itu, selama proses berlangsung hasil pengelasan akan dilindungi dengan gas pelindung untuk mencegah kontaminasi dari gas atmosfer (Pan, 2018).



Gambar 2. 3 Skema Pengelasan Metode WAAM (Waqas, 2019)

2.3 **Parameter Pengelasan**

Dalam proses pengelasan, terdapat beberapa faktor dan parameter yang harus diperhatikan. Beberapa parameter tersebut adalah pengaruh arus, polaritas, kecepatan pengelasan, dan gas pelindung (Jones, 2015).

2.2.1 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 yang lebih tinggi cenderung menghasilkan penetrasi yang lebih dalam pada proses pengelasan.
2. Dengan peningkatan arus akan menyebabkan meningkatnya kecepatan masukan panas maksimum ke daerah lasan di bawah 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, jenis elektroda dan diameter inti elektroda (Kou, 2003).

2.2.2 Polaritas

Arus listrik akan menimbulkan bunga api pada elektroda las yang berhubungan dengan bagian yang akan dilas sehingga terjadi panas yang akan melelehkan logam. Pada mesin las terdapat tiga jenis arus yang sering digunakan dalam pengelasan yaitu mesin las arus searah atau *Direct Current* (DC), mesin las arus bolak-balik atau *Alternating Current* (AC), maupun arus AC-DC. Mesin las DC polaritas lurus (DC-) digunakan bila titik cair bahan induk tinggi dan kapasitas besar, untuk pemegang elektroda 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 elektroda 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 (Jones, 2015).

2.2.3 Kecepatan Pengelasan

Kecepatan pengelasan tergantung jenis elektroda, diameter inti elektroda, bahan yang dilas, geometri sambungan, ketelitian sambungan dari lain-lainnya. Dalam hal hubungannya dengan tegangan dari arus las, dapat dikatakan bahwa kecepatan las hampir tidak ada hubungannya dengan tegangan las tetapi berbanding lurus dengan arus las. Karena itu pengelasan yang cepat memerlukan arus las yang tinggi. Bila tegangan dari arus dibuat tetap, sedang kecepatan pengelasan dinaikkan maka jumlah deposit per satuan panjang las jadi menurun. Tetapi di samping itu sampai pada suatu kecepatan tertentu, kenaikan kecepatan akan memperbesar penembusan. Bila kecepatan pengelasan dinaikkan terus maka masukan panas per satuan panjang juga akan menjadi kecil, sehingga pendinginan akan berjalan terlalu cepat (Kou, 2003).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Maret, dkk (2019) dengan menggunakan variasi kecepatan pengelasan 1 rpm, 1,5 rpm, dan 2 rpm. Didapatkan nilai kekerasan tertinggi pada daerah *weld metal* dengan kecepatan pengelasan 2 rpm sebesar 164,33 HV, sedangkan nilai kekerasan tertinggi pada daerah HAZ didapatkan dengan kecepatan pengelasan 2 rpm sebesar 161,33 HV. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan pengelasan yang digunakan akan meningkatkan nilai kekerasan. Penelitian lain yang dilakukan oleh Jufri, dkk (2017) dengan menggunakan variasi kecepatan pengelasan 6 mm/s, 7 mm/s, dan 8 mm/s. Pada kecepatan 6 mm/s didapatkan nilai kekuatan tarik maksimum sebesar 463,286 MPa dan kekuatan tarik luluh maksimum sebesar 360,761 MPa. Pada kecepatan 7 mm/s didapatkan nilai kekuatan tarik maksimum sebesar 461,392 MPa dan kekuatan tarik luluh maksimum sebesar 359,285 MPa. Pada kecepatan 8 mm/s didapatkan nilai kekuatan tarik maksimum sebesar 450,403 MPa dan kekuatan tarik luluh maksimum sebesar 350,728 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan pengelasan yang digunakan akan menurunkan nilai kekuatan tarik maksimum dari sambungan hasil pengelasan.

2.2.1 Gas Pelindung

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 (Wiryosumarto, 2000). Terdapat beberapa jenis gas pelindung yang sering digunakan yaitu:

A. Argon (Ar)

Argon merupakan gas *inert* yang monoatomik, 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)

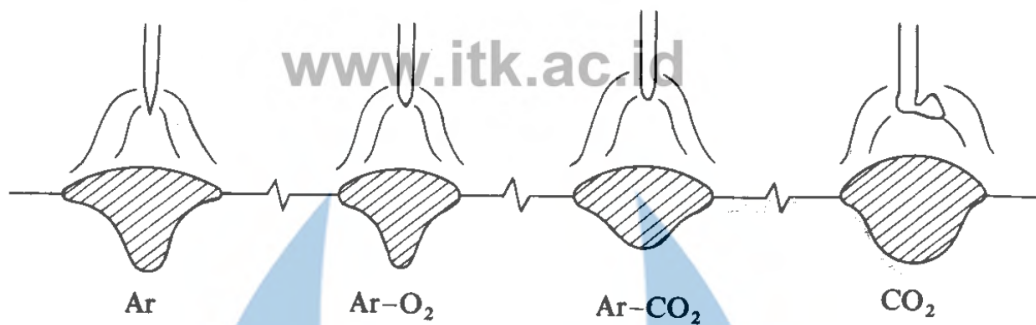
Helium merupakan gas *inert* yang monoatomik dan sangat ringan, didapat dari pemisahan gas alam, apabila digunakan pada proses pengelasan harus dilakukan pemurnian menjadi 99,99%. Helium lebih banyak menghantarkan panas daripada argon. Dengan tenaga panas yang lebih tinggi tersebut, helium banyak digunakan untuk pengelasan dengan menggunakan tenaga mekanis.

C. Campuran Argon dan Helium

Kombinasi antara argon dan helium kedua akan menghasilkan campuran yang fungsi lindungnya sangat optimal. Hal ini dikarenakan argon memiliki berat sekitar 10x 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. Campuran argon dengan sedikit helium umumnya digunakan untuk gas lindung pengelasan *stainless steel* dan baja paduan rendah.

D. Karbon Dioksida (CO₂)

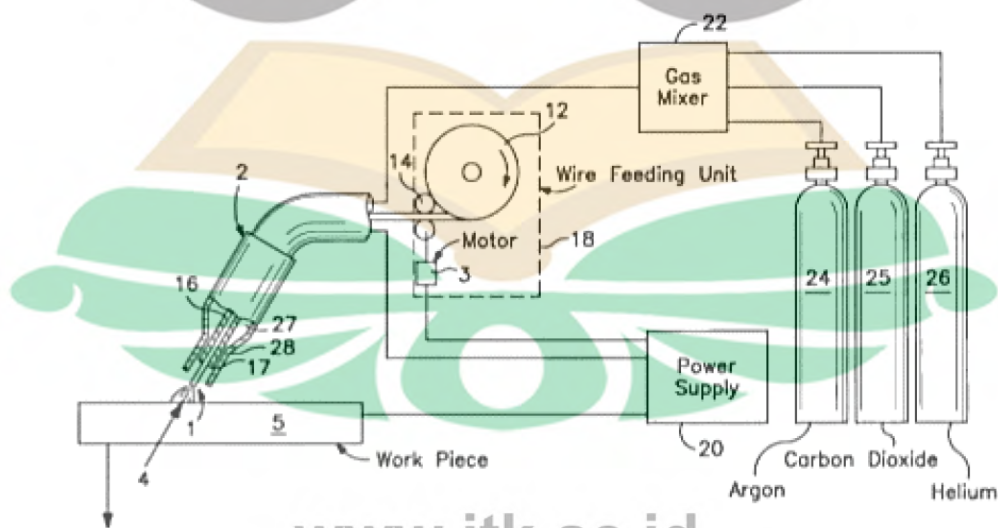
Karbon dioksida memiliki sifat perpindahan panas yang baik. Menghasilkan penetrasi sangat dalam pada hasil pengelasan tetapi dengan busur yang tidak stabil dan, karena kereaktifannya banyak menimbulkan percikan atau *spatter*. Karbon dioksida dapat digunakan murni atau campuran dengan 5 sampai 25 argon%,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



Gambar 2. 4 Pengaruh Gas Pelindung Terhadap Penetrasi Hasil Lasan
(Wirjosumarto, 2000)

2.4 Gas Metal Arc Welding (GMAW)

Pengelasan *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) atau biasa disebut *Metal Inert Gas* (MIG) merupakan jenis proses penyambungan dua buah logam atau lebih yang sejenis dengan menggunakan bahan tambah yang berupa kawat gulungan dan gas pelindung melalui proses pencairan dimana elektroda kawat nya biasanya digunakan tidak terbungkus dan mempunyai sifat suplainya terus menerus. Gas pelindung dalam proses pengelasan ini berfungsi sebagai pelindung dari proses oksidasi, yaitu pengaruh udara luar yang dapat mempengaruhi kualitas las. Gas yang digunakan dalam proses pengelasan ini dapat menggunakan gas Argon, helium, Karbon monoksida, Argon+helium, Argon+Karbon monoksida dan sebagainya. Pengelasan GMAW dapat menggunakan gas Argon (Ar) yang biasa disebut MAG ataupun karbon dioksida (CO₂) yang biasa disebut MIG.



Gambar 2. 5 Skema Pengelasan GMAW

Pengelasan GMAW mempunyai dua tipe gas pelindung yaitu *inert* gas dan aktif gas yang kemudian sering dikenal dengan sebutan las MIG (*metal inert gas*) dan las MAG (*metal active gas*). Pada tahun 1953, Lyubavskii dan Novoshilov mengumumkan penggunaan proses las MIG menggunakan gas CO₂ sebagai gas pelindung. Mereka juga menggunakan gas CO₂ untuk mengelas besi karbon. Perkembangannya dari tahun ke tahun mengalami peningkatan, dengan kemajuan teknologi saat ini GMAW dapat diaplikasikan pada proses pengelasan dengan Sistem Otomasi (robot).

Elektroda yang digunakan pada pengelasan GMAW merupakan elektroda terumpan yang berfungsi sebagai pencipta busur nyala dan juga sebagai logam pengisi. Pada penelitian ini, elektroda yang akan digunakan adalah ER70S-6. Pada AWS A5.18 tahun 2005, dijelaskan mengenai spesifikasi elektroda ER70S-6 sebagai berikut:

- ER : Elektroda atau *rod*.
- 70 : Menunjukkan kekuatan tarik (dikalikan 1000 psi), maka kekuatan tarik elektroda ER70S-6 sebesar 70.000 psi atau setara dengan 480 MPa.
- S : Menunjukkan bahwa elektroda tersebut solid (S).
- 6 : Menunjukkan komposisi kimia pada elektroda solid.

Tabel 2. 1 Komposisi Kimia Elektroda ER70S-6*)

Komposisi Kimia	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Cu
Persentase (max %)	0.06 to 0.15	1.4 to 1.85	0.80 to 1.15	0.025	0.035	0.15	0.15	0.15	0.03	0.50

*) AWS A5.18, (2005)

Tabel 2. 2 Sifat Mekanik Elektroda ER70S-6*)

Elektroda	Tensile Test			Charpy V-Notch Impact Test
ER70S-6	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	@ -30°C
	400	480	22	27 J

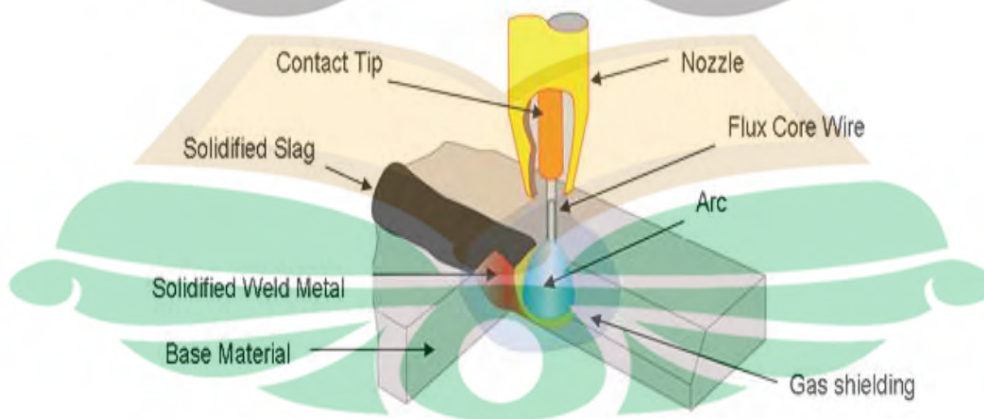
*) AWS A5.18, (2005)

www.itk.ac.id

2.5 Flux Core Arc Welding (FCAW)

Pengelasan *Flux Core Arc Welding* (FCAW) merupakan pengelasan busur listrik yang terbentuk antara *weld pool* dan elektroda terumpan dengan pelindung fluks yang terdapat di dalam elektroda yang berongga, proses pengelasan ini dapat dilakukan tanpa tekanan dan dapat diberi tambahan gas CO₂ sebagai pelindung dari proses pengelasan. Pada prinsip nya proses pengelasan FCAW sama dengan proses pengelasan *Gas Metal Arc Welding* (GMAW). Perbedaannya adalah elektroda (kawat las) yang diisi dengan fluks (atau disebut *flux-core*). Elektroda FCAW menghasilkan busur listrik yang lebih stabil dalam proses pengelasan, garis bentuk lasan lebih baik dan menghasilkan sifat-sifat mekanik yang baik pada logam lasan. (Welding Handbook, 2001).

Pada proses pengelasan FCAW, kawat pengisi fluks dimasukkan melalui gagang las (*torch*), yang mana peralatan yang digunakan tipenya sama dengan yang digunakan pada pengelasan GMAW. Fluks yang terdapat dibagian dalam kawat menghasilkan terak yang dapat melindungi lasan dari atmosfer. Penggunaan gas pelindung berfungsi melindungi daerah lasan. Pengelasan FCAW bersifat ekonomis karena proses pengelasannya dapat dilakukan dengan kecepatan yang tinggi, dimana hal tersebut sesuai untuk pengelasan pada posisi sulit (*out-of position*), serta dengan ketebalan logam yang bervariasi (Wiryo Sumarto, 2000).



Gambar 2. 6 Skema Pengelasan FCAW (Pratama, 2019)

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 menghasilkan penetrasi yang lebih dalam. Tetapi untuk menghindari logam las terjadi kontaminasi dengan udara luar atau menghindari porositas maka harus dilakukan pemilihan fluks yang mempunyai sifat pengikat oxygen atau deoxidizer (Wiryo Sumarto, 2000).

Perbedaan terbesar antara pengelasan GMAW dan FCAW terdapat pada elektroda. Elektroda FCAW berbentuk tubular yang berisi fluks untuk melindungi logam las agar tidak terkontaminasi oleh udara. Pada penelitian ini, elektroda yang digunakan adalah E71T1-C1A2-CS1-H4. Penjelasan mengenai elektroda E71T1-C1A2-CS1-H4 terdapat dalam AWS A5.36 sebagai berikut:

- E : Elektroda
- 7 : Menunjukkan kekuatan tarik elektroda (dikalikan 10.000 psi), maka kekuatan tarik elektroda E71T1-C1A2-CS1-H4 sebesar 70.000 psi atau setara dengan 480 MPa.
- 1 : Menunjukkan posisi pengelasan, 1 menandakan bahwa dapat dilakukan dengan semua posisi pengelasan, sedangkan 0 hanya dapat digunakan dengan posisi *flat* dan *horizontal*.
- T : Menunjukkan bahwa elektroda tubular
- 1 : Polaritas yang digunakan, 1 menunjukkan polaritas yang digunakan adalah DCEP.
- C1 : Menunjukkan bahwa gas pelindung yang digunakan adalah 100% CO₂.
- A2 : Menunjukkan aturan suhu uji impak, dimana A2 menunjukkan suhu -20°C.
- CS1 : Menunjukkan komposisi kimia yang digunakan untuk memenuhi komposisi baja karbon.
- H4 : Penunjuk tambahan bahwa logam las memiliki rata-rata hidrogen difusi maksimum 4 mL / 100g.

Tabel 2. 3 Komposisi Kimia Elektroda E71T1-C1A2-CS1-H4*)

Komposisi Kimia	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo
Persentase (max%)	0.05	1.27	0.017	0.004	0.52	0.02	0.01	0.01

*) AWS A5.36, (2016)

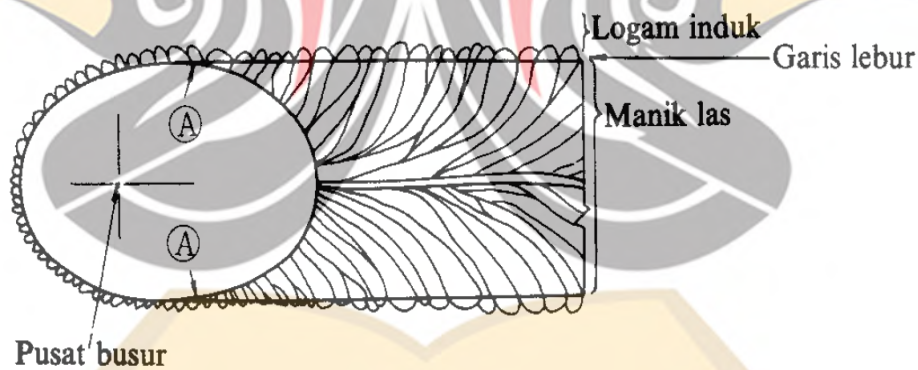
Tabel 2. 4 Sifat Mekanik Elektroda E71T1-C1A2-CS1-H4 *)

Elektroda	Tensile Test			Charpy V-Notch
	Tensile Strength	Yield Strength	Elongation	Impact Test
E71T1- C1A2- CS1-H4	(MPa)	(MPa)	(%)	@ -20°C
	480 - 620	400 - 530	26	27 J

*) AWS A5.36, (2016)

2.6 Weld Metal

Weld Metal (WM) atau logam las, merupakan daerah yang mengalami pencairan dan membeku kembali sehingga menyebabkan perubahan struktur mikro dan sifat mekaniknya. Pembekuan logam las di mulai dari dinding logam induk yang dipersamakan dengan dinding cetakan pada pengecoran. Hanya saja dalam pengelasan, logam las harus menjadi satu dengan logam induk, sedangkan dalam pengecoran yang terjadi harus sebaliknya. Gambar 2.6 menunjukkan skematik proses pertumbuhan dari kristal-kristal logam las yang berbentuk pilar.



Gambar 2. 7 Skematik Arah Pembekuan Logam Las (Wiryosumarto, 2000)

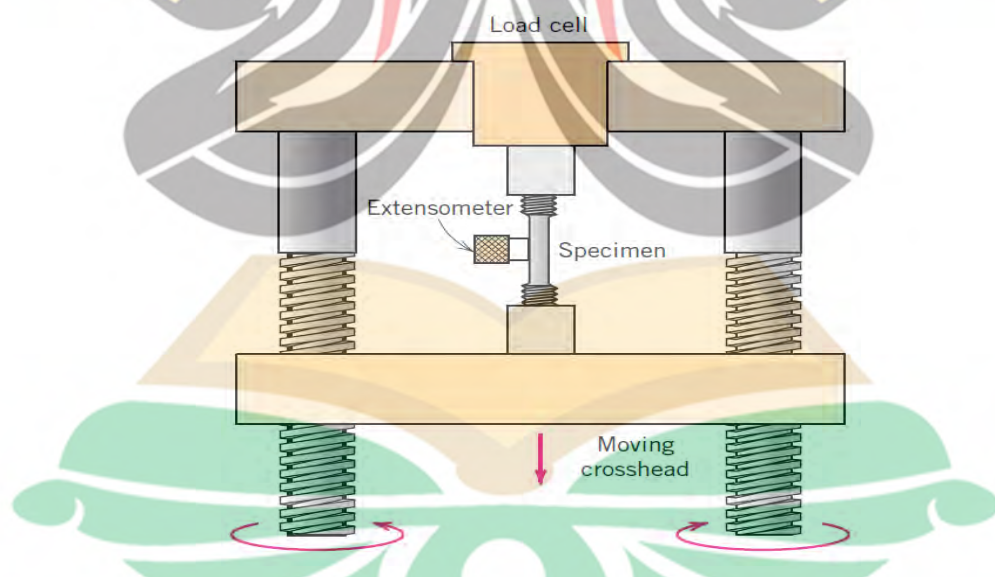
Titik A dari gambar 2.7 adalah titik mula dari struktur pilar yang selalu terletak dalam logam induk. Titik ini tumbuh menjadi garis lebur dengan arah yang sama dengan gerakan sumber panas. Pada garis lebur sebagian dari logam dasar turut mencair dan selama proses pembekuan logam las tumbuh pada butir-butir logam induk dengan sumbu kristal yang sama (Wiryosumarto, 2000).

Daerah *weld metal* mengalami siklus *thermal* akibat pengelasan. Siklus *thermal* merupakan pemanasan dan pendinginan cepat yang terjadi akibat dari

pengelasan (Wijoyo dan Bayu, 2015). Penelitian yang dilakukan oleh Wijoyo dan Bayu (2015), dengan menggunakan pengelasan GMAW pada arus 80A, daerah *weld metal* memiliki struktur mikro yang lebih halus dan rapat, dengan dominasi *cementite* dan *pearlite* yang berkurang. Sedangkan pada penelitian lain yang dilakukan oleh Tampubolon, dkk (2019), dengan menggunakan pengelasan FCAW pada arus 150A, daerah *weld metal* di dominasi oleh fasa *ferrite* dan *pearlite*. Fasa *ferrite* berwarna putih dan memiliki elastisitas yang baik. Sedangkan fasa *pearlite* berwarna gelap dan bersifat keras (Tampubolon dkk, 2019).

2.7 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 2.7).



Gambar 2. 8 Pengujian Tarik (Callister, 2014)

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 A_0 adalah luas penampang asli sebelum beban diterapkan (m^2 atau $in.^2$). Satuan tegangan teknik (selanjutnya disebut sebagai tegangan saja) adalah megapascal, MPa (SI) (dimana $1 \text{ MPa} = 106 \text{ N} / m^2$), dan *pound* gaya per inci persegi, psi. Regangan teknik P didefinisikan sesuai dengan persamaan:

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

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 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).

2.8 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.

Menurut Geels (2006), terdapat 5 tahapan dalam preparasi sampel untuk pengujian mikroskopik yaitu:

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 persyaratan untuk metalografi.

2. *Mounting*

Tujuan dari *mounting* 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 *mounting* juga digunakan sebagai sarana untuk menangani sampel radioaktif.

3. Pengamplasan

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

4. Pemolesan

Pemolesan merupakan tahapan yang dilakukan untuk menyempurnakan hasil dari proses pengamplasan. Pada proses ini akan terjadi penghapusan goresan- goresan halus yang mungkin tersisa dari proses pengamplasan. 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. 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 atom-atomnya 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).

2.9 Penelitian Terdahulu

Berikut merupakan rangkuman hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan.

Tabel 2. 5 Penelitian Terdahulu

No.	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
1.	Waqas Ali, dkk, 2019	Metode: Elektroda yang digunakan yaitu ER70S-6 dengan metode pengelasan GMAW otomatis yang dibuat secara bertumpuk dengan variasi arah deposisi spesimen. Hasil: Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa spesimen dengan arah deposisi sejajar memiliki kekuatan

tarik dan keuletan yang lebih baik di bandingkan arah tegak lurus.

www.itk.ac.id

2. Aldalur E. dkk, 2020
Metode: Elektroda yang digunakan yaitu ER70S-6 dengan pengelasan GMAW otomatis dan menggunakan gas pelindung 80% Ar – 20% CO₂. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan deposisi bertumpuk dan deposisi osilasi secara horizontal dan vertikal.
Hasil: Hasil pengujian tarik menunjukkan nilai UTS deposisi bertumpuk secara horizontal sebesar 498 MPa, nilai *yield strength* sebesar 368 MPa dan elongasi 36%. Pada deposisi bertumpuk secara vertikal menghasilkan nilai UTS sebesar 501 MPa, nilai *yield strength* sebesar 368 MPa, dan elongasi 32%. Sedangkan hasil pengujian tarik dengan deposisi osilasi pada arah horizontal menghasilkan nilai UTS sebesar 478 MPa, nilai *yield strength* sebesar 354 MPa, dan elongasi 38%. Pada deposisi osilasi arah vertikal menghasilkan nilai UTS sebesar 474 MPa, nilai *yield strength* sebesar 338 MPa, dan elongasi 36%.

 3. Waqas, Ali dkk, 2018
Metode: Elektroda yang digunakan yaitu ER70S-6 dengan metode pengelasan GMAW otomatis yang dibuat secara bertumpuk dengan variasi arah deposisi spesimen.
Hasil: Pengujian struktur mikro menunjukkan struktur yang seragam secara keseluruhan. Sifat seragam diharapkan di kedua arah deposisi, sejajar dan tegak lurus. Jumlah ukuran butir rata-rata yang dihitung sesuai standar ASTM E112-12 adalah 10,5. Kehalusan grain ini dikarenakan adanya efek preheat dan post heat dari masing-masing lapisan berturut-turut selama proses pengelasan.

 4. Sufyani Rosyidin,
Metode: Pengelasan FCAW menggunakan elektroda E71T1 dengan variasi arus 100A, 190A, dan 280A
-

Yerico menggunakan material ST 37.
Leonard B, Hasil: Pengujian kekerasan menunjukkan bahwa semakin
2018 tinggi arus pengelasan yang digunakan akan meningkatkan nilai kekerasan pada daerah *weld metal*. Hal ini ditunjukkan dengan rata-rata nilai kekerasan *weld metal* pada arus 100A sebesar 184,8 HB, pada arus 190A rata-rata nilai kekerasan yang didapatkan sebesar 186,76 HB, sedangkan pada arus 290A didapatkan nilai kekerasan sebesar 198,82 HB.



www.itk.ac.id