

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab 2 tinjauan pustaka ini akan dijelaskan mengenai keterkaitan beberapa referensi terhadap penelitian “Studi Awal Pengaruh Variasi Arus Weld Metal Kombinasi GMAW-FCAW Dengan Metode Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) Terhadap Nilai Ketangguhan, Kekerasan, dan Struktur Mikro”. Bab 2 ini meliputi beberapa aspek bahasan, diantaranya: pengertian pengelasan, Wire Arc Additive Manufacturing, GMAW, FCAW, parameter pengelasan, pengujian pekerasan, pengujian impak, pengujian metalografi, logam las, penelitian terdahulu.

2.1 Pengelasan

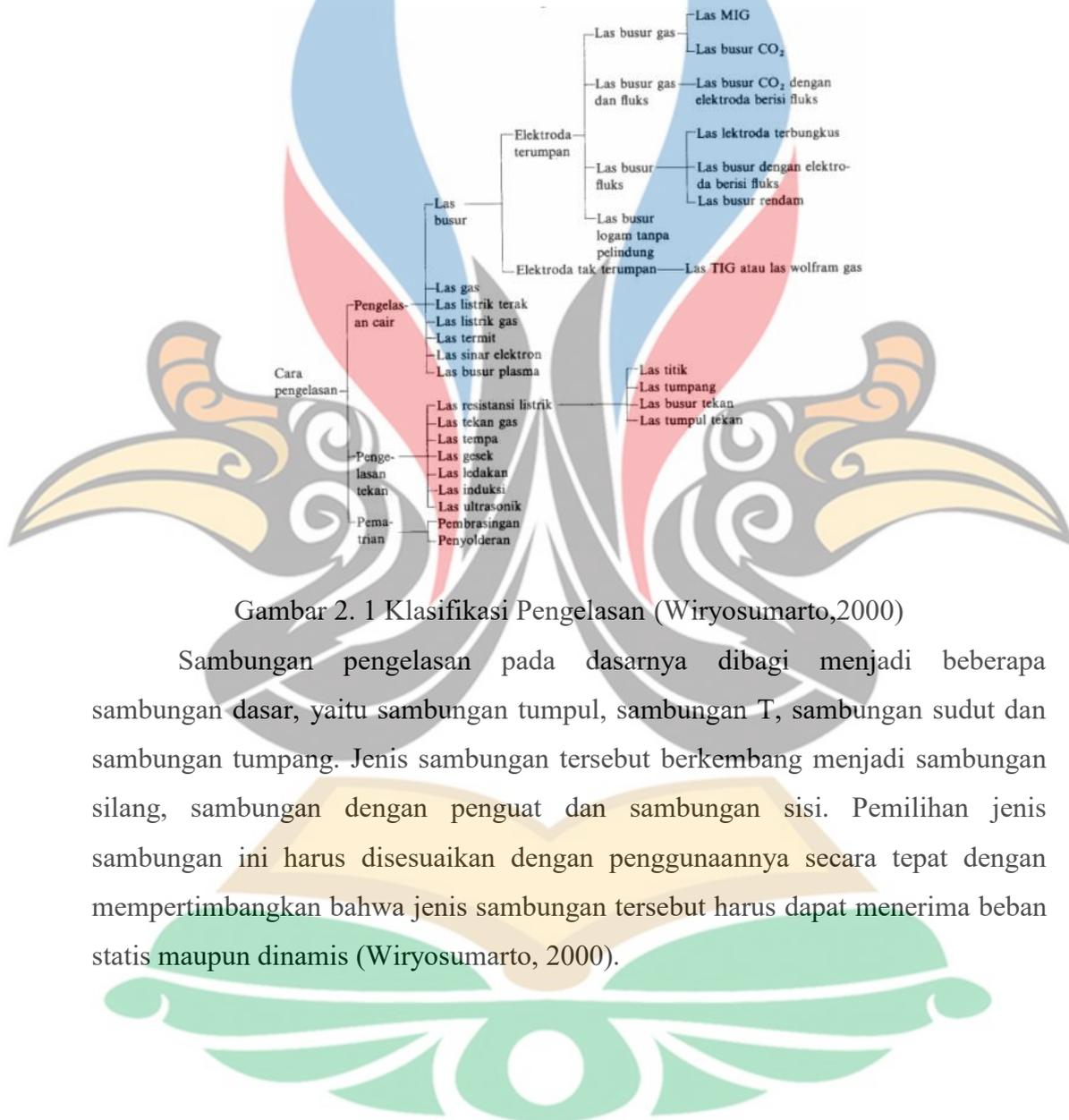
Penjelasan mengenai pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Norman*) yaitu iaktan metalurgi pada sambungan logam yang dilakukan pada keadaan cair, sehingga disimpulkan las adalah sambungan dari lpgam dengan menggunakan energi panas. Tedapat dua klasifikasi berdasarkan cara kerja dan energi yang digunakan. Klasifikasi pertama membagi las dalam kelompok las cair, las tekan, las patri, dan lain-lainnya. Sedangkan klasifikasi kedua membedakan kelompok-kelompok seperti las listrik, las kimia, las mekanik, dan seterusnya. Diantara kedua cara klasifikasi tersebut, terlihat bahwa klasifikasi berdasarkan cara kerjanya lebih banyak digunakan. Karena itu pengklasifikasian yang diterangkan berdasarkan cara kerjanya.

Berdasarkan klasifikasi ini dibagi dalam 3 kelas utama yaitu:

1. Pengelasan cair adala cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar
2. Pengelasan tekan adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu

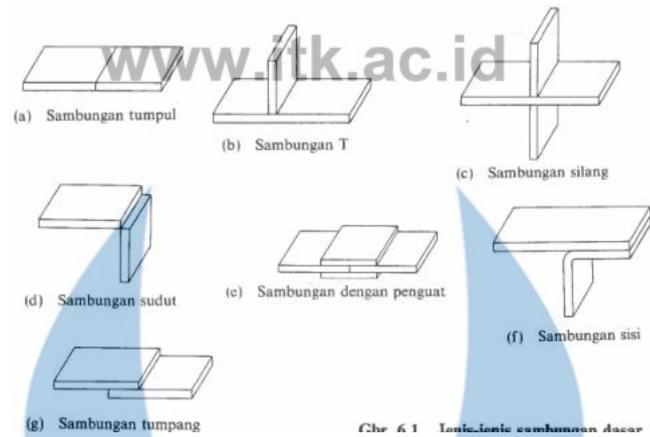
3. Pematrian adalah cara pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukandengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. Dalam cara ini logam induk tidak ikut mencair.

Perincian lebih lanjut dapat dilihat pada gambar 2.1. berdasarkan klasifikasi dalam gambar tersebut, beberapa cara pengelasan yang banyak digunakan pada waktu ini diterangkan lebih terperinci (Wirjosumarto, 2000).



Gambar 2. 1 Klasifikasi Pengelasan (Wirjosumarto,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 (Wirjosumarto, 2000).



Gambar 2. 2 Tipe-Tipe Sambungan (Wiryosumarto,2000)

2.2 *Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM)*

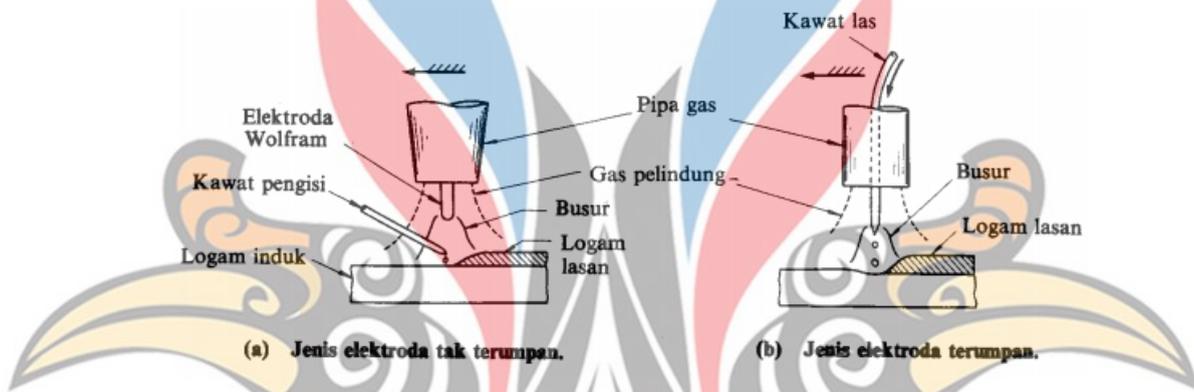
Pada pengelasan juga terdapat metode manufaktur aditif yang dikenal dengan *Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM)*. Proses pengelasan ini bekerja dengan melelehkan kawat elektroda dan pelat baja sebagai substrat dengan busur listrik untuk menghasilkan material diatas substrat. Material akan dibentuk lapis demi lapis hingga mendapatkan bentuk yang diinginkan. Selain itu, selama proses berlangsung hasil pengelasan akan dilindungi dengan gas pelindung untuk mencegah kontaminasi dari udara bebas (Pan,2018). *Wire arc additive manufacturing (WAAM)* semakin menarik perhatian dari sektor manufaktur industri karena kemampuannya untuk membuat komponen logam besar dengan tingkat deposisi yang tinggi, biaya peralatan yang rendah, pemanfaatan material yang tinggi, dan keramahan lingkungan (Rosli,2019).



Gambar 2. 3 Mekanisme Proses pengelasan WAAM (Pan,2018)

2.3 Gas Metal Arc Welding (GMAW)

Gas Metal Arc Welding (GMAW) merupakan salah satu proses pengelasan dimana menyambungkan dua logam atau lebih dengan kawat gulungan dan gas pelindung dengan proses pencairan, dimana elektroda yang digunakan tidak terbungkus fluks dan disuplai terus menerus. Gas pelindung berfungsi sebagai pelindung proses pengelasan dari proses oksidasi, dengan kata lain udara disekeliling proses pengelasan tersebut akan mempengaruhi kualitas hasil las. Gas yang digunakan yaitu gas argon, karbon dioksida, argon-helium, argon-karbon dioksida dan sebagainya. Dengan penggunaan gas yang bermacam-macam dapat juga mempengaruhi hasil las.



Gambar 2. 4 Las Busur Gas (Wiriyosumarto,2000)

Pengelasan GMAW memiliki dua jenis gas pelindung adalah *active gas* (gas aktif) dan *inert gas* (gas mulia) yang dikenal sebagai las MAG (*Metal Active Gas*) dan las MIG (*Metal Inert Gas*). Semakin perkembangan teknologi las meningkat, pengelasan GMAW dapat digunakan pada proses pengelasan otomatis (robot) dan semi otomatis.

Pada mesin las, umumnya arusnya searah (DC) dari trafo las (AC) yang akan diubah menjadi arus searah dengan tegangan yang konstan. Penempatan posisi kabel-kabel dapat berganti sesuai kebutuhan, seperti polaritas lurus (*Direct Current Straight Polarity/DCSP*). Dengan penempatan kutub negatif pada elektroda dan kutub positif pada mesin las, mengakibatkan panas pengelasan pada elektroda sebesar 1/3 dan pada benda kerja 2/3. sedangkan pada polaritas balik (*Direct Current Reverse Polarity/DCRP*), kutub negatif pada benda kerja dan kutub positif pada elektroda yang mengakibatkan 1/3 panas pada benda kerja dan 2/3 panas pada elektroda. Dalam pengelasan ada parameter yang dapat

menentukan hasil lasan secara langsung, yaitu tegangan, arus, ekstensi elektroda, dan kecepatan pengelasan (Irawan, 2017).

Gas pelindung yang ditiupkan berfungsi sebagai pelindung logam lasan, kawat las, logam induk, dan busur agar tidak terkontaminasi oleh udara. Pada umumnya gas yang digunakan pada pengelasan GMAW yaitu argon (Ar), helium (He), karbon dioksida (CO₂) dan antara campuran kedua gas tersebut. Las GMAW banyak sekali digunakan pada pekerjaan saat ini, seperti pengelasan baja dan logam. Dengan terlihat fungsi elektrodanya terumpan atau ikut mencair, dapat dikategorikan bahwa pengelasan GMAW adalah salah satu kategori pengelasan elektroda terumpan, yang elektrodanya dapat sebagai pembangkit busur dan juga sebagai logam pengisi (Sidi, 2008).

Las busur dikategorikan menjadi dua bagian yaitu elektroda terumpan dan elektroda tak terumpan. Pada elektroda terumpan, elektroda yang digunakan saat pengelasan menjadi kawat las, sedangkan pada elektroda tak terumpan menggunakan batang tungsten (wolfram) sebagai elektrodanya yang menghasilkan busur listrik tanpa menjadi cair (Wiryosumarto, 2000).

Elektroda yang digunakan pada pengelasan GMAW 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. Pada AWS A5.18 (2005) dijelaskan klasifikasi elektroda ER70S-6 seperti yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- ER : Elektroda / Rod
- 70 : 70.000 psi
- S : Solid
- 6 : Komposisi, High Silicon

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)

2.3.1 Strukturmikro GMAW



Gambar 2. 5 Strukturmikro weld metal GMAW (Wijoyo, 2015)

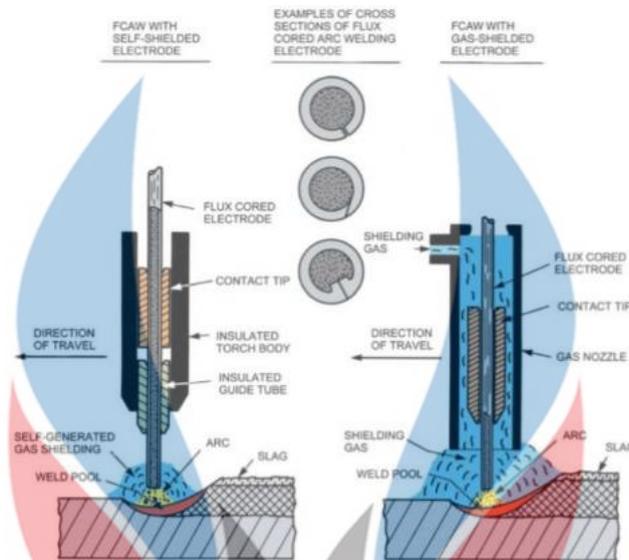
Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Wijoyo (2015), diperoleh struktur mikro berupa *cementite* dan *pearlite* pada weld metal GMAW dengan arus yang digunakan yaitu 80 A, 100 A, dan 120 A. Pada struktur mikro yang diamati, ukuran dari butir lebih rapat dan kecil/halus yang didominasi oleh *cementite* dan *pearlite* berkurang. Perbedaan arus yang digunakan mempengaruhi ukuran butir dari *cementite*, dimana pada arus 80 A *cementite* memiliki ukuran yang paling besar dan diikuti oleh 100 A dan 120 A.

2.4 Flux Core Arc Welding (FCAW)

Proses pengelasan FCAW (*Flux Core Arc Welding*) merupakan pengelasan busur listrik yang dapat terjadi antara elektroda dengan *weld pool* yang menggunakan gas pelindung dari fluks yang terdapat pada inti dari elektroda tersebut, tidak diberi tekanan dan menggunakan gas pelindung eksternal karbon dikosida (CO_2). FCAW pada dasarnya memiliki kesamaan dengan GMAW pada prinsip prosesnya, namun letak perbedaan terdapat pada kawat las pada FCAW mempunyai fluks dibagian intinya, sehingga dapat menghasilkan busur listrik yang stabil yang menghasilkan sifat-sifat mekanik yang baik pada logam lasan. Fluks pada elektroda las pada FCAW lebih fleksibel dibandingkan dengan SMAW yang lapisan fluksnya rapuh, sehingga elektroda pada proses FCAW dapat disediakan dalam bentuk rol/gulungan.

Pada proses pengelasan FCAW, elektrodanya dapat dimasukkan secara otomatis kedalam gagang las (*torch*), pada peralatan yang sama untuk pengelasan GMAW. Fluks pada elektroda FCAW akan menghasilkan terak yang melindungi lasan dari udara sekeliling dan juga diberi tambahan gas pelindung untuk melindungi juga lasannya. Salah satu keuntungan dari proses pengelasan FCAW

dapat dilakukan secara cepat prosesnya dan harga ekonomis, dan sesuai dengan ketebalan logam yang bermacam-macam (Wirjosumarto, 2000).



Gambar 2. 6 Representasi Skema Pengelasan FCAW (Welding Handbook, 2001)

Berdasarkan metode pelindung, Pengelasan FCAW dapat dibedakan menjadi 2, yaitu:

1. *Self shielding* FCAW (pelindungan sendiri), yaitu proses pelindungan logam las saat mencair dengan menggunakan gas dari reaksi dari inti fluks.
2. *Gas shielding* FCAW (perlindungan gas) adalah proses perlindungan dengan menggunakan dua gas, yaitu dari logam las saat mencair dari fluks inti dan menggunakan gas pelindung eksternal.

Pada dua metode tersebut menghasilkan terak yang berasal dari fluks pada kawat las yang memiliki fungsi sebagai pelindung logam las saat proses solidifikasi (pembekuan). Metode tersebut memiliki perbedaan pada penggunaan sistem pemasok gas dan *welding torch*. Pengelasan FCAW memiliki pengoperasian secara otomatis dan semi otomatis. Sifat-sifat utama pada pengelasan FCAW yaitu sifat metalurgi las yang dapat dikontrol dengan pemilihan fluks yang dibutuhkan, produktivitas yang tinggi dapat memasokkan elektroda las secara kontinu, dan pada pembentukan manik dilindungi oleh terak (slag) yang tebal.

Gas karbon dioksida (CO₂) dan campuran gas karbon dioksida-argon digunakan secara umum pada pengelasan FCAW, namun memerlukan fluks yang

memiliki sifat pengikat oksigen agar terhindar dari kontaminasi udara luar atau porosity (Wiryosumarto, 2000).

Elektroda yang digunakan pada pengelasan 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. Pada AWS A5.36 (2016) dijelaskan klasifikasi elektroda E71T1-C1A2-CS1-H4 seperti yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

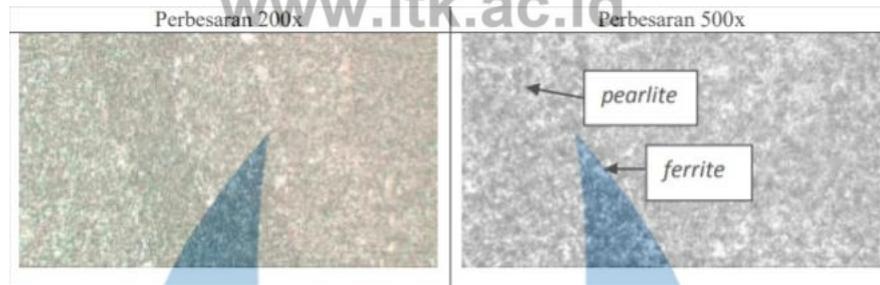
- E : Elektroda
- 7 : Pada AWS A5.36 satu atau dua digit menunjukkan besar kekuatan tarik minimum dari logam las yaitu sebesar 70.000 psi
- 1 : Posisi pengelasan yang digunakan saat melakukan proses pengelasan. Angka 1 menunjukkan semua posisi pengelasan.
- T1 : Huruf “T” mengidentifikasikan sebagai fluks berinti atau logam berinti elektroda. Hal ini mengacu pada polaritas yang digunakan serta karakteristik pengoperasian. T1 menunjukan 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.
- H4 : Bukan bagian dari penunjukan klasifikasi elektroda tetapi merupakan opsional, sebagai penunjuk tambahan yang menunjukkan logam las memiliki rata-rata difusi hidrogen sebesar 4 mL/100g.

Tabel 2. 2 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)

2.4.1 Strukturmikro FCAW



Gambar 2. 7 Strukturmikro weld metal FCAW (Wicaksono,2019)

Menurut penelitian yang telah dilakukan Wicaksono (2016) berdasarkan pada gambar 2.7 hasil pengujian mikro pada weld metal didapatkan bahwa daerah weld metal pada proses FCAW dengan menggunakan arus 135 A memiliki butiran lebih rapat dan mengandung banyak *presentase pearlite*. Diikuti oleh proses SMAW lalu proses GMAW. Hal ini dibuktikan oleh kekerasan, dimana pada proses FCAW memiliki nilai kekerasan yang lebih besar dari pada proses SMAW dan GMAW. *Struktur Pearlite* memiliki sifat kekerasan lebih dari pada struktur *ferrite*, karena struktur mikro *pearlite* terbentuk dari *ferrite* juga.

2.5 Parameter Pengelasan

Dalam proses pengelasan, banyak parameter yang harus diperhatikan atau faktor yang menentukan kualitas dari hasil lasan, diantaranya adalah pengaruh arus, gas pelindung, kecepatan pengelasan, sambungan pengelasan dan kampuh.

2.5.1 Pengaruh Arus

Pengaruh arus sangat penting pada proses pengelasan busur listrik, kecil besar arus akan menentukan ukuran deposit las, bentuk penetrasi las, dan deposit las. Pengaruh yang ditimbulkan dari penggunaan arus dapat dilihat dibawah ini:

1. Penggunaan arus yang meningkatkan akan membuat pengadukan elektromagnetik akan meningkat pula pada kawah las (*weld pool*). sehingga arus yang lebih tinggi akan mengakibatkan penetrasi yang lebih dalam dan luasan daerah las yang lebih sempit.
2. Penggunaan arus yang meningkat akan mengakibatkan cepat masukan panas akan lebih besar ke daerah lasan dan meluasnya distribusi masukan panas.

Pada proses pengelasan logam paduan sebaiknya menggunakan arus yang lebih kecil untuk mencegah agar unsur-unsur pada logam paduan tidak terbakar (Kou, 2003).

2.5.2 Polaritas

Terdapat 3 jenis arus pada mesin las yang sering digunakan yaitu arus searah (Direct Current), arus bolak-balik (Alternating Current) maupun campuran keduanya yaitu AC-DC.

Polaritas lurus (DC-) digunakan saat titik leleh material induk tinggi, untuk benda kerja disambungkan dengan kutub positif (+) sedangkan pada elektroda disambungkan dengan kutub negatif (-). Untuk polaritas terbalik (DC+) digunakan saat titik leleh material induk tinggi, untuk elektroda disambungkan dengan kutub positif (+) sedangkan pada benda kerja disambungkan dengan kutub negatif (-). Penggunaan polaritas DC negatif dan positif tergantung pada penggunaan elektroda (Kou, 2003).

2.5.3 Kecepatan Pengelasan

Kecepatan las memiliki hubungan yang berbanding lurus dengan kuat arus listrik yang digunakan, namun tidak memiliki hubungan dengan tegangan. Dengan begitu pada pengelasan yang cepat memerlukan kuat arus yang besar pula, sehingga pada kecepatan las dinaikkan akan mengakibatkan masukan panas per satuan panjang akan berubah menjadi kecil yang bisa mengakibatkan pembekuan/solidifikasi akan lebih cepat (Kamal, 2014).

2.5.4 Gas Pelindung

Gas pelindung memiliki fungsi yaitu menghindari terjadinya reaksi oksidasi oleh udara luar ke dalam logam las cair yang dapat menyebabkan tidak sempurnanya penyatuan antara filler rod dengan bahan/material yang akan dilakukan proses penyambungan. Ada jenis-jenis dari gas pelindung yaitu:

1. Argon (Ar)

Argon adalah gas inert yang dapat diperoleh dari mencairkan udara. Gas argon digunakan pada proses pengelasan untuk metal yang tidak reaktif sebesar 99,95% kadar kemurniannya, sedangkan pada metal yang reaktif dibutuhkan tingkat kemurniannya sebesar 99,997%.

2. Helium (He)

Helium adalah gas inert yang diperoleh dari pemisahan gas alam, jika digunakan pada proses pengelasan harus dilakukan proses pemurnian menjadi 99,99%. Gas helium dapat menghantarkan panas yang lebih banyak dari gas argon sehingga sering digunakan pada pengelasan yang memerlukan tenaga mekanis.

3. Campuran Argon dan Helium

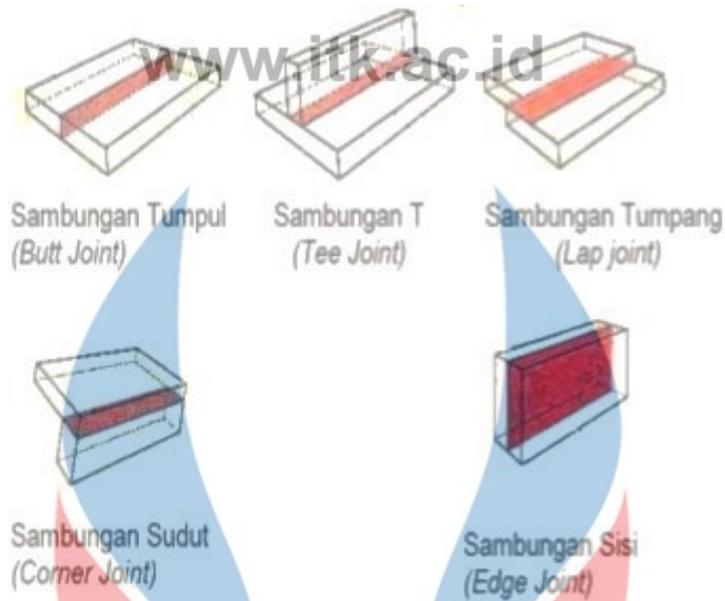
Campuran argon dan helium memiliki fungsi perlindungan yang sangat optimal. Disebabkan oleh argon yang lebih berat 10 kali dari helium, dimana gas argon akan melindungi cairan logam saat di las, sedangkan pada gas helium yang lebih ringan akan naik untuk melindungi daerah las dari udara yang dapat mengkontaminasi. Campuran gas argon-helium dengan kadar helium yang sedikit biasa digunakan pada pengelasan stainless steel dan baja paduan rendah.

4. Karbon Dioksida (CO₂)

Pada gas ini memiliki perpindahan panas yang baik. Penetrasi yang dihasilkan sangat dalam, namun untuk busurnya tidak stabil. Karena gas karbon dioksida yang reaktif menimbulkan banyak spatter atau percikan. Karbon dioksida digunakan pada proses pengelasan dengan kadar murni atau dapat dicampurkan dengan kadar 5%-50% argon. Jika menggunakan kadar karbon yang semakin meningkat akan meningkatkan pula lebar dan penetrasi lebih dalam saat proses pengelasan (Wiryosumarto, 2000).

2.5.5 Sambungan Pengelasan

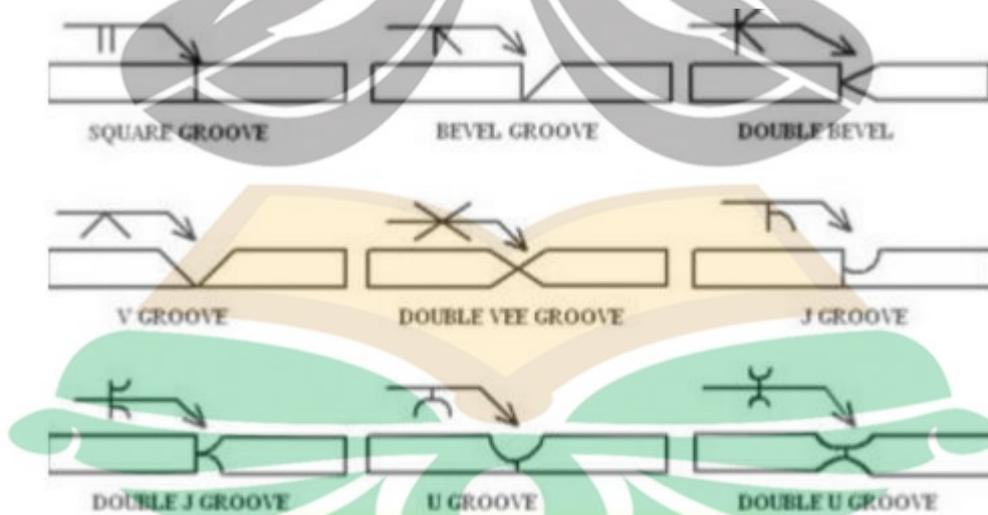
Tahap struktur pembuatan tas termasuk pada tahap pemotongan material/bahan sesuai ukuran, kelengkungan, dan penyambungan material satu sama lain. Sambungan merupakan tiap-tiap daerah yang akan disambung, dimana sambungan memiliki variasi sambungan las sebagai optional yang berdasarkan ketebalan, kualitas material, bentuk struktur, metode pengelasan dan sebagainya. Macam-macam sambungan bisa dilihat pada gambar dibawah ini (Wiryosumarto,2000).



Gambar 2. 8 Jenis sambungan las (Wiryosumarto,2000)

2.5.6 Kampuh

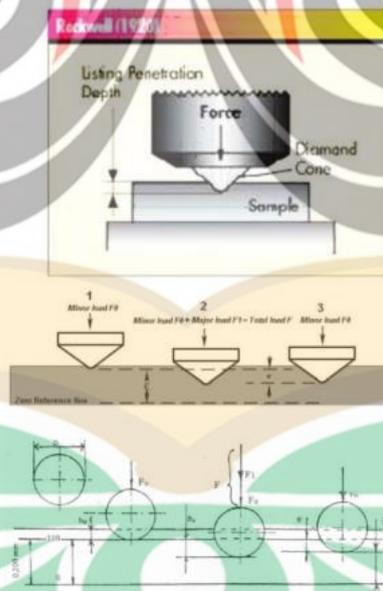
Pada proses pengelasan harus dirancang sebuah kampuh las agar lebih efisien, ekonomis, dan mudah pelaksanaannya serta meminimalkan jumlah endapan tanpa menyebabkan cacat las. Setelah menentukan metode pengelasan dan sambungan, langkah selanjutnya yaitu mempersiapkan sisi yang akan di las. Jenis kampuh yang dapat digunakan pada metode pengelasan yaitu:



Gambar 2. 9 Jenis-jenis kampuh (Gunawan,2017)

2.6 Pengujian Kekerasan (*Hardness Testing*)

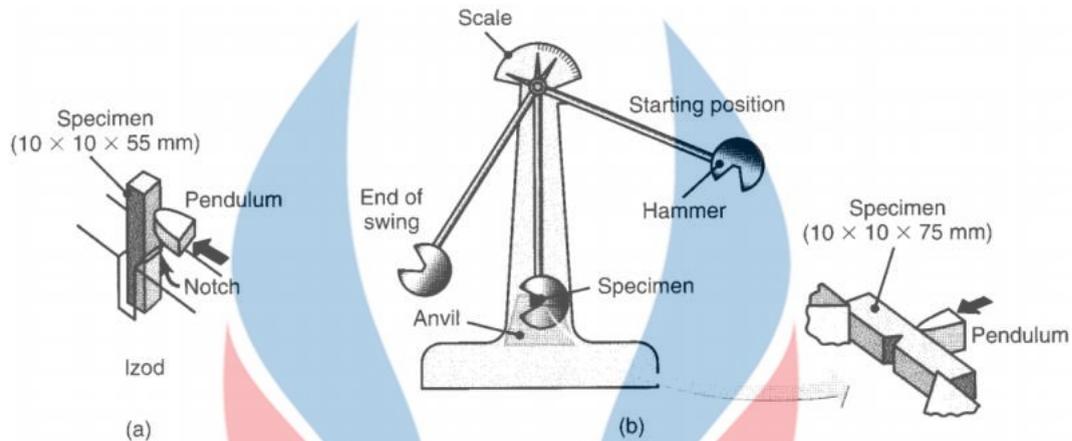
Salah satu sifat mekanik yang penting pada suatu material yaitu kekerasan (*hardness*). Sifat kekerasan dari material harus dapat diketahui sebagai acuan untuk pengaplikasian material tersebut khususnya pada penggunaan yang mengakibatkan pergesekan (*friction*) dan deformasi plastis. Deformasi plastis merupakan suatu perubahan bentuk dari suatu material saat diberi beban/gaya yang memberikan efek pada struktur mikronya yang akan berubah dan tidak dapat kembali seperti semula atau material tersebut tidak dapat kembali seperti sebelumnya bentuknya. Sehingga dapat diartikan bahwa kekerasan merupakan suatu kemampuan dari material dalam menahan beban atau gaya indentasi atau penekanan (penetrasi). pengujian dalam kekerasan sering dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dari suatu material dan dapat juga mendapatkan informasi sifat mekanik lainnya seperti sifat kekuatan. Proses pengujian kekerasan dilakukan secara penekanan, dengan menggunakan indentor (penekan kecil) pada permukaan material. Hasil dari kekerasan akan berupa kedalaman dan lebar dari proses penekanan, jika material tersebut dilatakan lunak maka nilai kekerasannya kecil dan juga sebaliknya (Prasetyo,2015).



Gambar 2. 10 Prinsip Kerja Metode Kekerasan (Prasetyo,2015)

2.7 Pengujian Impak (*Impact Testing*)

Uji impak terdiri dari menempatkan spesimen bertakik dalam pengujian tumbukan dan mematahkan spesimen dengan pendulum berayun.



Gambar 2. 11 Spesimen Uji Impak (a) Izod, (b) Charpy (Kalpakjian,2009)

Dalam uji Charpy, spesimen disanglah di kedua ujungnya (Gambar 2.9b); dalam tes Izod, itu didukung di salah satu ujung seperti balok kantilever (Gambar 2.9a). Dari jumlah ayunan pendulum, energi yang hilang dalam mematahkan spesimen dapat diperoleh, energi ini adalah ketangguhan material. Tidak seperti konversi uji kekerasan, belum ada hubungan kuantitatif yang terbentuk antara uji Charpy dan Izod. Uji impak sangat berguna dalam menentukan temperatur transisi material yang getas. Material yang memiliki ketahanan benturan tinggi umumnya memiliki kekuatan tinggi, keuletan tinggi, dan karenanya memiliki ketangguhan tinggi. Kepekaan terhadap cacat permukaan (sensitivitas takik) sangat penting, karena secara signifikan menurunkan ketangguhan benturan, terutama pada logam yang diolah dengan panas pada keramik dan kaca. (Kalpakjian,2009)

2.8 Pengujian Metalografi (*Metallography Testing*)

Metalografi adalah ilmu yang mempelajari struktur mikro dari karakteristiknya pada logam, paduan logam, dan material lainnya dengan mengaitkannya dengan sifat material tersebut secara kualitas dan kuantitatif dari hal-hal yang dapat diamati seperti ukuran/bentuk butir, fasa, dislokasi, topografi, dan lainnya. Ada dua hal yang dapat diamati dari metalografi yaitu:

1. Struktur makro merupakan struktur dari material secara makro pada permukaan material yang telah dietsa dari proses pemolesan.

2. Struktur mikro merupakan struktur dari material pada permukaan material yang telah dietsa dari proses pemolesan dengan perbesaran minimum 25 kali.

Tahapan pada preparasi sample pengujian mikroskopik meliputi 5 tahap yaitu:

1. Pemotongan

Proses pemotongan merupakan tahapan awal yang memotong sebagian material untuk digunakan pada pengujian mikroskopik. Dapat dikerjakan dengan *abrasive-wheel cutting* atau gergaji sesuai ukuran/dimensi yang diinginkan. sampel yang dipotong harus sesuai dengan criteria untuk pengujian metalografi.

2. Pembungkaiian

Pembungkaiian merupakan hal yang mempermudah dalam kenyamanan untuk menangani sampel dengan bentuk dan ukuran sulit atau kecil. Selanjutnya melindungi sisi-sisi yang ekstrim dan cacat permukaan selama penggunaan proses metalografi, serta dapat juga untuk menangani sampe yang radioaktif.

3. Penggerindaan

Penggerindaan merupakan proses untuk mengikis bagian yang tidak rata, goresan, dan tajam dari permukaan suatu material setelah melwati proses pemotongan. Proses ini dapat dilakukan menggunakan kertas gerinda dengan grade 80, 100, 120, 240, 320, 500, 800, 1000, 1200, 1500 dan 2000 secara bertahap. Saat pergantian kertas amplas harus dilakukan pemutaran sebesar 90° dari penggerindaan dengan grade sebelumnya. Hal ini dilakukan untuk menghilangkan goresan yang terbentuk saat proses penggerindaan.

4. Pemolesan

Pemolesan adalah tahapan untuk menyempurnakan hasil dari penggerindaan. Dalam proses ini goresan-goresan halus yang terbentuk akan terhapus, sehingga proses ini akan membebaskan sampel dari goresan. Pemolesan dilakukan dengan menggunakan pasta abrasive seperti pasta intan dan pasta alumina.

5. Pengetsaan

Pengetsaan merupakan proses untuk melihatkan batas-batas butir pada logam yang telah terbentuk. Pengetsaan mempunyai prinsip dasar yaitu proses korosi terkendali, dimana proses ini menggunakan pengendalian waktu dan bahan korosif yang digunakan.

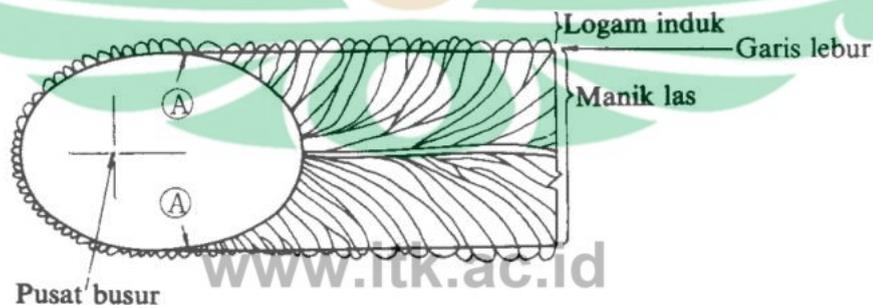
Proses pengetsaan akan memberikan perbedaan warna, bentuk butir, dan ukuran butir yang dapat memberikan informasi dalam penentuan sifat dan jenis fasa pada pengamatan mikroskopik (Geels, 2006).

2.9 Logam Las (*Weld Metal*)

Logam las merupakan daerah hasil endapan las dari elektroda yang dilakukan pada proses pengelasan saat mencair dan terjadi solidifikasi (pembekuan). Pada proses pengelasan dengan metode cair akan mengakibatkan variasi dari cacat pada logam las, seperti lubang halus (*porosity*) dan retak (*crack*). Cacat yang terjadi diperoleh dari kecepatan logam las tersebut mengalami pembekuan.

Pada proses pembekuan pada pengelasan (*welding*) hampir sama dengan proses pembekuan pada pengecoran (*casting*), namun memiliki perbedaan yaitu:

1. Kecepatan pembekuan pada proses pengelasan lebih tinggi
2. Sumber panas pada pengelasan selalu bergerak
3. Pada proses pengelasan mengalami pencairan dan pembekuan secara terus menerus.
4. Pada proses pembekuan logam las pada dinding logam induk dapat disamakan dengan dinding cetakan pada pencoran, dimana pada proses pengelasan logam las dan logam induk harus menyatu sedangkan pada proses pengecoran terjadi sebaliknya (Wirjosumarto, 2000).



Gambar 2. 12 Arah Pembekuan Logam Las (Wirjosumarto, 2000)

Titik A dari gambar 2.12 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).

2.10 Penelitian Terdahulu

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

Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu

No.	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
1.	Waqas Ali, dkk, 2019	<p>Metode : Elektroda yang digunakan yaitu ER70S-6 dengan metode pengelasan GMAW otomatis yang dibuat secara bertumpuk dengan variasi arah deposisi spesimen.</p> <p>Hasil : Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa spesimen dengan arah deposisi sejajar memiliki kekuatan tarik dan keuletan yang lebih baik di bandingkan arah tegak lurus.</p>
2.	Saragih, 2019	<p>Metode : Elektroda yang digunakan yaitu E71T1 dengan metode pengelasan FCAW pada material baja ST40 dengan variasi kuat arus listrik 135 A, 150 A, dan 160 A.</p> <p>Hasil : Hasil pengujian impak yang diperoleh pengelasan 135A memiliki harga impak rata-rata 1.73 J/mm² sedangkan 150A memiliki nilai impak 1.89 J/mm² dan 165A memiliki nilai impak 2 J/mm² dimana dapat disimpulkan bahwa material dengan pengelasan 165A memiliki kelenturan yang paling maksimal diantara yang lainnya dikarenakan harga uji impaknya yang semakin besar maka material tersebut semakin elastis.</p>
3.	Waqas Ali, dkk, 2018	<p>Metode : Elektroda yang digunakan yaitu ER70S-6 dengan metode pengelasan GMAW otomatis yang dibuat secara</p>

No.	Nama dan Tahun Publikasi	www.itk.ac.id Hasil
		<p>bertumpuk dengan variasi arah deposisi spesimen.</p> <p>Hasil: Hasil pengujian impak menunjukkan bahwa spesimen dengan arah deposisi sejajar dan tegak lurus tidak memiliki perbedaan yang signifikan dan diperoleh patahan yang bersifat ulet. 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.</p>
4.	Sufyani Rosyidin, 2018	<p>Metode: Pengelasan FCAW menggunakan elektroda E71T1 dengan variasi arus 100A, 190A, dan 280A menggunakan material ST 37.</p> <p>Hasil: Pengujian kekerasan menunjukkan bahwa semakin 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.</p>