

www.itk.ac.id
BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab 2 tinjauan pustaka ini akan dijelaskan mengenai keterkaitan beberapa referensi terhadap penelitian “Analisis Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Kombinasi SMAW Dan FCAW *Double V Groove* Terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Daerah *Weld Metal* Pada Material Baja ASTM A36”. Bab 2 ini meliputi beberapa aspek bahasan, diantaranya yaitu: pengertian *welding*, SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*), FCAW (*Flux Cored Arc Welding*), kampuh las, baja ASTM A36, daerah *weld*, diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*), pengujian tarik, pengujian metaografi serta penelitian terdahulu.

2.1 *Welding*

Pengelasan merupakan suatu proses penyambungan logam di mana logam menjadi satu akibat panas dengan atau tanpa pengaruh tekanan (Wirjosumarto, H dan Okumura, T. 1981). Dengan kata lain, las merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Proses pengelasan dibagi dalam dua kategori utama yaitu pengelasan lebur dan pengelasan padat. Pengelasan lebur menggunakan panas untuk melebur permukaan yang akan disambung, beberapa operasi menggunakan logam pengisi dan yang lain tanpa logam pengisi. Pengelasan padat proses penyambungannya menggunakan panas dan atau tekanan, tetapi tidak terjadi peleburan pada logam dasar dan tanpa penambahan logam pengisi (Bachtiar, 2012).

Teknik pengelasan dulu dilakukan secara konvensional dan diklasifikasikan berdasarkan energi yang digunakan. Klasifikasi pertama membagi las dalam kelompok las cair, las tekan, las patri dan sebagainya. Sedangkan klasifikasi yang kedua membedakan adanya kelompok-kelompok seperti las 8 listrik, las kimia, las mekanik dan seterusnya. Bila diadakan klasifikasi yang lebih terperinci lagi, maka kedua klasifikasi tersebut diatas akan terburai dan akan terbentuk kelompok-kelompok yang banyak. Berdasarkan klasifikasi ini pengelasan dapat dibagi dalam tiga kelas utama yaitu: pengelasan cair, pengelasan tekan dan pematrian.

1. Pengelasan cair adalah 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 disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. Dalam cara ini logam induk tidak turut mencair.



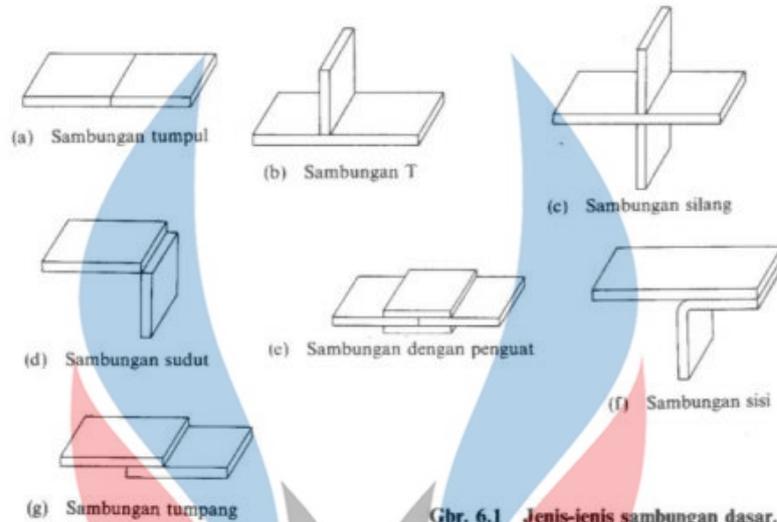
Gambar 2.1 Klasifikasi Pengelasan (Wiryosumarto, 2000)

Dalam proses pengelasan terdapat macam-macam bentuk sambungan las. Secara umum sambungan las ada dua macam, yaitu sambungan sudut (*fillet*) dan sambungan tumpul (*butt*). Adapun macam-macam bentuknya adalah sebagai berikut:

1. Sambungan Tumpul.
2. Sambungan T.
3. Sambungan Silang.
4. Sambungan Sudut.
5. Sambungan Dengan Penguat.

6. Sambungan Sisi.

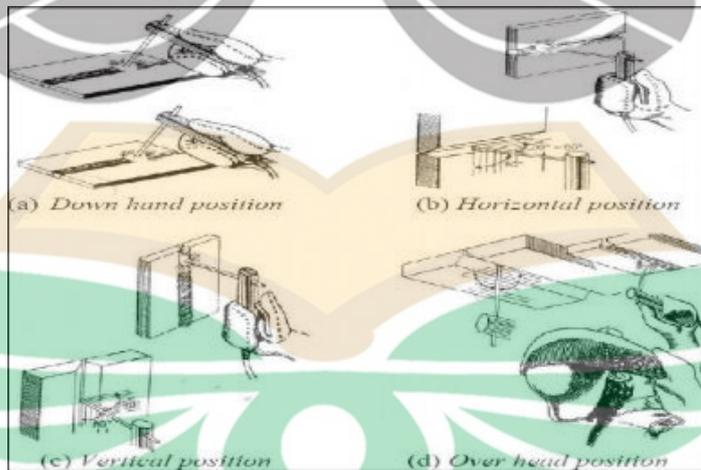
7. Sambungan Tumpang.



Gbr. 6.1 Jenis-jenis sambungan dasar.

Gambar 2.2 Sambungan Pengelasan (Wirjosumarto, 2004)

Posisi atau sikap pengelasan yaitu pengaturan posisi atau letak gerakan elektroda las. Posisi pengealasan yang digunakan biasanya tergantung dari letak kampuh-kampuh benda kerja yang akan dilas. Posisi pengelasan terdiri dari posisi pengelasan di bawah tangan (*down hand position*), posisi pengelasan mendatar (*horizontal position*), posisi pengelasan tegak (*vertical position*), dan posisi pengelasan di atas kepala (*over head position*) (Bintoro,2000).



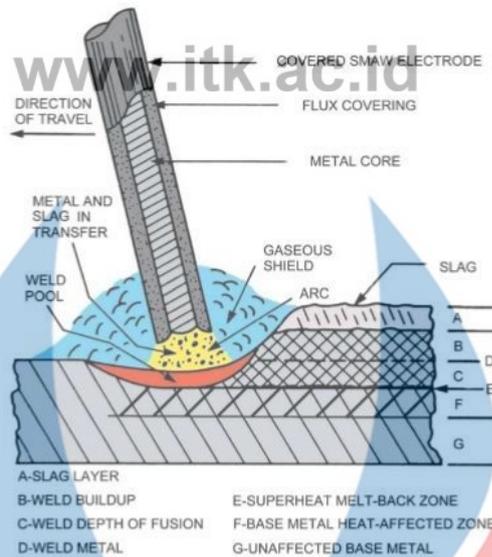
Gambar 2.3 Posisi Pengelasan (Bintoro, 2000)

2.2 SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

Las busur listrik elektroda terlindung atau lebih dikenal dengan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) merupakan pengelasan menggunakan busur nyala listrik sebagai panas pencair logam. Busur listrik terbentuk diantara elektroda terlindung dan logam induk. Karena panas dari busur listrik maka logam induk dan ujung elektroda mencair dan membeku bersama (Wiryosumarto, 2000).

Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa arus busur listrik yang terjadi. Bila digunakan arus listrik besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus dan sebaliknya bila arus kecil maka butirannya menjadi besar. Pola pemindahan logam cair sangat mempengaruhi sifat mampu las dari logam. Logam mempunyai sifat mampu las yang tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus. Pola pemindahan cairan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan komposisi dari bahan fluks yang digunakan. Bahan fluks yang digunakan untuk membungkus elektroda selama pengelasan mencair dan membentuk terak yang menutupi logam cair yang terkumpul di tempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi.

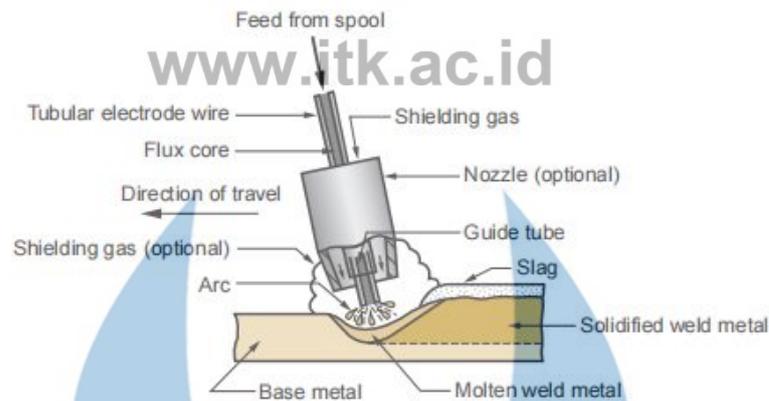
SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) merupakan suatu teknik pengelasan dengan menggunakan arus listrik yang membentuk busur arus dan elektroda berselaput. Di dalam pengelasan SMAW ini terjadi gas pelindung ketika elektroda terselaput itu mencair, sehingga dalam proses ini tidak diperlukan tekanan gas inert untuk menghilangkan pengaruh oksigen atau udara yang dapat menyebabkan korosi atau gelembung-gelembung di dalam hasil pengelasan. Proses pengelasan terjadi karena adanya hambatan arus listrik yang mengalir diantara elektroda dan bahan las yang menimbulkan panas mencapai 3000°C, sehingga membuat elektroda dan bahan yang akan dilas mencair.



Gambar 2.4 Representasi Skema *Shielded Metal Arc Welding* (*Welding Handbook*, 2001)

2.3 FCAW (*Flux Core Arc Welding*)

Flux-Core Arc Welding (FCAW) merupakan pengelasan yang mirip dengan GMAW. Elektroda yang digunakan merupakan tabung logam dengan fluks yang dibungkus di dalamnya. Elektroda tersebut berfungsi mirip seperti elektroda pada pengelasan SMAW, termasuk melindungi lelehan logam dari udara. Penggunaan gas pelindung tambahan pada pengelasan ini bersifat opsional (Kou, 2003). Sebuah elektroda berinti *fluks* terdiri dari kawat tabung berinti yang mengandung kombinasi bahan yang meliputi *fluks* dan terkadang serbuk logam. Bahan *fluks* di dalam elektroda tersebut melakukan fungsi yang sama seperti halnya fluks di luar elektroda pada SMAW dan membentuk terak di atas manik las. FCAW terbagi menjadi dua yaitu FCAW berpelindung gas (FCAW-G) dan FCAW berpelindung diri (FCAW-S). Pada FCAW-S tidak memerlukan gas pelindung eksternal karena seluruh sistem perlindungan dihasilkan melalui bahan *fluks* yang terkandung dalam elektroda. Sedangkan pada FCAW-G menggunakan tambahan gas eksternal.



Gambar 2.5 Proses Pengelasan FCAW (Groover,2013).

Pada pengelasan FCAW, penambahan gas pelindung berfungsi untuk memberikan perlindungan ganda. Gas pelindung akan mempengaruhi busur, lebar manik las, penumpukan, penetrasi, percikan, dan sifat mekanik. Ada beberapa gas pelindung yang digunakan dalam pengelasan FCAW di antaranya ialah argon dan CO₂. Gas argon mudah terionisasi oleh busur. Hasil ionisasi sangat terkonsentrasi dalam jalur antara elektroda ke *molten pool*. Konsentrasi ini menghasilkan ukuran tetesan logam yang lebih kecil atau di dalam metal transfer dikenal sebagai axial spray mode. Hal ini menjadikan hasil busur yang halus dan stabil serta sedikit percikan. Gas CO₂ yang ditambahkan dalam argon akan meningkatkan penetrasi. Peningkatan penetrasi akan berlanjut hingga gas pelindung yang digunakan berupa CO₂ 100%. Namun seiring meningkatnya persentase CO₂, stabilitas busur akan semakin menurun. Busur yang kurang stabil akan menyebabkan peningkatan percikan. Gas CO₂ dengan mudah dipecah dalam busur. Kemudian membentuk karbon monoksida dan oksigen bebas. Kedua gas tersebut reaktif terhadap beberapa paduan di elektroda. Saat paduan ini bergerak dari elektroda ke *molten pool*, beberapa di antaranya membentuk oksida. Silikon dan mangan adalah paduan utama yang teroksidasi dan hilang dari logam las. Sebagian besar elektroda pengelasan FCAW secara khusus dirancang untuk digunakan dengan atau tanpa gas pelindung dan untuk campuran persentase atau gas pelindung tertentu. Misalnya, elektroda yang dirancang khusus untuk digunakan dengan 100% CO₂ akan memiliki tingkat silikon dan mangan yang lebih tinggi untuk mengkompensasi hilangnya oksidasi (Jeffus, 2016).

2.4 Parameter Las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

2.4.1 Arus Pengelasan

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.

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 unsur-unsur paduan sebaiknya menggunakan arus las yang kecil (Kou, 2003).

2.4.2 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. 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 fluksini sangat baik maka biasa digunakan untuk

konstruksi yang memerlukan tingkat pengaman tinggi (Wiryosumarto, 2000).

Adapun elektroda yang digunakan pada penelitian ini yaitu dengan kode E7018, artinya yaitu (Bintoro, 2000):

- E : Elektroda pada pengelasan busur listrik.
 70 : Besar nilai tegangan tarik maksimum dari hasil pengelasan yaitu sebesar 70.000 psi atau sama dengan 492 Mpa.
 1 : Posisi pengelasan ,angka 1 menunjukkan proses dapat dilakukan dalam semua posisi pengelasan.
 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
0,0	0,09	0,01	0,0	0,31	0,04	0,0	1,02	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
1	8	9	1	6	6	1	8	4	5	9	4	1

*)ASM Handbook,1995

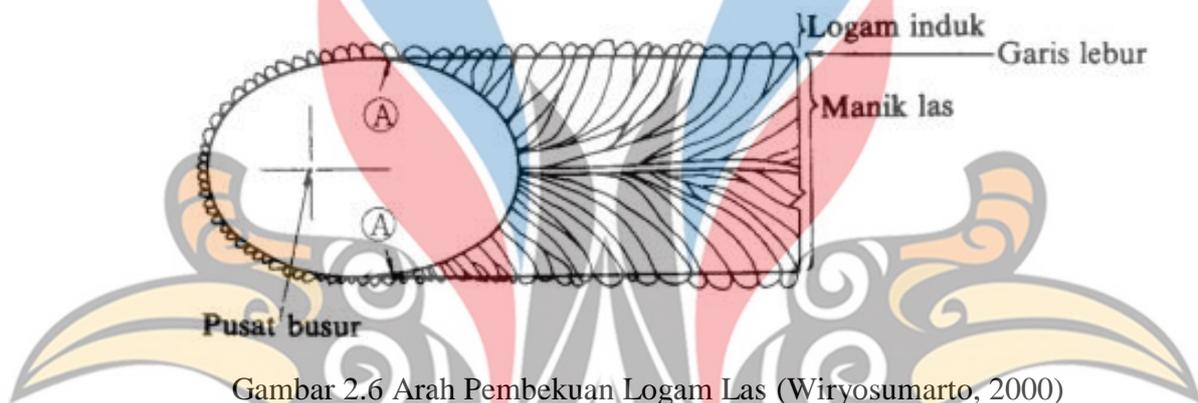
Tabel 2.2 Hubungan diameter elektroda E7018 dan Arus Pengelasan SMAW*)

Diameter (mm)	Arus (Ampere)
2,4 dan 2,5	65 – 110
3,2	90 – 140
4,0	120 – 190
5,0	190 – 260
5,6	240 – 320
6,0	300 – 390
8,0	375 – 475

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

Logam las adalah suatu daerah hasil endapan las dari elektroda yang dilakukan dalam proses pengelasan saat mencair dan terjadinya solidifikasi atau pembekuan. Dalam proses pengelasan dengan menggunakan metode cair akan

mengakibatkan variasi dari cacat pada logam las, seperti *porosity* dan *crack*. Pada proses pembekuan dalam pengelasan (*welding*) hampir mirip dengan proses pembekuan dalam pengecoran (*casting*), namun memiliki perbedaan diantaranya yaitu kecepatan pembekuan pada proses pengelasan lebih tinggi daripada pengecoran, sumber panas pada pengelasan selalu bergerak terus menerus, dalam proses pengelasan akan mengalami pencairan dan pembekuan, dan dalam proses pembekuan logam las pada dinding logam induk dapat disamakan dengan dinding cetakan dalam proses pengecoran, dimana pada proses pengelasan logam las dan logam induk harus menyatu sedangkan dalam proses pengecoran harus terjadi hal sebaliknya (Wiryo Sumarto, 2000).



Gambar 2.6 Arah Pembekuan Logam Las (Wiryo Sumarto, 2000)

Dari titik A pada gambar diatas dapat diketahui bahwa titik mula dari struktur pilar akan selalu terletak di dalam logam induk. Titik ini akan tumbuh menjadi garis lebur dengan memiliki arah yang sama sesuai dengan gerakan sumber panas. Pada garis lebur ini, sebagian dari logam dasar akan ikut mencair dan selama terjadinya proses pembekuan logam las akan tumbuh butir logam induk dengan sumbu kristal yang sama (Wiryo Sumarto, 2000).

Sebagian besar elektroda las SMAW dilapisi dengan lapisan *flux*, Selain untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara, *fluks* juga berguna juga untuk membentuk terak las yang berfungsi untuk melindungi cairan las dari udara sekelilingnya. Lapisan elektroda ini merupakan suatu campuran kimia yang komposisinya disesuaikan dengan kebutuhan dalam pengelasan. Menurut AWS (*American Welding Society*) elektroda diklasifikasikan dengan huruf awal E dan diikuti empat atau lima digit selanjutnya, sebagai contoh seperti berikut ini E xxxx (x). Pada dua digit pertama atau tiga digit pertama, menunjukkan kuat tarik hasil las,

tiga digit menunjukkan kuat tarik lebih dari 100.000 psi, sedangkan untuk dua digit akan menunjukkan kuat tarik hasil lasan kurang dari 100.000 psi.

Contohnya: elektroda E 7016, merupakan elektroda yang mempunyai kuat tarik 70.000 psi. Angka digit ketiga atau keempat bagi yang kuat tariknya lebih besar 100.000 psi, pada digit selanjutnya yaitu menunjukan posisi pengelasan, apabila angkanya 1 berarti dapat digunakan untuk segala posisi pengelasan, jika angkanya 2 berarti posisi las datar atau horizontal dan jika angka 3 menunjukan pengelasan datar saja. Dan digit yang terakhir menunjukan jenis dari campuran kimia dari lapisan elektroda (Fahmy,2015).

2.4.3 Tegangan Busur Las

Tegangan busur las yang dibutuhkan pada pengelasan tergantung dari jenis elektroda yang digunakan. Besar kecilnya tegangan busur ini berbanding lurus dengan panjang busur. Energi listrik pada las busur nyala listrik diukur dalam tegangan (*volt*) dan arus (*ampere*). Tegangan pengelasan ditentukan dari besarnya panjang busur nyala listrik. Panjang busur nyala listrik bergantung dari ukuran dan jenis elektroda yang digunakan. Penggunaan panjang busur nyala listrik yang baik yaitu kurang lebih setengah dari diameter elektroda. Pemakaian busur yang panjang tidak dikehendaki karena stabilitasnya mudah terganggu, sehingga hasil pengelasan tidak rata. Panjang busur tidak mempengaruhi kecepatan pencairan logam, tetapi busur yang panjang akan menambah energi listrik. Panjang busur yang dianggap baik lebih kurang sama dengan diameter elektroda yang dipakai, untuk setiap posisi pengelasan tidak sama. Menjaga kestabilan panjang busur inilah merupakan kesulitan yang di alami dalam pelaksanaan pengelasan dengan proses las busur listrik manual (Wiryosumarto, 2000).

2.4.4 Kecepatan Pengelasan

Kecepatan dari pengelasan tergantung pada jenis elektroda, diameter inti elektroda, bahan yang dilas, geometri sambungan, ketelitian sambungan dari lainlainnya. 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).

2.5 Parameter Las FCAW (*Flux Cored 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 Travel Speed

Travel speed atau kecepatan pengelasan tergantung pada jenis elektroda, diameter inti elektroda, bahan yang dilas, geometri sambungan, ketelitian sambungan dari lainlainnya. 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).

2.5.3 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 :

1. 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%).

2. 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 dari pada 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 penyalan awal elektroda.

3. 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*.

4. 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 Pengaruh gas pelindung pada bentuk manik las (Jeffus, 2016)

2.5.4 Elektroda

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-H5 seperti yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

Tabel 2.3 Standar Penomoran Elektroda E71T1-C1A2-CS1-H5*)

Simbol	Keterangan
E	Menunjukkan Elektroda
7	Menunjukkan Kekuatan Tarik. Untuk A5.36, satu atau dua digit menunjukkan kekuatan tarik minimum (bila dikalikan dengan 10.000 psi) dari logam las yang diendapkan dengan elektroda ini, yaitu sebesar 70.000 psi.
1	Menunjukkan Posisi Pengelasan. "1" adalah untuk semua posisi (datar, horizontal, vertikal dengan progresi ke atas atau ke bawah, dan <i>overhead</i>).
T1	Menunjukkan Kegunaan. Huruf "T" mengidentifikasi sebagai elektroda berinti fluks atau inti logam. Hal ini mengacu pada kegunaan elektroda dengan persyaratan untuk polaritas dan karakteristik operasi umum. T1 menunjukan proses FCAW-G menggunakan polaritas DCEP dan digunakan dalam posisi <i>flat</i> , <i>horizontal</i> , <i>vertical up</i> , dan <i>overhead</i> .
C1	Menunjukkan Jenis Gas Pelindung. Dua atau tiga digit digunakan untuk menunjukkan jenis gas pelindung. C1

menunjukkan komposisi gas pelindung yang terdiri dari 100% CO₂. www.itk.ac.id

Menunjukkan Temperatur Impak. Untuk A5.36 penunjuk ini menunjukkan suhu dalam °F pada atau di atasnya di mana ketangguhan takik logam las memenuhi atau melebihi 20 kaki·lbf. Untuk A5.36M penunjuk ini menunjukkan suhu dalam °C pada atau di atasnya di mana ketangguhan takik dari deposit lasan memenuhi atau melebihi 27 J. A2 menunjukkan ketangguhan takik (Charpy V-Notch) minimal 20 ft.lbf pada -20°F.

Menunjukkan Komposisi Deposit. Satu, dua atau tiga karakter digunakan untuk menunjukkan komposisi logam las yang diendapkan. CS1 menunjukkan kadar unsur (% wt) C sebesar 0.12, Mn sebesar 1.75, Si sebesar 0.90, S sebesar 0.03, P sebesar 0.03, Ni Sebesar 0.5, Cr sebesar 0.2, Mo sebesar 0.3, V sebesar 0.08 dan Cu sebesar 0.35 pada elektroda baja karbon.

Opsional, Menunjukkan Hidrogen Difusi Tambahan. H5 menunjukkan bahwa logam lasan memiliki rata-rata difusi hidrogen sebesar 5 mL/100g.

*)AWS A5.36, 2016.

Tabel 2.4 *Chemical Composition* Elektroda E71T1-C1A2-CS1-H5*)

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

*)AWS A5.36, 2016

Tabel 2.5 *Mechanical Properties* Elektroda E71T1-C1A2-CS1-H5*)

<i>Consumable</i>	<i>Tensile Test</i>		<i>Charpy V-Notch Impact Test</i>
E71T1-	<i>Yield</i>	<i>Tensile</i>	<i>Elongation</i>
			- 30°

C1A2-CS1-H5	Strength (Mpa)	Strength (Mpa)	(%)
	530	589	26.0
			73

*)AWS A5.36, 2016

2.5.5 Arus Pengelasan

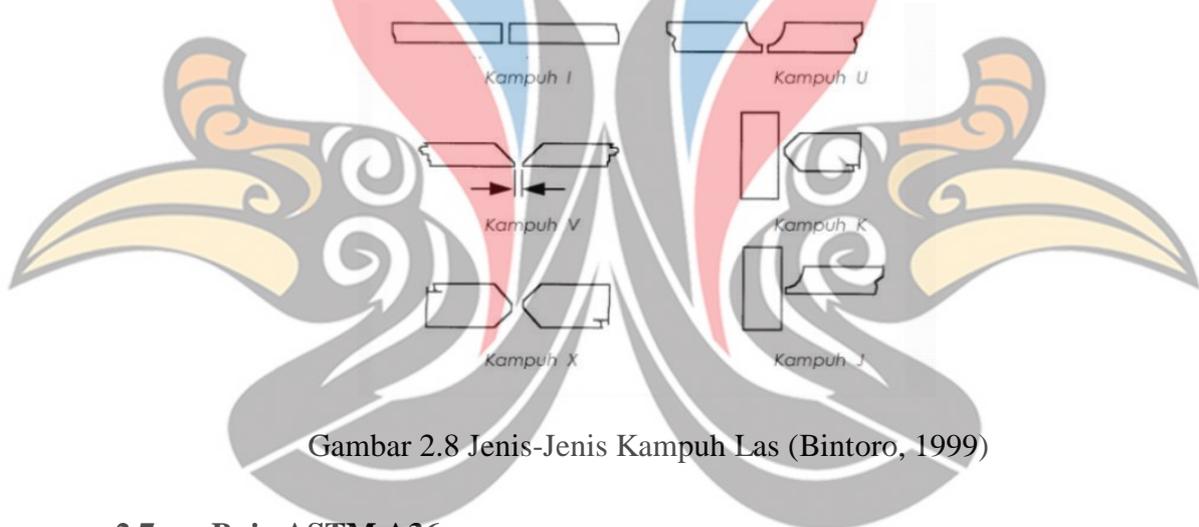
Arus las merupakan salah satu parameter pengelasan yang dapat mempengaruhi penembusan serta kecepatan dari pencairan logam induk (*weld metal*). Besarnya arus pengelasan yang digunakan tergantung dari diameter elektroda, tebal material yang akan di las, jenis elektroda yang digunakan, diameter inti elektroda, 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 (Wiryo Sumarto, 2000).

2.6 Kampuh Las

Salah satu parameter untuk menghasilkan kualitas yang baik adalah pemilihan kampuh las. Kampuh las berguna untuk menampung logam pengisi agar dapat lebih banyak yang melekat pada benda kerja, sehingga kekuatan las yang dihasilkan semakin optimal. Dalam pemilihan kampuh terdapat beberapa factor pemilihan seperti yaitu ketebalan benda kerja, jenis benda kerja, kekuatan yang diinginkan dan posisi pengelasan. Kampuh V digunakan pada logam/plat dengan ketebalan antara 6-16 mm, dimana sambungan kampuh ini terdiri dari sambungan kampuh V terbuka dan tertutup. Kampuh V terbuka untuk penyambungan logam ketebalan 6-16 mm dengan sudut yang diberikan antara 60°-90°. Pada waktu mengelas kampuh V terbuka diberi plat penahan cairan sepanjang kampuh yang gunanya untuk mencegah cairan bertumpuk disebelah bawah kampuh dan plat penahan tersebut dapat dibuka bila diperlukan. Sambungan kampuh V tertutup digunakan untuk menyambung logam/plat yang tebalnya 8-16 mm dengan sudut kampuh dan tinggi dari dasar sampai dasar sudut kampuh dibuat sama dengan sambungan kampuh V terbuka. Sambungan Kampuh U lebih kuat menerima beban statis dan diperlukan untuk sambungan berkualitas tinggi. Dipakai pada ketebalan 8 mm-25 mm. Sekitar 2 mm serta tinggi dari dasar sampai sudut kampuh 1-2 mm

(Wiryosumarto, 2000).

Salah satu parameter untuk menghasilkan kualitas yang baik adalah pemilihan kampuh las. Kampuh las berguna untuk menampung logam pengisi agar dapat lebih banyak yang merekat pada benda kerja, sehingga kekuatan las yang dihasilkan semakin optimal. Umumnya hanya terdapat berupa sambungan tumpul, namun ada juga pada beberapa bentuk sambungan sudut tertentu, yang digunakan untuk memenuhi persyaratan kekuatan suatu sambungan sudut. Bentuk kampuh las yang banyak dipergunakan pada pekerjaan las dan fabrikasi logam yaitu Kampuh I (*Open square butt*), Kampuh V (*Single Vee butt*), Kampuh X (*Double Vee butt*), Kampuh U (*Single U butt*), Kampuh K/Sambungan T dengan penguatan pada kedua sisi (*Reinforcemen on T-butt weld*) Kampuh J/Sambungan T dengan penguatan satu sisi (*Single J-butt weld*).



Gambar 2.8 Jenis-Jenis Kampuh Las (Bintoro, 1999)

2.7 Baja ASTM A36

Baja ASTM A36 merupakan salah satu baja canai panas structural yang paling umum digunakan. Tipikal material baja karbon khas, harganya relative murah, sangat bagus untuk dilakukan pengelasan dan proses machining sertadapat mengalami proses perlakuan panas. Baja A36 umumnya juga disebut dengan pelat *mild steel* (MS). Baja ASTM A36 memiliki kemiripan dengan AISI 1018 dari komposisi unsur dan sifat mekanik. Baja A36 memiliki titik leleh pada temperature 1430°C (Tanjung dkk.,2018). Adapun komposisi kimia pada baja ASTM A36 yaitu sebagai berikut :

Dalam penelitian ini baja yang digunakan yaitu janis baja ASTM A36. Plat ASTMA36 termasuk dalam golongan baja karbon rendah. Plat baja ASTM A36

mempunyai komposisi material dan sifat mekanik yang ditunjukkan pada tabel berikut;

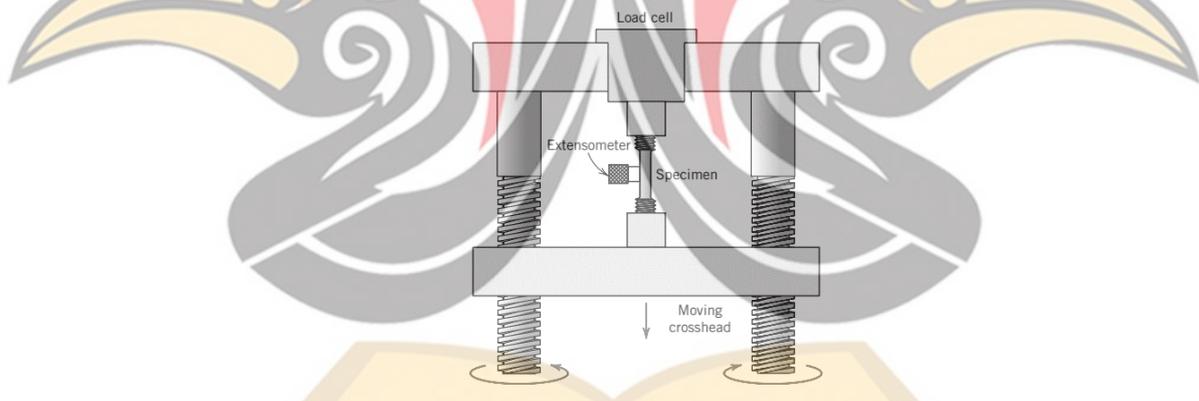
Tabel 2.6 Komposisi Kimia Baja ASTM A36*)

Material	Komposisi (%)						Sifat Mekanik		
	C, max	Mn, max	P, max	S, max	Si, max	Cooper Min	Elongation, min (%)	Tensile	Yield
ASTM A36	0,25	0,81	0,04	0,05	0,40	0,2	20	400 MPa	250 MPa

*)ASTM A36,2004

2.8 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 2.9 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:

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

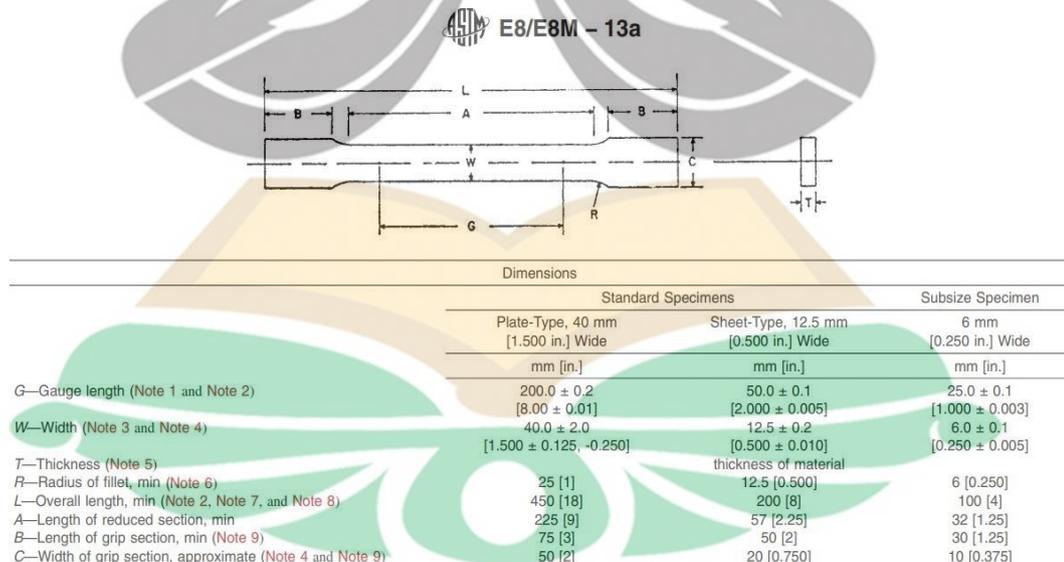
di mana F adalah beban sesaat yang diterapkan tegak lurus terhadap potongan melintang spesimen, dalam satuan newton (N) atau gaya pound (lbf), dan A_0 adalah luas penampang asli sebelum beban diterapkan (m^2 atau $in.^2$). Satuan tegangan teknik (selanjutnya disebut sebagai tegangan saja) adalah megapascal, MPa (SI) (di mana $1 \text{ MPa} = 106 \text{ N} / m^2$), dan pound gaya per inci persegi, psi (Callister, 2014).

Regangan teknik P didefinisikan sesuai dengan persamaan :

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_o}{l_o} = \frac{\Delta l}{l_o} \quad (2.2)$$

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).

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



Gambar 2.10 Standar Spesimen Pengujian Tarik ASTM E8/E8M

2.9 Pengujian Metalografi

Metalografi adalah ilmu yang mempelajari tentang struktur mikro dari suatu logam beserta karakteristiknya. Metalografi sangatlah penting agar dapat mengetahui distribusi fasa, ukuran butir, serta untuk mengetahui ada atau tidaknya suatu inklusi (kotoran) yang terkandung dalam logam. Hasil metalografi dapat menjadi acuan dalam menentukan material telah sesuai dengan spesifikasi yang diminta ataupun untuk mengetahui proses yang sudah dialami oleh material tersebut (Manurung,2020).

2.9.1 Uji Makro (*Macro Test*)

Uji makro merupakan metode pengujian suatu bahan dengan mata langsung atau dengan menggunakan kaca pembesar dengan pembesaran rendah. Metode ini berfungsi untuk memeriksa permukaan yang terdapat celah atau lubang-lubang pada struktur logam, dan juga bentuk-bentuk patahan benda uji bekas pengujian mekanis sebelumnya, dan selanjutnya akan dibandingkan dengan beberapa logam yang dilihat berdasarkan bentuk dan strukturnya antara logam satu dengan yang lainnya. Angka pembesaran pemeriksaan makro antara 50 kali sampai 100 kali. Pengujian ini juga bertujuan untuk melihat bentuk makro dari material pada daerah pengelasan, seperti *fusion line*, *Heat Affected Zone*, dan *Weld Metal* agar bentuk dari lasan dapat terlihat maka permukaannya harus halus dengan cara melakukan proses *machining*, *grinding*, dan *polishing* kemudian pada daerah lasan dilakukan etsa dengan cairan kimia seperti Acid nitrid, Asam HCl dan juga air, agar bentuk lasan *weld metal*, HAZ, dan *fusion* dapat terlihat jelas. Dari hasil test makro ini dapat diketahui visual kualitas lasan dan bentuk lasan (Lailiyah,2017). Standar uji yang digunakan dalam pengujian ini terdiri dari standar persiapan sebelum uji struktur mikro (ASTM E3) dan standar pelaksanaan uji struktur mikro (ASTM E7). ASTM E3 (Standard Practice for Preparation of Metallographic Spesimens) berisi tentang persiapan sebelum pelaksanaan foto mikro seperti pemilihan permukaan pada spesimen, pembuatan ukuran dan juga pemotongan pada spesimen, pembersihan dan penghalusan permukaan spesimen, pelapisan spesimen (resin), proses gerinda, poles, dan proses pengetsaan. Sedangkan pada ASTM E7 (standar terminologi Relating to Metalografi) berisi tentang istilah, proses dan syarat-syarat pada uji metalografi (Avner, 1974).

2.9.2 Uji Mikro (*Micro Test*)

Uji mikro merupakan suatu metode pengujian struktur bahan melalui pembesaran dengan menggunakan mikroskop khusus metalografi. Terdapat beberapa tahapan yang harus dilalui, yaitu seperti pada penjelasan dibawah ini. Pengujian ini dapat digunakan untuk mengamati bentuk dan ukuran kristal logam, kerusakan logam akibat proses deformasi, proses perlakuan panas, dan perbedaan komposisi. Selain komposisi kimia, sifat mekanis dan sifat teknologis dari logam sangat mempengaruhi mikro struktur logam dan paduannya. Struktur mikro dari logam dapat diubah dengan perlakuan panas atau dengan proses deformasi dari logam yang akan diuji (PPNS, 2015).

Dalam melakukan persiapan 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 persyaratan untuk metalografi.

2. Pembungkakan

Tujuan dari pembungkakan 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 pembungkakan juga digunakan sebagai sarana untuk menangani sampel radioaktif.

3. Penggerindaan

Penggerindaan dilakukan untuk mengeliminasi sisi-sisi tajam dan goresan dari sampel 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. Proses pemberian Etsa

Proses pemberian etsa 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 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). 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 kemikroskop optik akan diteruskan ke lensa okuler sehingga dapat diamati.

2.10 Penelitian Terdahulu

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

No	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
1	Syaripuddin, Imam Basori, Yunata Mandala Putra, 2014	<p>Metode: Menggunakan Baja ASTM A36 pada las SMAW menggunakan kampuh Single V dan U dengan Elektroda E7018 berdiameter 3,2 mm pada polaritas DC+ dengan arus 100A, 110A, 120A dan 130A.</p> <p>Hasil: Pengujian tarik pada arus 100 ampere DC+ pada spesimen 1, 2, dan 3 memiliki kekuatan tarik sebesar 487 N/mm², 521 N/mm², dan 485 N/mm². pengujian tarik pada arus 100A DC+ pada spesimen 1 dan 3 putus pada daerah lasan sedangkan pada spesimen 2 putus pada daerah logam induk.</p> <p>Pengujian tarik pada arus 120A DC+ pada spesimen 1, 2, dan 3 memiliki kekuatan tarik sebesar 530 N/mm², 535 N/mm², dan 529 N/mm². t hasil pengujian tarik pada arus 120A DC+ pada spesimen 1, 2, dan 3 putus pada daerah lasan.</p>
2	Wayan, 2020	<p>Metode: Menggunakan baja ASTM A36 pengelasan SMAW, menggunakan Elektroda E7018, jenis kampuh yang digunakan <i>double V groove</i> dan melakukan pengujian impact</p>

metode charpy, variasi arus yang digunakan yaitu 70A, 100A, dan 130A.

Hasil: Nilai *impact* tertinggi didapatkan pada spesimen dengan variasi sudut kampuh *double V* dengan kuat arus pengelasan sebesar 100A dengan nilai *impact* sebesar 2,05 Joule/mm². Semakin tinggi kuat arus las yang dipakai maka nilai ketangguhan yang didapat akan semakin tinggi, namun setelah mencapai titik ketangguhan maksimumnya maka nilai ketangguhan akan menurun kembali pada penerapan tingkat kuat arus selanjutnya. Semakin besar sudut kampuh las yang dipakai akan menurunkan ketangguhan material.

3
Dony Perdana, Ahmad
Bazy Syarif, 2017

Metode : Elektroda untuk proses FCAW yaitu KISWEL AWS A5.20 E71T-1 diameter 1mm dengan pelindung gas CO₂, berat satu rol 15 kg. Elektroda untuk proses SMAW yaitu elektroda E7016 yang disesuaikan dengan standar AWS D1.1. Dengan material yang digunakan yaitu ASTM A36 pada konstruksi *landside upper leg*.

Hasil : Dari hasil uji tarik, pengelasan FCAW memiliki Yield Strength lebih tinggi yaitu 19,8 N/mm² sedangkan SMAW memiliki *Yield Strength* 18,8 N/mm² dan dari hasil uji kekerasan, Pada pengelasan FCAW, area logam induk nilai kekerasannya 153,22 kgf/mm² , pada logas lasan (*Weld Metal*) 289,68 kgf/mm² dan pada area HAZ 228,88 kgf/mm². Pada pengelasan SMAW, area

logam induk nilai kekerasannya 153,22 kgf/mm², pada logam lasan (*Weld Metal*) 276,44 kgf/mm² dan pada area HAZ 228,88 kgf/mm². Dari pengujian tidak merusak dengan metode *Penetrant Test* dan *Magnetic Particle Test* diketahui, terdapat *discontinuity* linier pada pengelasan SMAW sedangkan pada pengelasan FCAW tidak ditemukan *defect* maupun *discontinuity*.

4 Lailiyah, 2017

Metode : Menggunakan baja ASTM A36 dengan metode pengelasan SAW dan FCAW single V groove 60° dengan elektroda EH12K (Ø 3,2 mm) untuk SAW dengan arus 300 A, 350 A dan E71T-1C (Ø 1,2 mm) untuk FCAW dengan arus 120A.

Hasil : Pengujian impact yang dilakukan pada pengelasan SAW memperoleh nilai ketangguhan rata-rata pada daerah HAZ yaitu 1,826 J/mm² sedangkan pada daerah weld metal diperoleh nilai yaitu 0.978 J/mm². dan pada pengelasan FCAW diperoleh nilai ketangguhan rata-rata pada daerah HAZ yaitu 1,86 J/mm² dan nilai rata-rata pada daerah weld metal yaitu 1,779 J/mm². Sehingga disimpulkan bahwa pengelasan FCAW memiliki nilai ketangguhan yang lebih baik jika dibandingkan dengan pengelasan SAW. Hal ini terjadi karena adanya masukan panas yang relatif stabil.

5 Ghazvinloo, H,R and A.
Honarbakhsh Raouf,

Metode: Menggunakan elektroda AWS E70T5 berdiameter 1,6 mm dengan metode pengelasan FCAW dengan variasi arus

Pengelasan FCAW ini menggunakan konfigurasi kampuh V tunggal dengan besar sudut 60° . Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh dari berbagai parameter pengelasan FCAW pada lebar las dan kekuatan tarik logam las.

Hasil : Nilai sifat mekanik terbesar terdapat pada variasi arus las 240 A, tegangan busur 28 V dan *travel speed* 55 cm/min dengan nilai *yield strength* sebesar 357 MPa serta *ultimate tensile strength* sebesar 520,2 MPa. Nilai sifat mekanik terkecil terdapat pada variasi arus las 320 A, tegangan busur 28 V dan *travel speed* 55 cm/min dengan nilai *yield strength* sebesar 275,4 MPa serta *ultimate tensile strength* sebesar 397,8 MPa.

