

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi mengenai tinjauan dasar teori dari berbagai sumber antara lain buku teori dasar ataupun penelitian terdahulu maupun terbaru yang dapat dijadikan referensi atau acuan dalam melaksanakan penelitian dan teori yang digunakan dalam penelitian.

#### **2.1 Pengelasan**

Pengelasan adalah metode menggunakan energi panas untuk menghubungkan dua atau lebih bagian dari bahan logam yang dapat mengakibatkan material logam di daerah las menjadi panas, sehingga material logam di daerah las mengalami deformasi, perubahan metalurgi, dan tegangan *thermal*. Hal ini dekat kaitannya dengan ketangguhan, cacat las, dan retak serta memiliki efek yang fatal terhadap keamanan dari konstruksi yang dilas (Balaka, 2016).

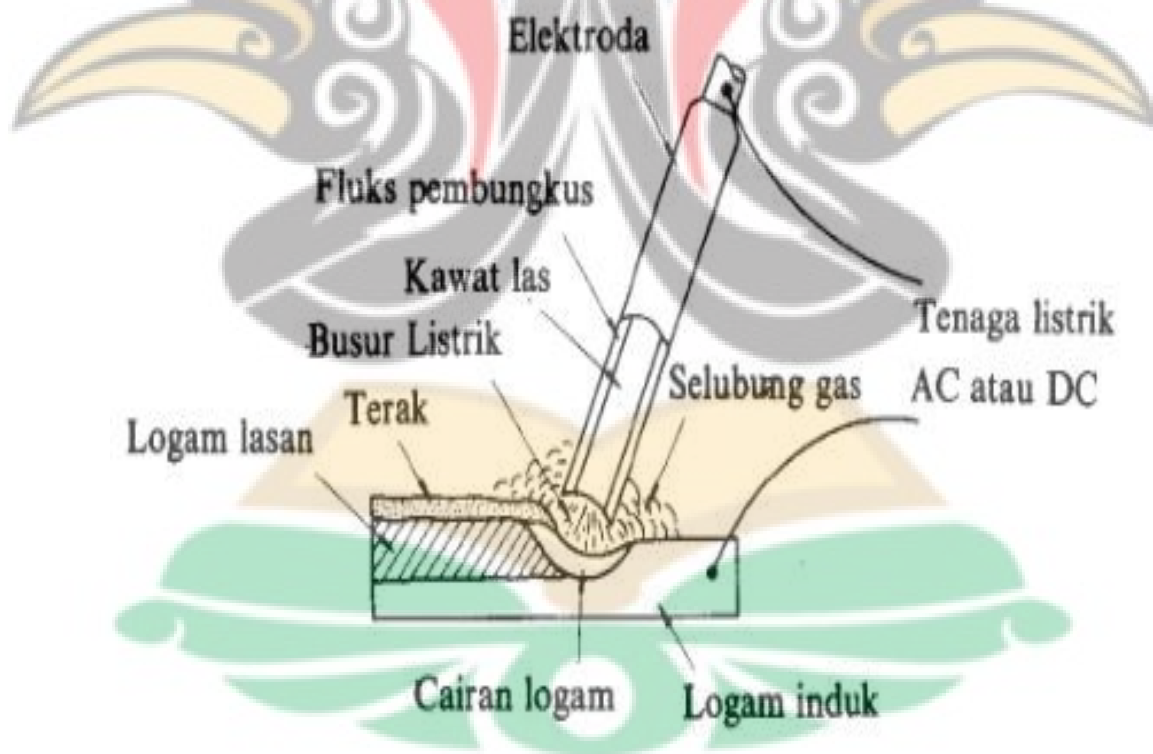
Metode penyambungan atau penggabungan material (*material joining*) secara permanen disebut dengan proses pengelasan (*welding*). Suatu metode penyambungan bahan logam dengan cara memanaskan bahan yang akan dihubungkan dengan logam pengisi sampai temperatur pengelasan untuk menghasilkan bagian bahan yang cair sehingga bahan dapat dihubungkan ataupun tanpa menggunakan logam pengisi, proses pengelasan ini berdasarkan pada *American Welding Society (AWS)* (Huda, 2016).

#### **2.2 Pengelasan SMAW**

Susunan metalurgi dari bahan logam atau bahan paduan yang bergabung dalam keadaan cair adalah pengertian pengelasan oleh *American Welding Society (AWS)*. Pemahaman ini selanjutnya dapat diuraikan bahwa pengelasan merupakan penyambungan sebagian dari beberapa bahan logam dengan memanfaatkan energi panas (Riyadi, 2013). Pengelasan yang banyak digunakan merupakan pengelasan *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*. Pengelasan *SMAW* adalah metode yang menggunakan panas untuk melelehkan elektroda dan logam induk sehingga

menyatu. Metode pengelasan SMAW dapat dilaksanakan di daerah bawah air dan di daerah darat. Proses pengelasan SMAW di daerah dalam air membutuhkan perlakuan khusus yaitu dengan cara kawat elektroda dilapisi menggunakan lilin atau selotip (Anggraeni, 2016).

Elektroda yang dipakai berupa kawat yang dilindungi oleh fluks. Selama proses pengelasan, elektroda dan logam induk meleleh dan menyatu menjadi logam las (Susetyo, 2015). Bentuk perpindahan logam cair sangat berpengaruh terhadap karakteristik mampu las dari logam. Jika perpindahan dengan menggunakan butiran yang halus, maka akan memberikan logam sifat mampu las yang sangat baik. Pola perpindahan dipengaruhi oleh arus pengelasan dan material fluks yang digunakan. Daerah logam cair pada sambungan las tertutupi oleh bahan fluks pada elektroda, selama proses pengelasan elektroda meleleh membentuk terak, hal ini juga membuat fluks berperan sebagai penghalang terjadinya oksidasi. Gambar 2.1 menunjukkan pengelasan SMAW (Santoso, 2006).



Gambar 2.1 Pengelasan SMAW (Santoso, 2006)

## 2.3 Elektroda

Elektroda memegang peranan penting dalam proses pengelasan sebagai konektor untuk dua bahan logam yang akan dilas, elektroda ini tersedia dalam berbagai jenis dan ukuran dan dijual dengan merek yang berbeda. Untuk memperoleh hasil las yang baik maka penggunaan elektroda harus disesuaikan dengan bahan yang akan dilas (Primasta, 2017).

Alat habis pakai yang digunakan dalam pengelasan adalah elektroda, elektroda las memiliki fungsi sebagai berikut :

1. Melakukan arus pengelasan dan mentransmisikan ke benda kerja.
2. Menyesuaikan benda kerja ke dalam keselarasan yang tepat dan dalam posisi tetap.
3. Sebagai pelindung logam las dari kontaminasi udara.

Elektroda dirancang untuk memberikan massa yang cukup dalam mentransferkan gaya dan arus pengelasan yang diperlukan, dan sebagai pelindung logam las dari kontaminasi udara. Aplikasi dalam produksi tinggi terkadang memerlukan komponen tebal yang memerlukan desain elektroda khusus. Jika desain harus disepakati, umur elektroda, kualitas pengelasan, kecepatan produksi, atau ketiganya dapat terpengaruh. Oleh karena itu, pemilihan material elektroda yang tepat sangat penting untuk performa yang baik (*American Welding Society*, 2007).

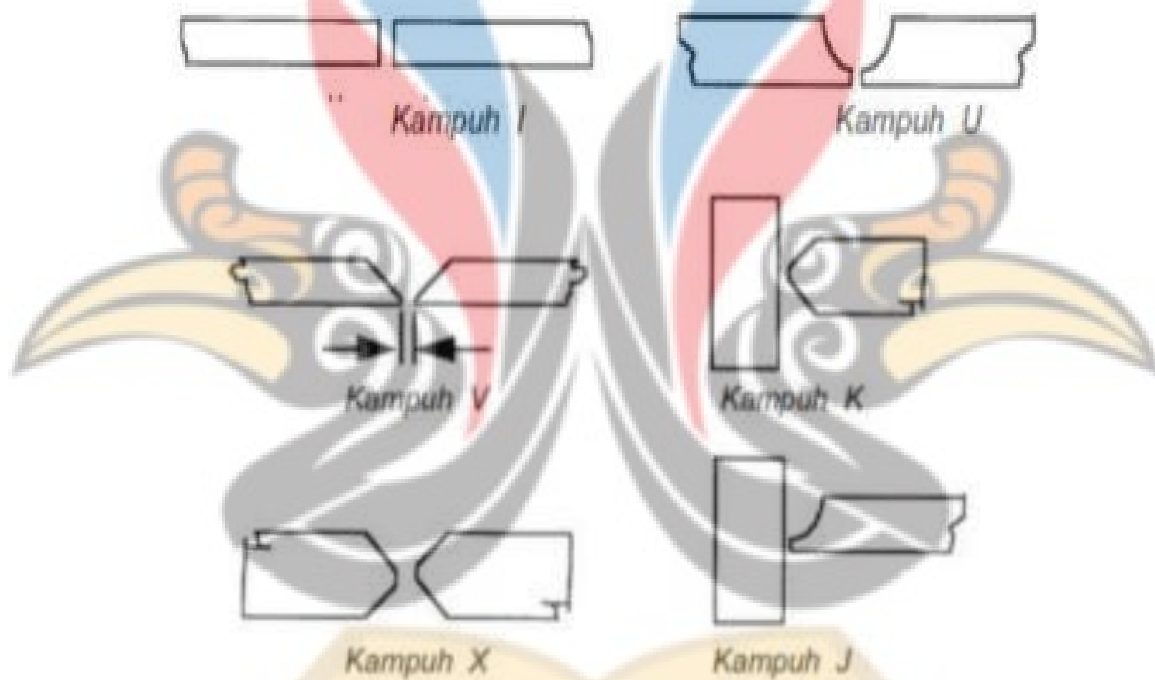
Elektroda terdiri dari material-material tertentu dengan rasio yang tertentu juga. Bahan yang digunakan diklasifikasikan sebagai bahan yang diperkuat busur. Deoksidator, penghasil gas, penghasil terak, pengikat dan elemen paduan lainnya. Bahan-bahan tersebut adalah karbonat, oksida logam, fluorida, zat organik, silikat, baja paduan dan serbuk besi (Syahrani, 2013).

## 2.4 Kampuh Las

Kampuh merupakan bagian persiapan sebelum dilakukan pengelasan. Sambungan tumpul pada umumnya terdapat kampuh las, namun kampuh las juga terdapat pada bagian sambungan sudut tertentu untuk mendapatkan standar kekuatan pada sambungan sudut. Kampuh las yang sering dipakai untuk proses fabrikasi logam dan proses pengelasan yaitu :

1. Kampuh las U (*Single U butt*)
2. Kampuh las I (*Open square butt*)
3. Kampuh las K atau Sambungan T pada dua sisi (*Reinforcement on T-butt weld*)
4. Kampuh las V (*Single V butt*)
5. Kampuh las J atau Sambungan T pada satu sisi (*Single J butt weld*)
6. Kampuh las X (*Double V butt*)

Bentuk kampuh pengelasan yang sering dipakai untuk proses fabrikasi logam dan proses pengelasan ditunjukkan pada Gambar 2.2.

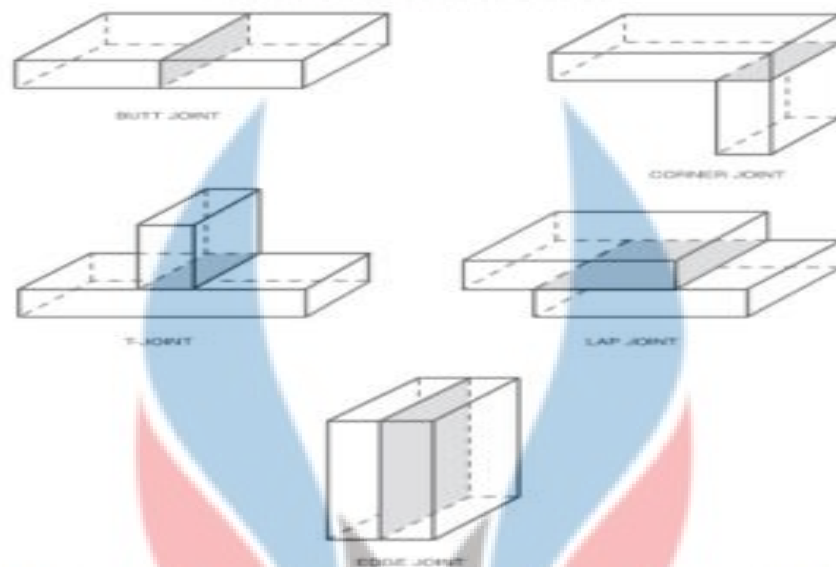


Gambar 2.2 Kampuh las (Fitrianto, 2019)

## 2.5 Sambungan Las

Simbol digunakan untuk menentukan informasi sambungan dan inspeksi, bagian ini dimulai dengan deskripsi produk yang diinginkan yaitu sambungan las. Sambungan adalah persimpangan dari bagian atau tepi bagian yang akan bergabung atau telah bergabung. Lima sambungan dasar yang digunakan dalam pengelasan adalah sambungan belakang (*butt joint*), sambungan sudut (*corner joint*), sambungan T (*T-joint*), sambungan tumpang (*lap joint*), dan sambungan tepi (*edge*

joint). Bentuk skema sambungan pengelasan ditunjukkan pada Gambar 2.3 (American Welding Society, 2001).



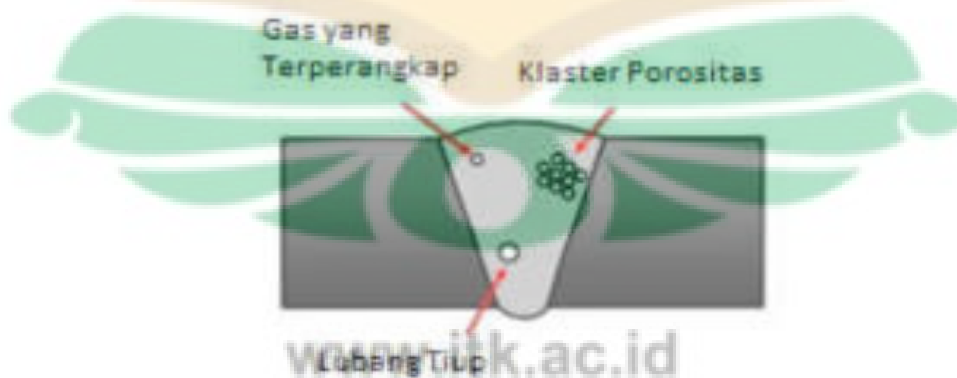
Gambar 2.3 Sambungan las (American Welding Society, 2001)

## 2.6 Cacat Las

Cacat las adalah hal yang dapat terjadi pada hasil pengelasan, hal ini adalah hal yang tidak diinginkan dan seharusnya diminimalisasi sebab bisa menurunkan standar hasil pengelasan. Cacat las diakibatkan oleh beberapa faktor yang berbeda, terutama ketika menetapkan parameter pengelasan. Berikut jenis-jenis cacat pengelasan :

### 1. Porositas

Porositas merupakan cacat yang diakibatkan karena adanya gas yang terjebak di daerah las, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Porositas (Ramadhan, 2018)

2. *Slag Inclusion*

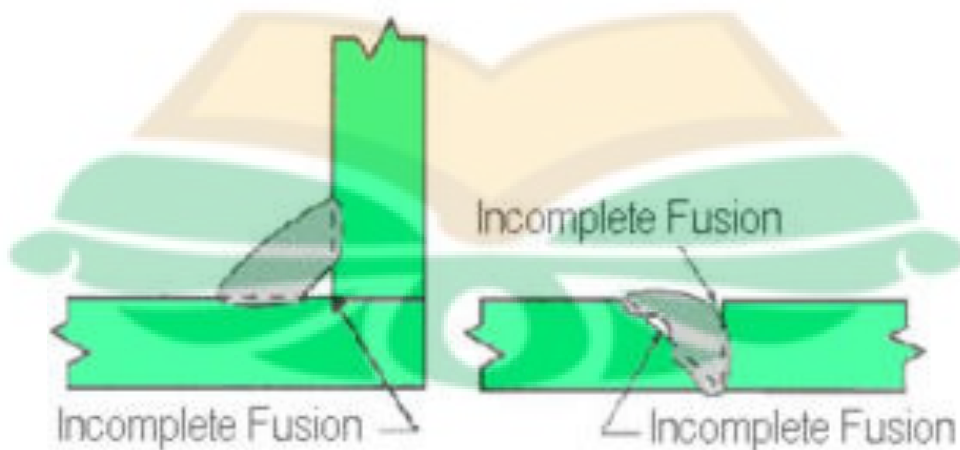
*Slag Inclusion* merupakan kontaminasi partikel yang terjebak di dalam logam hasil pengelasan, cacat tersebut disebabkan karena kurang bersihnya daerah permukaan dan fluks yang masuk di daerah logam las, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 *Slag Inclusion* (Ramadhan, 2018)

3. *Incomplete Fusion*

*Incomplete Fusion* merupakan cacat hasil pengelasan dimana tidak sepenuhnya material yang dihubungkan. Cacat ini diakibatkan oleh beberapa faktor seperti kecepatan pengelasan yang tinggi, kesalahan *welder*, kesalahan pada penggunaan arus, dan penentuan elektroda yang tidak tepat, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 *Incomplete Fusion* (Ramadhan, 2018)

4. *Cold Cracking*

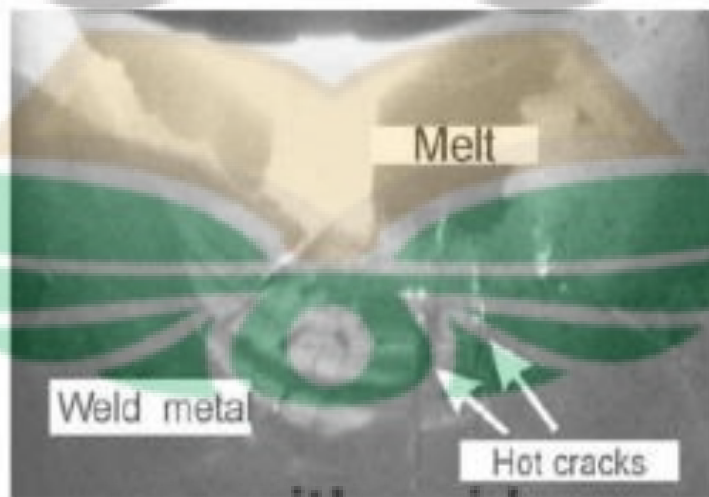
*Cold Cracking* merupakan daerah las yang retak saat temperatur telah dingin. *Cold Cracking* terjadi karena arus listrik yang digunakan rendah, pendinginan cepat, kecepatan pengelasan yang tinggi, dan tidak adanya perlakuan *preheat*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 *Cold Cracking* (Ramadhan, 2018)

5. *Hot Cracking*

*Hot Cracking* merupakan luas area las yang lebih kecil dari material, sehingga terjadi proses pendinginan dan retakan terjadi saat cairan las membeku, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 *Hot Cracking* (Ramadhan, 2018)

## 2.7 Material API 5L X52

Material yang digunakan untuk tugas penelitian adalah material *API 5L X52*. Material *API 5L X52* digunakan untuk konstruksi lepas pantai pada industri minyak dan gas. Kandungan karbon sebesar 0.05%, kandungan unsur mangan sebesar 1,03%, dan kandungan silikon 0,28%. Spesifikasi komposisi material *API 5L X52* ditunjukkan pada Tabel 2.1. Material *API 5L X52* mempunyai beberapa kategori berdasarkan nilai *tensile strength*-nya sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Komposisi Baja *API 5L X52* (Fernanda, 2019).

Komposisi	Kandungan (%)
Karbon (C)	0.05%
Mangan (Mn)	1.03%
Fosfor (P)	0.009%
Silikon (Si)	0.28%
Aluminium (Al)	0.03%
krom (Cr)	0.024%
Molibdenum (Mo)	0.002%
Nikel (Ni)	0.008%
Vanadium (V)	0.051%
Tembaga (Cu)	0.013%
Niobium (Nb)	0.037%
Titanium (Ti)	0.001%
Nitrogen (N)	0.0031%

Tabel 2.2 Sifat mekanik baja *API 5L X52* (Fernanda, 2019).

Sifat Mekanik	Nilai
Kekuatan Tarik	548 Mpa
Kekuatan <i>Yield</i>	438 Mpa
Elongasi	40%

## 2.8 Pengujian Struktur Makro dan Struktur Mikro

Metalografi dideskripsikan sebagai ilmu dan seni. Secara tradisional, metalografi mempelajari struktur mikroskopis logam dan paduan menggunakan metalografi optik, mikroskop elektron atau peralatan analisis permukaan lainnya (Technologies, 2010). Pengujian makro merupakan pengujian struktur material logam yang terlihat secara visual pada permukaan yang telah di etsa dari material



yang sudah dipoles, yang dimaksud dengan pengujian makro adalah pengamatan spesimen secara visual atau memakai kaca pembesar dengan pembesaran rendah (Kahfi, 2015).

Ilmu yang mempelajari pemeriksaan atau pengamatan karakteristik struktur mikro material logam, paduannya, dan berkaitan dengan karakteristik material logam dan paduannya merupakan ilmu metalografi. Metode yang digunakan untuk pemeriksaan metalografi adalah difraksi (sinar-X, neutron, elektron) dan mikroskop (elektron, optik), stereometric metalografi, dan juga analisis (*X-ray fluorescence*, elektron *microprobe*), yang mana bertujuan untuk melihat struktur pada logam (*ferrite*, *pearlite*, *martensite* dan *bainite*) sehingga mampu mengetahui sifat yang terdapat pada logam tersebut (Sugestian, 2019).

## 2.9 Pengujian Tarik

Uji tarik adalah pengujian untuk mengetahui nilai kekuatan tarik dari bahan uji. Pengujian ini dilaksanakan pada daerah las, dimana hal ini untuk mengetahui perbandingan kekuatan hasil las yang memiliki nilai yang lebih tinggi, lebih rendah, ataupun setara dari kelompok (*raw materials*). Beban uji tarik diterapkan pada tepi benda uji dalam arah yang berlawanan dengan gaya tarik, sehingga menyebabkan terjadinya deformasi pada spesimen yang diuji (Wicaksono, 2015).

Pengujian yang umum digunakan adalah uji tarik yang digunakan untuk mengetahui sifat mekanik bahan. Kedua ujung bahan dijepit oleh penjepit alat uji tarik. Bahan uji yang putus pada daerah las (logam yang dilas), kekuatan tariknya minimal 5% dari logam induk (*base metal*) (Syahputra, 2015).

Pada pengujian tarik beban yang diberikan mesin uji tarik bertambah perlahan-lahan secara berkelanjutan, dimana perpanjangan spesimen yang dialami benda akan dicatat sebagai data uji tarik. Hasil nilai perhitungan kekuatan tarik didapatkan menggunakan Persamaan 2.1 (Sinambela, 2020).

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

Regangan (pertambahan panjang) diperoleh dengan membagi perpanjangan panjang terukur ( $\Delta L$ ) dengan panjang ukur awal benda uji didapatkan dengan menggunakan Persamaan 2.2 (Sinambela, 2020).

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

www.itk.ac.id

Berdasarkan nilai tegangan dan regangan, didapatkan nilai Modulus Elastisitas yang didapatkan dengan menggunakan Persamaan 2.3 (Sinambela, 2020).

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.3)$$

## 2.10 Pengujian *Bending*

Kekuatan lentur atau kekuatan *bending* merupakan tegangan maksimum yang mampu ditahan material di bawah beban eksternal tanpa deformasi atau kerusakan besar. Nilai kekuatan *bending* bahan dapat diperoleh dengan melakukan uji *bending*. (Ali, 2020).

Dalam uji *bending*, tegangan tarik diterapkan pada spesimen bagian bawah dan pada bagian atas spesimen mengalami tekanan. Hal ini menyebabkan deformasi kelengkungan material dan dapat menyebabkan penampang atau sambungan antara pelat dan sambungan las retak. Material hasil pengujian *bending* dinyatakan berhasil atau *accepted* jika telah memenuhi beberapa kriteria yang terdapat pada standar. Standar kriteria untuk pengujian *bending* terdapat pada *ASME Section IX* edisi 2015 dengan kriteria pengujian *bending* sebagai berikut :

1. Daerah *Heat Affected Zone* dan *weld metal*, tidak boleh didapatkan retakan terbuka pada spesimen uji, ukuran retakan tidak lebih dari  $\frac{1}{8}$  in (3mm) diukur dari berbagai arah pada bidang permukaan lengkung material setelah dilaksanakan pengujian *bending*.
2. Retakan yang terdapat di sudut material uji ketika pengujian dapat diabaikan kecuali yang diakibatkan oleh internal *discontinuities*, *incomplete fusion* (IF) dan *slag inclusions* (SI).
3. Pada pengelasan *overlay cladding* ukuran cacat maksimal 1.6 mm

Untuk mengetahui nilai tegangan *bending* yaitu dilakukan perhitungan dengan menggunakan Persamaan 2.4 (Ali, 2020).

$$\sigma = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (2.4)$$

## 2.11 Penelitian Terdahulu

Pelaksanaan penelitian dibutuhkan evaluasi terhadap penelitian sebelumnya sebagai acuan. Data penelitian sebelumnya dapat digunakan untuk optimasi dari penelitian sebelumnya. Penelitian terdahulu dapat digunakan sebagai acuan dalam pengaruh penggunaan arus pengelasan ditunjukkan pada Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu

No.	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
1.	Awal Syahrani, 2013	<p>Metode : Pengelasan material SM490 dengan variasi arus 140 A, 150 A dan 160 A.</p> <p>Hasil :</p> <p>a. Pada pengujian spesimen tarik <i>raw material</i> diperoleh nilai rata-rata pengujian tarik yaitu (<math>\sigma</math>) = 418.55 Mpa, Nilai pengujian tarik rata-rata yang didapatkan pada spesimen uji 140 A sebesar (<math>\sigma</math>) = 468.85 Mpa, nilai pengujian tarik rata-rata yang didapatkan pada spesimen uji 150 A sebesar (<math>\sigma</math>) = 587.44 Mpa, dan terakhir Nilai pengujian tarik rata-rata yang didapatkan pada spesimen uji 160 A sebesar (<math>\sigma</math>) = 626.35 Mpa.</p> <p>b. Pada pengujian <i>bending</i>, untuk spesimen <i>raw material</i> diperoleh nilai rata-rata pengujian tarik sebesar (<math>\sigma</math>) = 38,436 Mpa, Nilai pengujian <i>bending</i> rata-rata yang didapatkan pada spesimen uji 140 A sebesar (<math>\sigma</math>) = 40,635 Mpa, Nilai pengujian <i>bending</i> rata-rata yang didapatkan pada spesimen uji 150 A sebesar (<math>\sigma</math>) = 42,484 Mpa, Nilai pengujian <i>bending</i> rata-rata yang didapatkan pada spesimen uji 160 A sebesar (<math>\sigma</math>) = 45,069 Mpa.</p>
2.	Fajar Riyadi, 2013	<p>Metode : Pengelasan SMAW baja karbon A-36.</p> <p>Hasil : Meningkatnya <i>pearlite</i> pada <i>weld metal</i> disebabkan karena <i>weld metal</i> mengalami proses pendinginan yang lebih cepat karena panas yang didapat pada <i>weld metal</i> diserap dengan cepat oleh daerah HAZ.</p>
3.	Koko Nusyi Syahputra, 2015	<p>Metode : Analisa Kegagalan Sambungan Las Pada Tiang Penyangga Dermaga</p> <p>Hasil : Nilai tegangan tarik logam las sebesar 49,34 kg/mm<sup>2</sup>, sedangkan tegangan tarik dari logam induk adalah 44,94 kg/mm<sup>2</sup>. Selisih hasil uji tarik antara logam induk dengan logam las adalah</p>

No.	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
		sebesar 4.42 kg/mm <sup>2</sup> dengan persentase perbedaan sebesar 8.62%.
4.	Ridway Balaka, 2016	<p>Metode : Pengelasan <i>jig welding</i> pada sudut elektroda 70° terhadap sifat kekerasan dan struktur mikro baja karbon rendah.</p> <p>Hasil : Perubahan arus yang digunakan dapat mempengaruhi nilai kekerasan yang didapatkan, baik pada <i>weld metal</i> maupun pada HAZ yakni pada arus 130 A yaitu sebesar 133.88 Kg/mm<sup>2</sup> dan pada arus 110 A sebesar 121.65 Kg/mm<sup>2</sup>.</p>
5.	Safira Dwi Anggraeni, 2016	<p>Metode : Pengelasan <i>SMAW</i> di daerah daratan dan di bawah air terhadap uji <i>bending</i> material A36.</p> <p>Hasil : Hasil pengujian mikro pengelasan di daerah bawah air struktur mikro membentuk martensit, <i>ferrite</i>, dan <i>pearlite</i>. Hasil pengujian mikro yang didapatkan menunjukkan fasa pengelasan di darat yang terbentuk pada daerah <i>weld metal</i>, <i>base metal</i>, HAZ dan adalah <i>ferrite</i> dan <i>pearlite</i>.</p>
6.	Redha Januar Ramadhan, 2018	<p>Metode : Pengelasan <i>SMAW</i> material biselad 600 dengan variasi arus dan jenis elektroda.</p> <p>Hasil : Hasil pengujian makro menunjukkan terdapat porositas pada daerah <i>weld metal</i>.</p>
7.	Mahesa Fernanda Aldo, 2019	<p>Metode : Pengelasan kombinasi <i>SMAW</i> dan <i>FCAW</i> pada kampuh <math>\nu</math> material <i>API 5L X52</i>.</p> <p>Hasil : Pada pengujian kekerasan semakin tinggi variasi kuat arus yang digunakan dalam proses pengelasan akan membuat nilai kekerasan menurun.</p>