



## SKRIPSI

# STUDI EKSPERIMENTAL UNTUK MENENTUKAN *DEPOSIT* *EFFICIENCY* ELEKTRODA LAS PADA PROSES PENGELASAN SMAW

Disusun dan diajukan oleh:

**DIN HAMZAH**  
**D031171306**



**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS HASANUDDIN**  
**GOWA**  
**2024**



## SKRIPSI

# STUDI EKSPERIMENTAL UNTUK MENENTUKAN *DEPOSIT* *EFFICIENCY* ELEKTRODA LAS PADA PROSES PENGELASAN SMAW

Disusun dan diajukan oleh:

**DIN HAMZAH**  
**D031171306**



**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS HASANUDDIN**  
**GOWA**  
**2024**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**STUDI EKSPERIMENTAL UNTUK MENENTUKAN  
DEPOSIT EFFICIENCY ELEKTRODA LAS PADA PROSES  
PENGELASAN SMAW**

Disusun dan diajukan oleh

**DIN HAMZAH**  
**D031171306**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian  
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 14 Mei 2024  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Wahyuddin, S.T., MT

NIP 19720205 199903 1 002

Pembimbing Pendamping,

Moh. Rizal Firmansyah, ST., MT, M. Eng

NIP 19701001 200012 1 001

Ketua Program Studi,

Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST.

NIP 197302062000121002



## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : DIN HAMZAH

NIM : D031171306

Program Studi : TEKNIK PERKAPALAN

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Studi Eksperimental Untuk Menentukan *Deposit Efficiency* Elektroda Las Pada Proses Pengelasan SMAW}

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

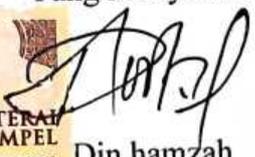
Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 14 Mei 2024

Yang Menyatakan



  
Din hamzah





## ABSTRAK

Din Hamzah / D031171306. “*STUDI EKSPERIMENTAL UNTUK MENENTUKAN DEPOSIT EFFICIENCY ELEKTRODA LAS PADA PROSES PENGELASAN SMAW*”

(Dibimbing oleh Wahyuddin, ST., MT. dan Moh. Rizal Firmansyah, ST., MT, M.Eng.)

Kapal baja saat ini telah menggunakan metode pengelasan untuk menyambung konstruksi baja dengan hasil yang lebih kuat. Proses pengelasan bertujuan untuk menyatukan sambungan antara material logam yang memiliki struktur kimia yang sama maupun berbeda. Jenis pengelasan yang umum dalam pembangunan dan reparasi kapal adalah pengelasan SMAW (shielded metal arc welding). Pada saat proses pembangunan kapal, diperhitungkan jumlah kebutuhan elektroda yang akan digunakan pada pengelasan kapal. Estimasi kebutuhan elektroda las hingga saat ini hanya berdasarkan perhitungan empirik. Salah satu pendekatan untuk menentukan kebutuhan elektroda las yaitu dengan pendekatan efisiensi deposit. Saat ini produsen dari setiap pabrikan memiliki efisiensi deposit yang berbeda. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan besaran efisiensi deposit pada sebuah spesimen dengan metode SMAW. Pada percobaan hasil ini dilakukan dengan menghitung kebutuhan elektroda las pada setiap spesimen dengan variasi ketebalan menggunakan jenis sambungan *fillet weld*, *fillet weld with profile* dan *butt joint*. Dari panjang spesimen 100 mm dengan jenis sambungan *fillet weld* diperoleh nilai penyusutan sebesar 56% - 72%. Pada sambungan *fillet weld with profile* dengan panjang pengelasan spesimen 140 mm dan 50 mm diperoleh nilai penyusutan elektroda las sebesar 52% - 61%. Pada sambungan *butt joint* dengan panjang pengelasan 100 mm nilai penyusutan yang diperoleh adalah 55% - 63%. Dari hasil perhitungan yang dilakukan secara eksperimental nilai penyusutan sebesar 2%. Perbedaan nilai penyusutan aktual ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti tingkat kepresisian atau toleransi pengerjaan dan tingkat kepadatan kampuh las.

**Kata Kunci:** *Efisiensi deposit, SMAW (Shielded Metal Arc Weld), Pengelasan*



## ABSTRACT

Din hamzah / D031171306. " *EXPERIMENTAL STUDY TO DETERMINE THE DEPOSIT EFFICIENCY OF WELDING ELECTRODES IN THE SMAW WELDING PROCESS*"

(Supervised by Wahyuddin, ST., MT. and Moh. Rizal Firmansyah, ST., MT, M.Eng.)

Steel ships today use welding methods to connect steel construction with stronger results. The welding process aims to unite joints between metal materials that have the same or different chemical structures. A common type of welding in ship construction and repair is SMAW welding (shielded metal arc welding). During the ship building process, the number of electrodes needed to be used in ship welding is taken into account. Estimates of welding electrode needs to date are only based on empirical calculations. One approach to determining the need for welding electrodes is the deposit efficiency approach. Currently manufacturers from each manufacturer have different deposit efficiencies. This research was carried out to obtain the amount of deposit efficiency on a specimen using the SMAW method. In this experiment, the results were carried out by calculating the need for welding electrodes for each specimen with varying thicknesses using the type of connection fillet weld, fillet weld with profile andbutt joint. From a specimen length of 100 mm with the type of connection fillet weld the depreciation value obtained is 56% - 72%. On connection fillet weld with profile with specimen welding lengths of 140 mm and 50 mm, the welding electrode shrinkage value was 52% - 61%. On a connectionbutt joint with a welding length of 100 mm the shrinkage value obtained is 55% - 63%. From the results of calculations carried out experimentally, the shrinkage value is 2%. Differences in actual shrinkage values can be caused by several factors such as the level of precision or workmanship tolerance and the level of weld seam density.

**Keywords:** *Deposit Efficiency, SMAW (Shielded Metal Arc Weld), Welding*



## KATA PENGANTAR



Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh

Alhamdulillah, segala puji dan syukur kepada Allah SWT, karena atas limpahan berkat dan karunia-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul “STUDI EKSPERIMENTAL UNTUK MENENTUKAN *DEPOSIT EFFICIENCY* ELEKTRODA LAS PADA PROSES PENGELASAN SMAW” yang disusun guna memenuhi salah satu persyaratan bagi setiap mahasiswa untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penyusun memahami bahwa menyelesaikan tugas akhir ini merupakan suatu pencapaian yang dapat dibanggakan tersendiri karena ada berbagai macam tantangan dan hambatan yang dialami selama proses pengerjaannya hingga akhirnya dapat terselesaikan.

Dalam pengerjaan tugas akhir ini tentunya melibatkan banyak pihak yang sangat membantu dalam berbagai hal. Oleh sebab itu penyusun ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, yaitu Ayahanda Ihsan dan Ibunda Herlina yang tak henti-hentinya memberikan kasih sayang, pengorbanan, dukungan serta doanya.
2. Bapak Wahyuddin, ST., MT. selaku Dosen pembimbing skripsi yang telah banyak memberikan masukan dan bimbingan hingga penyusun bisa menyelesaikan penelitian skripsi ini.
3. Bapak Moh. Rizal Firmansyah, ST., MT, M.Eng. selaku Dosen pembimbing skripsi yang telah banyak memberikan masukan dan bimbingan hingga penyusun bisa menyelesaikan penelitian skripsi ini.



4. Bapak Fadhil Rizki Clausthaldi ,S.T., B.Eng., dan bapak Hamzah, ST., MT. selaku dosen penguji dalam tugas akhir ini.
5. Seluruh Dosen Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan serta ilmu yang telah diajarkan.
6. Seluruh Staff Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah membantu segala urusan administrasi selama kuliah.
7. Kepada seluruh teman-teman Program Studi Teknik Perkapalan Angkatan 2017, terima kasih atas segala suka duka yang telah kita alami bersama selama berkuliah.
8. Teman-teman PER17COPE, HPMM KOM. UNHAS, DALLE PULU', dan khususnya teman-teman SAVAGE atas segala bantuan, dukungan serta masukan yang diberikan.
9. Kepada teman seperjuangan (Jefri Adam Mattemmu, Muh. Arif, Ichsanul, Irfan, dan Muh Reza Akbar) yang telah banyak membantu dan menemani dalam menyelesaikan skripsi.
10. Kepada Kanda-kanda senior dan adik-adik junior yang penyusun tidak bisa sebutkan namanya satu persatu.
11. Yang terakhir penyusun mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang telah terlibat dan berkontribusi dalam proses pengerjaan tugas akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penyusun menyadari bahwa di dalam tugas akhir ini masih banyak terdapat kesalahan dan kekurangan. Oleh karenanya penyusun memohon maaf dan berharap masukan berupa saran dan kritikan yang bersifat membangun demi kesempurnaan penelitian ini. Akhir kata penyusun berharap semoga penelitian ini dapat memberi manfaat baik kepada penyusun sendiri maupun kepada semua pihak yang berkenan untuk membaca dan mempelajarinya.

Gowa, .... Januari 2024



## DAFTAR ISI

SAMPUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR NOTASI.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang masalah .....	1
1.2 Rumusan masalah .....	2
1.3 Batasan masalah.....	2
1.4 Tujuan menelitian .....	3
1.5 Manfaat penelitian .....	3
1.6 Sistematika penulisan .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Teknik produksi kapal sistem blok.....	5
2.2 Welding procedure specification (WPS) .....	8
2.3 Pengertian pengelasan .....	9
2.4 Las SMAW ( <i>shielded metal arc welding</i> ) .....	10
2.5 Posisi pengelasan.....	11
2.6 Klasifikasi bentuk sambungan las .....	12
2.7 Elektroda.....	13
2.8 Deposit efisiensi.....	15



BAB III METODE PENELITIAN.....	18
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian .....	18
3.2 Objek Penelitian.....	18
3.3 Jenis Penelitian .....	18
3.4 Jenis Data.....	18
3.5 Teknik Analisis.....	18
3.5.1 Persiapan Penelitian.....	19
3.5.2 Identifikasi jenis sambungan .....	19
3.5.3 Menyiapkan spesimen .....	19
3.5.4 Menghitung isian las.....	23
3.5.5 Pengelasan sampel.....	24
3.5.6 Menghitung jumlah elektroda yang terpakai .....	25
3.5.7 Menghitung besaran deposit efisiensi pengelasan.....	25
3.5.8 Membandingkan besaran deposit efisiensi elektroda las secara empirik dan secara eksperimental .....	25
3.6 Kerangka Pikir.....	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	27
4.1 Kebutuhan isian las.....	27
4.2 Berat elektroda yang dikonsumsi.....	29
4.3 Besaran deposit efisiensi las .....	33
4.4 Perbandingan nilai penyusutan elektroda las secara empirik dan eksperimental .....	34
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	37
5.1 Kesimpulan.....	37
5.2 Saran .....	37
DAFTAR PUSTAKA .....	39
LAMPIRAN.....	39



## DAFTAR NOTASI

$W_{bw}$	= berat pengelasan datar (gram)
$W_{fw}$	= berat pengelasan sudut (gram)
$A$	= luas bidang kampuh las ( $\text{mm}^2$ )
$L_{welding}$	= panjang pengelasan (mm)
$\rho$	= massa jenis elektroda ( $\text{g/cm}^3$ )
$g$	= jarak antar sambungan pelat (mm)
$W$	= panjang <i>welding cap</i> (mm)
$t$	= tebal pelat (mm)
$h$	= tinggi <i>welding cap</i> (mm)
$Z$	= panjang kaki las (mm)



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Metode perakitan seksi assembly .....	5
Gambar 2 Metode perakitan berlapis (sumber: Wahyuddin, 2011) .....	7
Gambar 3 Prinsip kerja las listrik (sumber: Riswan, 2008).....	10
Gambar 4 Kode ISO posisi las pipa (sumber: 2008).....	11
Gambar 5 Kode ISO posisi las flat (sumber: 2008).....	12
Gambar 6 Berbagai bentuk sambungan las (sumber: Riswan, 2008).....	12
Gambar 7 Elektroda NIKKO STELL RD-460 .....	13
Gambar 8 Welding table (sumber: PT IKI Makassar).....	15
Gambar 9 Kampuh las tumpul.....	16
Gambar 10 Kampuh las sambungan sudut .....	17
Gambar 11 Ukuran minimum fillet weld (sumber: AWS D1.1) .....	17
Gambar 12 Welding table (sumber: PT IKI Makassar).....	19
Gambar 13 Material pelat untuk sampel.....	20
Gambar 14 Proses pemotongan plat .....	22
Gambar 15 Pelabelan spesimen.....	22
Gambar 16 Sambungan fillet dan sambungan butt.....	23
Gambar 17 Pengelasan sampel .....	24
Gambar 18 Pengukuran sisa elektroda .....	25
Gambar 19 Komponen dimensi sambungan butt 8 mm .....	27



## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Alat dan bahan .....	20
Tabel 2. Jumlah sampel yang dibutuhkan untuk eksperimen .....	21
Tabel 3. Dimensi masing-masing sampel .....	21
Tabel 4. Panjang pengelasan spesimen sambungan fillet weld .....	23
Tabel 5. Panjang spesimen untuk sambungan fillet dengan profil .....	24
Tabel 6. Panjang spesimen untuk sambungan butt weld .....	24
Tabel 7. Pengelasan secara teoritis .....	28
Tabel 8. Jumlah batang elektroda yang terpakai pada spesimen fillet weld	30
Tabel 9. Jumlah batang elektroda yang terpakai pada spesimen fillet weld dengan profil .....	30
Tabel 10. Jumlah batang elektroda yang terpakai pada spesimen butt weld	31
Tabel 11. Berat elektroda yang dikonsumsi pada sambungan fillet weld ...	32
Tabel 12. Berat elektroda yang dikonsumsi pada fillet weld dengan profil	32
Tabel 13. Berat elektroda yang dikonsumsi pada sambungan butt weld.....	33
Tabel 14. Deposit efisiensi elektroda las pada sambungan fillet weld .....	33
Tabel 15. Deposit elektroda las pada sambungan fillet weld dengan profil	34
Tabel 16. Deposit efisiensi elektroda las pada sambungan butt weld .....	34



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Persiapan alat dan bahan .....	40
Lampiran 3. pemotongan material plat .....	41
Lampiran 2. Pembersihan dengan angle grinder .....	41
Lampiran 4. Pelabelan plat sampel .....	41
Lampiran 5. Pengukuran panjang elektroda dan berat elektroda .....	42
Lampiran 6. Pengelasan sampel plat .....	43
Lampiran 7. Contoh hasil pengelasan .....	44
Lampiran 8. Pengukuran panjang sisa elektroda .....	45

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang masalah

Pada era sebelum perang dunia II kapal baja menggunakan konstruksi keling namun seiring perkembangan teknologi ditemukan metode pengelasan atau *welding* untuk menyambung konstruksi baja dengan hasil yang lebih kuat. Proses pengelasan bertujuan untuk menyatukan sambungan antara material logam yang memiliki struktur kimia yang sama maupun berbeda. Menurut Jeffus dalam Arifin & Hendrianto (2018) *Welding* didefinisikan sebagai "proses penggabungan bahan dengan cara memanaskannya sampai suhu pengelasan, dengan atau tanpa penerapan tekanan dan dengan atau tanpa penggunaan logam pengisi".

Dalam proses pengelasan terdapat berbagai macam jenis proses pengelasan. Namun, proses pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) merupakan yang paling umum digunakan dalam bidang industri logam, termasuk salah satunya dalam industri pembangunan dan reparasi kapal. Pengelasan SMAW dilakukan dengan memanfaatkan sumber panas dari listrik dan bahan pengisi atau *filler*. Sejalan dengan perkembangan ini, ditemukan metode produksi kapal dengan sistem blok. Dimana kapal dibagi dalam beberapa seksi atau blok yang pembangunannya dapat dilakukan secara terpisah. Setiap blok biasanya sudah dilengkapi dengan beberapa *outfitting*, kemudian digabungkan dalam proses *erection* sehingga terbentuk satu bangunan kapal yang utuh.

Pada saat proses pembangunan kapal, diperhitungkan jumlah kebutuhan elektroda yang akan digunakan pada pengelasan kapal. Dalam perakitan konstruksi bangunan kapal khususnya dalam pengerjaan pengelasan salah satunya meliputi kebutuhan elektroda. Estimasi kebutuhan elektroda las hingga saat ini hanya berdasarkan perhitungan empirik. Dalam menentukan kebutuhan elektroda hingga saat ini melalui pendekatan berdasarkan laju konsumsi dan deposit efisiensi. Efisiensi deposit (*deposit efficiency*) adalah perbandingan antara berat total elektroda yang diendapkan ke dalam sambungan las dengan berat elektroda las yang



di lelehkan. Nilai efisiensi ini merupakan merupakan persentase isian las terpakai setelah terjadi penyusutan. Menurut (Kobelco, 2022) nilai efisiensi deposit untuk jenis elektroda terbungkus yaitu 55 % dan menurut ESAB yaitu 59 %.

Maka melihat kasus ini penulis ingin mencoba membandingkan efisiensi deposit elektroda las dari perhitungan empirik dengan hasil studi eksperimental pada pengelasan spesimen. Oleh karena itu diajukan penelitian dengan judul “**Studi Eksperimental Untuk Menentukan Besaran *Deposit Efficiency* Elektroda Las Pada Proses Pengelasan SMAW**”

## 1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka rumusan masalah pada penitian ini adalah sebagai berikut.

1. Berapa besaran efisiensi deposit las secara eksperimental?
2. Berapa perbandingan besaran efisiensi deposit las secara empirik dan secara eksperimental?

## 1.3 Batasan masalah

Agar penelitian dapat lebih terfokus dan terarah maka akan disederhanakan pembahasan masalahnya dengan memperhatikan batasan masalah, diantaranya:

1. Jenis pengelasan yang digunakan adalah SMAW (*Shield Metal Arc Welding*)
2. Jenis elektroda yang digunakan adalah *carbon steel* dengan diameter 3.2 mm
3. Jenis sambungan yang digunakan yaitu *butt joint* dan *fillet joint* yang mengacu pada desain konstruksi las dan WPS kapal ferry yang telah dibuat di PT. IKI



#### **1.4 Tujuan penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Memperoleh besaran efisiensi deposit las secara eksperimental.
2. Membandingkan antara besaran efisiensi deposit las secara empirik dan eksperimental.

#### **1.5 Manfaat penelitian**

Penelitian ini bermanfaat untuk mengetahui efisiensi deposit elektroda las yang dilakukan secara eksperimental serta sebagai salah satu pertimbangan ketika menentukan kebutuhan jumlah elektroda las kapal.

#### **1.6 Sistematika penulisan**

Agar semua materi pembahasan dapat tersaji secara sistematis dan terarah serta memudahkan pembaca, maka penulisan akan diuraikan dalam beberapa bab yang kemudian dikembangkan ke dalam beberapa sub bab. Adapun penjabaran kerangka penulisan sbagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN, pada bab ini penulis menguraikan mengenai latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, serta sistematika penulisan

BAB II LANDASAN TEORI, pada bab ini membahas mengenai teori yang berhubungan dengan penelitian studi eksperimental efisiensi deposit las untuk menentukan besaran efisiensi deposit elektroda las.

BAB III METODE PENELITIAN, dalam bab ini dibahas mengenai jenis penelitian, lokasi dan waktu penelitian, jenis dan metode pengambilan data, variable data, dan diagram alur penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN, dalam bab ini di uraikan mengenai hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan serta mengolah data-data hasil eksperimen.



BAB V PENUTUP, bab ini menjelaskan mengenai kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan serta pada bab ini juga berisikan saran-saran agar nantinya dapat digunakan sebagai pertimbangan untuk pengembangan lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA, berisikan literatur-literatur yang digunakan dalam penelitian ini.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Teknik produksi kapal sistem blok

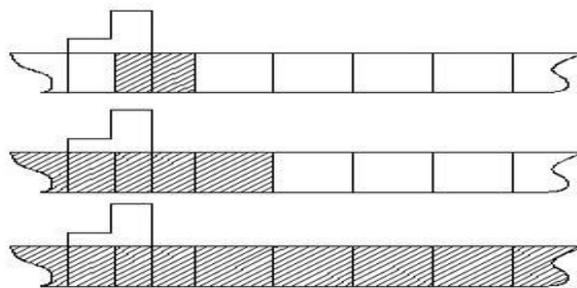
Ada banyak metode yang dapat diterapkan dalam proses pembangunan kapal baru, pemilihan metode ini dipengaruhi oleh banyak faktor seperti tipe kapal, ukuran kapal dan fasilitas galangan tempat kapal dibangun. Salah satu metode yang digunakan dalam membangun kapal baru adalah metode sistem blok, secara sederhana metode ini membuat pembangunan badan kapal dibagi kedalam beberapa potongan yang disebut dengan blok.

“Sistem blok adalah suatu sistem yang membagi seluruh badan kapal menjadi beberapa bagian atau blok dan tiap-tiap blok dibuat pada suatu tempat yang terpisah dan bila tiap-tiap blok tersebut selesai maka blok-blok ini disambung.” (Wahyuddin, 2011):

Pengembangan pembangunan kapal dengan sistem blok dibagi menjadi 2 metode yaitu metode seksi *assembly* dan metode berlapis.

a) Metode seksi *assembly*

Yaitu metode yang pengembangan erectionnya berfokus pada arah vertikal dan penurunan yang ditetapkan pada satu blok dimulai dari dasar hingga ke *upper deck*.



Gambar 1 Metode perakitan seksi *assembly*



keterangan:

1. n1 hari kalender *keel laying*: kamar mesin dan bagian bagian tangki parsial telah lengkap.
2. n2 hari kalender setelah *keel laying*: bagian belakang kapal/*stern* dan bagian-bagian tangki telah menyambung.
3. n3 hari kalender setelah *keel laying*: bagian belakang/*stern* dan bagian depan/*bow* telah selesai atau lengkap.

Kelebihan dari metode ini adalah:

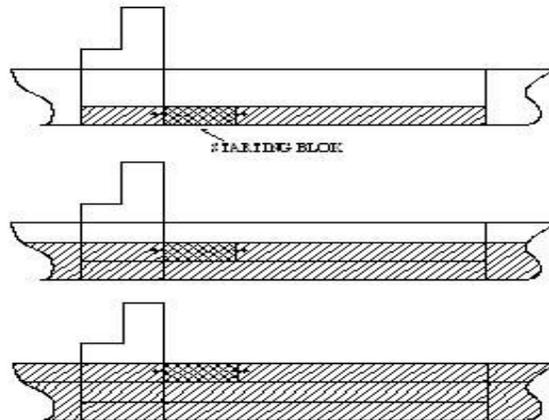
1. Oleh karena pembangunannya ditetapkan bahwa satu tangki pada satu waktu, maka pemeriksaan tangki menjadi cepat dan penggunaan peralatan dan permesinaan untuk ditangki menjadi mudah.
2. Pelaksanaan *grand assembly* dari blok-blok didarat menjadi lebih mudah dan dapat diharapkan terjadinya peningkatan efisiensi yang tinggi, sebab adanya derajat keselamatan kerja yang tinggi.

Kelemahan dari metode ini, yakni:

1. Karena pengembangan awal dari dasar kapal tidak memungkinkan waktu kosong antara pembangunan dari kapal-kapal berbeda tidak dapat diserap, sehingga menyulitkan untuk menyamaratakan beban pekerja.
2. pekerjaan yang campur aduk akan sering terjadi sehingga akan memperbesar pengaruh buruk pada lingkungan kerja.
3. Karena pekerjaan pada dasar kapal, sekat melintang, pelat kulit, *upper deck* dan bagian yang lain dicampur atau dengan kata lain dikerjakan bersamaan maka ketebalan pelat dan ukurannya berbeda, sehingga hal ini akan menimbulkan kondisi naik dan turun dalam pembuatan distribusi pekerjaan untuk para pekerja akan menjadi sulit. Oleh karena itu keadaan naik dan turunnya dalam batas area dan pembagian pekeja lebih seperti yang sering terjadi selama tahap *assembly*.

b) Metode berlapis

Pada metode ini perakitan kapal berfokus pada arah horizontal dari blok permulaan, sehingga dimulai dari blok bottom, sekat-sekat dan seterusnya.



Gambar 2 Metode perakitan berlapis (sumber: Wahyuddin, 2011)

keterangan:

1.  $n_1$  hari kalender *keel laying*: perakitan dari bagian dasar.
2.  $n_2$  hari kalender setelah *keel laying*: perakitan bagian bawah dari sekat-sekat dan pelat kulit.
3.  $n_3$  hari kalender setelah *keel laying*: pengembangan bagian atas sekat-sekat dan pelat kulit dan perakitan *upper deck*.

Kelebihan dari metode ini adalah:

1. Oleh karena suatu pertimbangan bahwa sejumlah pekerja akan terlibat pada saat pelaksanaan *erection*, maka waktu luang yang terjadi sebelum dan setelah peluncuran kapal dapat diatasi dengan cepat. metode ini sangat efektif untuk perakitan awal pada bagian dasar yang relatif melibatkan jumlah pekerja lebih besar.
2. Sebab pekerja-pekerja yang sama dapat terlibat dalam pekerjaan yang sama dalam suatu waktu/masa yang sudah pasti, penyempurnaan dalam efisiensi tidak diharapkan melalui spesialisasi.

3. Tidak ada pekerjaan kearah vertikal dan pekerjaan yang campur aduk dapat dihindari, sehingga lingkungan kerja dapat menjadi baik, kerja menjadi aman dan hal ini akan meningkatkan efisiensi besar.
4. Jika hanya metode pelapisan yang digunakan, maka secara sekwen lokasi-lokasi pekerja akan bergerak/berpindah dari dasar kapal ke sekat melintang dan sekat memanjang, pelat kulit dan akhirnya ke *upper deck*, sehingga pekerjaan tersebut dapat diselesaikan dengan hanya beberapa pekerja saja dan hal ini mempermudah untuk membagi rata pekerjaan. Oleh karena blok-blok yang sama dikerjakan dalam waktu yang sama, maka langkah untuk otomatisasi dan penggunaan permesinan pada tahap di *assembly* menjadi lebih mudah.

Kelemahan dari metode ini, yakni:

1. Dibandingkan dengan perakitan kearah memanjang, maka penyelesaian pekerjaan kearah vertikal akan menjadi lambat, sehingga penyelesaian kompartemen kapal secara individual akan menjadi lambat dan inspeksi tangka-tangki dan pekerjaan *outfitting* akan menjadi menurun. Secara umum keinginan untuk memperpendek waktu pembangunan dan peningkatan produksi tidak dapat diharapkan.
2. Derajat deformasi dari bentuk kapal menjadi besar, khususnya permintaan pada bagian depan (*bow*) dan belakang (*stern*) kapal akan bertambah besar sehingga ketepatan akhir dari kapal akan menjadi jelek.

## 2.2 Welding procedure specification (WPS)

*Welding procedure spesification* (WPS) adalah dokumen tertulis resmi yang menjelaskan prosedur pengelasan, yang memberikan arahan kepada *welder* atau operator pengelasan agar menghasilkan pengelasan yang baik dan berkualitas sesuai dengan persyaratan. Tujuan dari dokumen tersebut yaitu untuk memandu tukang las sesuai dengan prosedur yang ditetapkan sehingga diperoleh pengelasan yang dapat diulang dan terjamin kualitasnya.

Prosedur Pengelasan (WPS) adalah suatu perencanaan untuk pelaksanaan pengelasan yang meliputi cara pembuatan konstruksi pengelasan yang sesuai dengan rencana dan spesifikasinya dengan menentukan semua hal yang diperlukan

dalam pelaksanaan tersebut. Karena itu mereka yang menentukan prosedur pengelasan harus mempunyai pengetahuan dalam hal pengetahuan bahan dan teknologi pengelasan itu sendiri serta dapat menggunakan pengetahuan tersebut untuk efisiensi dari suatu aktivitas produksi.

WPS dikembangkan untuk setiap paduan material dan untuk setiap jenis pengelasan yang digunakan. Code khusus dan/atau asosiasi engineering seringkali menjadi kekuatan pendorong di belakang pengembangan WPS perusahaan. WPS didukung oleh Catatan Kualifikasi Prosedur (PQR atau WPQR). PQR adalah catatan uji las yang dilakukan dan diuji lebih ketat untuk memastikan bahwa prosedur tersebut akan menghasilkan las yang baik. Tukang las individu disertifikasi dengan tes kualifikasi yang didokumentasikan dalam *Welder Qualification Test Record* (WQTR) yang menunjukkan bahwa mereka memiliki pemahaman dan kemampuan yang ditunjukkan untuk bekerja dalam WPS yang ditentukan.

### 2.3 Pengertian pengelasan

Berdasarkan definisi dari DIN (Deutch Industrie Normen), las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Pengelasan adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang kontinyu. Sambungan las banyak digunakan dengan pertimbangan bahwa konstruksi ringan, murah dan pengerjaan cepat (Harsono dkk, 1991).

Pengelasan dapat diartikan dengan proses penyambungan dua buah logam sampai titik rekristalisasi logam, dengan atau tanpa menggunakan bahan tambah dan menggunakan energi panas sebagai pencair bahan las. Pengelasan juga dapat diartikan sebagai ikatan tetap dari benda atau logam yang dipanaskan. Mengelas bukan hanya memanaskan dua bagian benda sampai mencair dan membiarkan membeku kembali, tetapi membuat lasan utuh dengan cara memberikan bahan

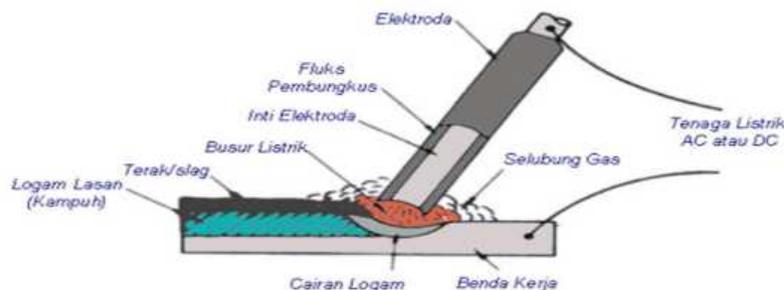
tambah atau elektroda pada waktu dipanaskan sehingga mempunyai kekuatan seperti perencanaan. Kekuatan sambungan las dipengaruhi beberapa faktor antara lain: prosedur pengelasan, bahan, elektroda dan jenis kampuh.

## 2.4 Las SMAW (*shielded metal arc welding*)

Salah satu varian dari metode pengelasan yang sering digunakan yaitu las listrik busur elektroda terlindungi atau lebih dikenal dengan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dimana pengelasan ini memanfaatkan sumber panas dari listrik dan bahan pengisi atau *filler* yang terbungkus pada elektrodanya.

Terkadang dua logam yang disambung dapat menyatu secara langsung, namun terkadang masih diperlukan bahan tambahan lain agar deposit logam lasan terbentuk dengan baik, bahan tersebut disebut bahan tambah (*filler metal*). *Filler metal* biasanya berbentuk batangan, sehingga biasa dinamakan *welding rod* (Elektroda las). Pada proses las, *welding rod* dibenamkan ke dalam cairan logam yang tertampung dalam suatu cekungan yang disebut *welding pool* dan secara bersama-sama membentuk deposit logam lasan ... (Riswan, 2008).

Dalam proses pengelasan SMAW akan terjadi dua tahap perlindungan yang bertujuan untuk mencegah terjadinya oksidasi dan perubahan komposisi kimiawi pada cairan logam dikarenakan hal ini akan berdampak pada kekuatan hasil las yang berkurang dan mempercepat korosi, tahap perlindungan yang dimaksud yaitu perlindungan pada saat logam dicairkan oleh gas-gas yang terbentuk pada saat proses pembakaran serta perlindungan pada saat proses pembekuan logam oleh terak atau slag.



Gambar 3 Prinsip kerja las listrik (sumber: Riswan, 2008)

## 2.5 Posisi pengelasan

Posisi dalam proses pengelasan sangat berpengaruh terhadap bentuk deposit dari kampuh las yang selanjutnya berefek pada kekuatan dan ketahanan hasil las, hal ini dikarenakan hampir sebagian besar proses pengelasan dilakukan dengan proses LSW (*Liquid State Welding*) yaitu dimana proses pengelasan dapat terjadi karena kedua ujung material dicairkan oleh suhu yang sangat tinggi.

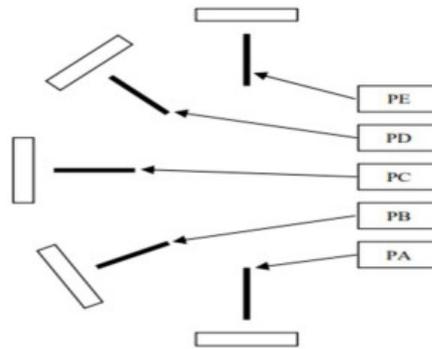
Dalam dunia industri posisi pengelasan perlu diberi kode tertentu agar tidak terjadi kekeliruhan dalam menentukan juru las serta prosedur pengelasannya. Ada dua macam pengkodean yang dikenal dalam dunia industri yaitu AWS (*American Welding Society*) dan ISO (*International Standard Organization*)

Berdasarkan kode yang ditetapkan oleh AWS, posisi las dikaitkan pada jenis teknik sambungan las, jika sambungan berkampuh (*groove*) maka kode posisinya dengan huruf G, untuk posisi *down-hand* 1G, horisontal 2G, vertikal 3G, *over-head* 4G, pipa dengan sumbu horisontal 5G, dan pipa miring  $45^\circ$  6G. Jika sambungan las tidak berkampuh/tumpul (*fillet*) maka kodenya adalah F, untuk posisi *down-hand* 1F, horisontal 2F, vertikal 3F, dan *over-head* 4F (Riswan, 2008).

Sistim kode posisi las yang ditetapkan ISO berbeda dengan AWS. Kode posisi las menurut ISO didasarkan pada posisi elektroda saat pengelasan dilakukan, untuk pengelasan plat diberi kode PA, PB, PC, PD, dan PE, sedangkan pengelasan pipa naik PF dan pipa turun PG (Riswan, 2008).



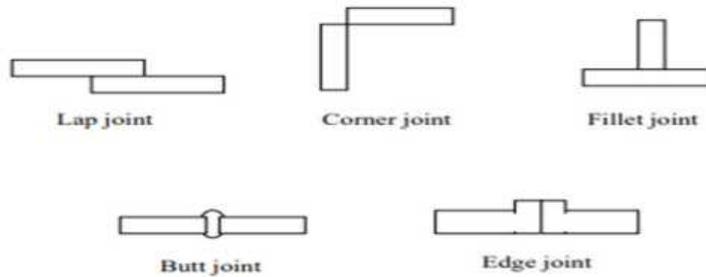
Gambar 4 Kode ISO posisi las pipa (sumber: 2008)



Gambar 5 Kode ISO posisi las flat (sumber: 2008)

## 2.6 Klasifikasi bentuk sambungan las

Dalam proses penyambungan besi dengan pengelasan terdapat beberapa bentuk dasar yang dikenal diantaranya yaitu *lap joint*, *corner joint*, *fillet joint*, *butt joint* dan *edge joint*.



Gambar 6 Berbagai bentuk sambungan las (sumber: Riswan, 2008)

a) *Lap joint*

Merupakan jenis sambungan dimana material diletakkan bertumpuk atau tumpang tindih, biasanya diaplikasikan pada objek berbentuk pelat seperti pada pelat *doubling* dan dapat di las pada satu atau kedua sisinya.

b) *Corner joint*

Merupakan jenis sambungan yang terbentuk pada bagian sudut material yang di las.

c) *Fillet joint*



Sambungan ini juga disebut *T joint* karena membentuk huruf T dengan sudut 90 derajat dengan satu bagian yang terletak di tengah bagian lainnya.

d) *Butt joint*

Merupakan bentuk sambungan tumpul dimana bagian material yang disambung terlebih dahulu di bevel agar elektroda las dapat terpenetrasi dengan penuh pada sambungan.

e) *Edge joint*

Merupakan sambungan yang menggabungkan dua objek secara paralel yang dapat dibuat sejajar atau memiliki *flens*.

## 2.7 Elektroda

Elektroda merupakan bahan yang digunakan dalam proses pengelasan busur listrik, elektroda berdasarkan klasifikasi AWS (*American Welding society*) dinyatakan dengan tanda E XXXX dengan arti sebagai berikut:



Gambar 7 Elektroda NIKKO STEEL RD-460

1. E menyatakan elektroda busur listrik
2. XX dua angka setelah huruf E menunjukkan kekuatan tarik deposit las minimum x 100 psi
3. X digit ketiga menyatakan posisi pengelasan, angka 1 berarti untuk semua posisi, angka 2 berarti elektroda dapat digunakan untuk posisi *down hand*, angka 3 berarti hanya dapat digunakan untuk posisi *down hand* saja, angka 4 mengartikan dapat digunakan untuk semua posisi kecuali arah turun.

4. X digit ke empat menyatakan jenis selaput dan jenis arus yang cocok untuk dipakai.

Elektroda jenis ini merupakan jenis elektroda terumpun yaitu elektroda berbentuk batang atau kawat yang diumpankan sebagai logam pengisi dalam pengelasan busur. Panjang batang las pada umumnya sekitar 9 sampai 18 in. (225 sampai 450 mm) dengan diameter  $\frac{1}{4}$  in. (6,5 mm) atau kurang. Kelemahan dari elektroda bentuk batang, selama pengoperasiannya harus diganti secara periodik, sehingga memperkecil waktu busur dalam pengelasan. Elektrode bentuk kawat memiliki kelebihan bahwa pengumpanan dapat dilakukan secara kontinu karena kawat memiliki ukuran jauh lebih panjang dibandingkan dengan elektroda bentuk batang. Baik elektroda bentuk batang maupun bentuk kawat kedua-duanya diumpankan ke busur listrik selama proses dan ditambahkan ke sambungan las-an sebagai logam pengisi (Siswanto, 2018).

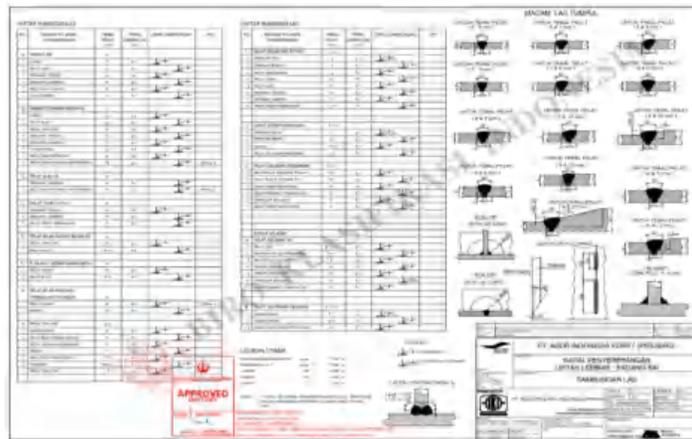
Pelindung busur pada suhu tinggi dalam pengelasan busur, logam yang disambung sangat mudah bereaksi dengan oksigen, nitrogen, dan hidrogen dalam udara bebas. Reaksi ini dapat memperburuk sifat mekanis sambungan las-an. Untuk melindungi pengelasan dari pengaruh yang tidak diinginkan tersebut, digunakan gas pelindung dan/atau fluks untuk menutup ujung elektroda, busur, dan genangan las-an cair, sehingga tidak berhubungan secara langsung dengan udara luar sampai logam las-an tersebut menjadi padat (Siswanto, 2018).

*Fluks*, digunakan untuk mencegah terbentuknya oksida dan pengotoran lainnya. Selama proses pengelasan, *fluks* melebur dan menjadi terak cair, menutup operasi dan melindungi logam lasan lebur. Terak akan mengeras setelah pendinginan dan harus dilepaskan dengan cara dipecahkan. Fluks biasanya diformulasikan untuk melakukan beberapa fungsi, seperti: memberikan perlindungan pengelasan terhadap pengaruh udara luar, untuk menstabilkan busur, dan untuk mengurangi terjadinya percikan.

Metode pemakaian fluks berbeda untuk setiap proses. Teknik pemberian *fluks* dapat dilakukan dengan cara:

1. Menuangkan butiran *fluks* pada operasi pengelasan,
2. Menggunakan elektroda batang yang dibungkus dengan *fluks* dan *fluks* tersebut akan melebur selama pengelasan untuk menutup operasi, dan
3. Menggunakan *fluks* yang ditempatkan dalam inti elektrode tabular dan *fluks* dilepaskan pada saat elektroda diumpankan.

*Welding table* merupakan sebuah dokumen yang telah disetujui oleh biro klasifikasi berisikan informasi mengenai daftar sambungan-sambungan pengelasan yang terdapat pada sebuah desain konstruksi yang mencantumkan bagian-bagian yang akan dihubungkan.



Gambar 8 *Welding table* (sumber: PT IKI Makassar)

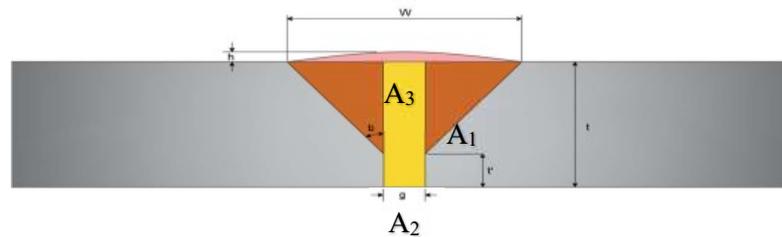
## 2.8 Deposit efisiensi

Nilai deposit efisiensi ini merupakan persentase isian las terpakai setelah terjadi penyusutan. Menurut (Kobelco, 2022) nilai efisiensi deposit untuk jenis elektroda terbungkus yaitu 55 %. Adapun nilai efisiensi deposit menurut ESAB untuk jenis elektroda terbungkus yaitu 59 %. Untuk menghitung deposit efisiensi digunakan persamaan dengan rumus berikut:

$$\text{Deposit efisiensi} = \frac{\text{isian las yang dibutuhkan}}{\text{Berat elektroda dikonsumsi}} \quad (2.1)$$



Untuk mengetahui massa dari hasil pengelasan dapat diketahui dengan cara menghitung volume pengelasan, panjang pengelasan lalu dikalikan dengan massa jenis kawat las.



Gambar 9 Kampuh las tumpul

Berat dari kampuh las tumpul didapatkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$W_{bw} = A \times L_{welding} \times \rho \quad (2.2)$$

Dimana:

$W_{bw}$  = *Weight of butt weld* (massa dari las tumpul)

$A$  = luas bidang kampuh las tumpul

$L_{welding}$  = panjang pengelasan

$\rho$  = massa jenis kawat las

Untuk mendapatkan luas bidang kampuh las tumpul dapat menggunakan persamaan berikut:

$$A = A_1 + A_2 + A_3 \quad (2.3)$$

Dimana nilai dari  $A_1$ ,  $A_2$ , dan  $A_3$  adalah:

$$A_1 = \frac{g + W}{2} \times t \quad (2.4)$$

$$A_2 = g \times t \quad (2.5)$$

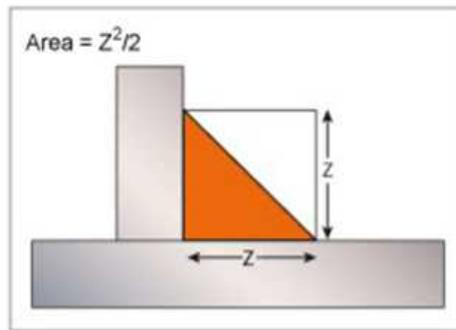
$$A_3 = \frac{W \cdot h}{2} \quad (2.6)$$

$g$  = jarak antara sambungan pelat

$W$  = panjang dari *welding cap*

t = tebal pelat  
h = tinggi *welding cap*

Adapun berat las sudut dapat didapatkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:



Gambar 10 Kampuh las sambungan sudut

$$W_{fw} = \left(\frac{Z^2}{2}\right) \times L_{welding} \times \rho \quad (2.7)$$

Dimana:

$W_{fw}$  = *weight of fillet weld* (berat las sudut)

Z = panjang kaki las (*leg size*)

$\rho$  = massa jenis

$L_{welding}$  = panjang pengelasan

Ukuran dari *fillet welding* dapat ditentukan berdasarkan aturan yang dikeluarkan oleh AWS.

Table 5.8 Minimum Fillet Weld Sizes (see 5.14)			
Base-Metal Thickness (T)*		Minimum Size of Fillet Weld**	
in.	mm	in.	mm
$T \leq 1/4$	$T \leq 6$	$1/8^{***}$	3
$1/4 < T \leq 1/2$	$6 < T \leq 12$	$3/16$	5
$1/2 < T \leq 3/4$	$12 < T \leq 20$	$1/4$	6
$3/4 < T$	$20 < T$	$5/16$	8

Gambar 11 Ukuran minimum *fillet weld* (sumber: AWS D1.1)