

SKRIPSI

**ANALISIS PENGGUNAAN ELEKTRODA PADA PEMBANGUNAN
KAPAL TUNDA 2 X 2200 HP TYPE ASD**

Disusun dan diajukan oleh:

**INEZKA ANYELIN WIBOWO MANGALIK
D031191054**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

GOWA

2023

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS PENGGUNAAN ELEKTRODA PADA PEMBANGUNAN KAPAL TUNDA 2 X 2200 HP TYPE ASD

Disusun dan diajukan oleh:

INEZKA ANYELIN WIBOWO MANGALIK

D031191054

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Sarjana Program Studi Teknik Perkapalan

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Pada tanggal Oktober 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing 1



Ir. Farianto Fachruddin, ST.MT
NIP. 19700426 199412 1 001

Pembimbing 2



Dr. Ir. Syamsul Asri, MT
NIP. 19650318 199103 1 003

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Prof. Dr.Eng Suandar Baso, ST., MT
NIP. 19730206 200012 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : INEZKA ANYELIN WIBOWO MANGALIK
NIM : D031191054
Program Studi : Teknik Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

ANALISIS PENGGUNAAN ELEKTRODA PADA PEMBANGUNAN KAPAL TUNDA 2 X 2200 HP TYPE ASD

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 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 dipublikasikan 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, 13 Oktober, 2023

Yang Menyatakan



Inezka Anyelin Wibowo Mangalik

ABSTRAK

Inezka Anyelin W. M. *Analisis Penggunaan Elektroda Pada Pembangunan Kapal Tunda 2 X 2200 Hp Type Asd* (dibimbing oleh Farianto Fachruddin L. & Syamsul Asri)

Dalam perakitan atau assembly pada pembangunan kapal yang menggunakan 90% plat baja, menggunakan metode pengelasan untuk menyambungkan material-material plat dalam pembangunan struktur. Untuk menghitung pemakaian berat elektroda pada kapal diperlukan perencanaan yang baik, melalui perhitungan untuk mendapatkan estimasi pemakaian berat elektroda yang akurat dan efisien. Penelitian ini bertujuan mengetahui berat pengelasan hingga ke biaya kawat las pada perakitan kapal Tunda 2x2200 HP type ASD. Pencapaian tujuan dilaksanakan dengan melakukan pengukuran pada gambar kerja tiap block dengan tujuan mengidentifikasi panjang pengelasan untuk tiap blok dan type sambungan sehingga menghasilkan volume pengelasan, berat pengelasan, dan biaya yang dibutuhkan untuk konsumsi elektroda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total panjang atau beban pengelasan sama dengan 24.838,50 m. Bobot pengerjaan pengelasan terbesar terletak pada blok 2 yaitu konstruksi *main deck* dan *double bottom* dengan persentasi pengerjaan 38,90 % dan terkecil terletak pada blok 7 yaitu konstruksi *Skeg* dengan persentasi pengerjaan 2,71%. Total berat konstruksi 283,489 ton menggunakan kebutuhan elektroda dengan jumlah 4982,13 kg dengan elektroda pengelasan SMAW 36.15 kg dan elektroda FCAW 4945.98. Bobot penggunaan elektroda terbesar terletak blok 2 yaitu Konstruksi *main deck* dan *double bottom* dengan persentasi penggunaan berat elektroda 32,68% dan terkecil terletak pada blok 7 yaitu konstruksi *Skeg* dengan persentasi penggunaan berat elektroda 2,64%. Untuk jumlah total hari untuk pengerjaan pengelasan pada perakitan kapal adalah 39 hari sehingga dihasilkan penggunaan elektroda harian yaitu 1141,8 Kg dengan jumlah 76 box untuk pengelasan FCAW, sedangkan pengelasan SMAW sebesar 36 Kg dengan jumlah 9 Box. Dengan pengerjaan terlama berada pada blok 2 yaitu 15 hari.

Kata kunci : *Pengelasan, SMAW, FCAW, Elektroda, Kapal Tunda*

ABSTRACT

Inezka Anyelin W. M. *Analysis Of Electrode Consumable On 2 X 2200 Hp Tugboat Asd Type* (dibimbing oleh Farianto Fachruddin L. & Syamsul Asri)

In assembly of a ship that uses 90% of steel plates, used welding methods to connect the plate materials in structural construction. Calculating the electrode weight wear on the ship requires good planning, calculating to get an accurate and efficient estimate of the electrode weight consumption. the attainment was conducted by measuring on the working pictures of each block in order to identify the length of welding for each block and the corresponding type and thereby producing the volume of welding, welding weight, and the cost needed for the intake of electrodes. The largest shebang of any kind lies in block 2, the construction of main decks and double bottom, with a percentage of 38.90 percent of the work involved in the size of skag construction and a percentage of 2.71%. The total construction weight of 283.489 tons USES the needs of electrodes with a total of 4982.13 kg with a smaw measuring electrode 36.15 kg and an electric fcaw 4945. The magnitude of their use of the largest electrodes is the construction of main decks and the double bottom with the percentage of electrodes weight of 32.68% and the smallest is that of skag construction with a 2.64% weight use. The total of days for ship assembly was 39 days to result in the use of daily electrodes of 1141.8 kg in 76 boxes for fcaw welding, and 36 kg in 9 boxes SMAW. With the longest working on a block two, that's 15 days.

Keywords : *Welding, SMAW, FCAW, Tugboat Ship*

KATA PENGANTAR

Shalom dan Salam Sejahtera bagi kita semua

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena telah memberikan berkat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir penelitian ini. Berdasarkan hasil seminar proposal, judul penelitian yang dikaji adalah

“ANALISIS PENGGUNAAN ELEKTRODA PADA PEMBANGUNAN KAPAL TUNDA 2 X 2200 HP TYPE ASD”

Pengerjaan tugas akhir ini merupakan persyaratan bagi setiap mahasiswa untuk memperoleh gelar sarjana Teknik pada departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa penyelesaian tugas akhir ini adalah suatu kebanggaan tersendiri, karena tantangan dan hambatan yang menghadang selama mengerjakan tugas akhir ini dapat terlewati dengan usaha dan upaya yang sungguh-sungguh. Dalam penyusunan laporan penulis tidak mungkin melakukan sendiri tanpa adanya bantuan dari orang-orang disekitar. Melalui lembar ini penulis mengucapkan banyak terimah kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta Ayahanda Almarhum Jantje Germalita dan Ibunda Nelvin Mangalik, atas seluruh kesabaran, pengorbanan dan materi yang telah diberikan sebagai bentuk kasih sayang serta doa, nasihat dan dukungan yang tiada hentinya. Kepada Oma Maria Tamma dan Saudara penulis Bryan Germalita yang selalu ikut mendoakan dan memberikan semangat kepada penulis.
2. Bapak Farianto Fachruddin L.,ST.,MT. selaku pembimbing I dan Bapak Dr. Ir. Syamsul Asri, MT. selaku pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan dalam pengerjaan skripsi ini.
3. Bapak Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST.,MT selaku ketua Departemen Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Wahyuddin, ST.,MT. selaku Kepala Labo Rancang Bangun Kapal.

5. Bapak Wahyuddin, ST.,MT. dan Bapak Abd. Haris Djalante, ST.,MT.selaku penguji dalam tugas akhir ini.
6. Bapak Sumaryono, ST.,MT. selaku Koordinator Design Engineering dan berbagai pihak di PT Dumas Tanjung Perak Shipyards atas waktu, bantuan, kesempatan serta data yang diberikan untuk membantu kelancaran pengerjaan skripsi ini.
7. Seluruh Dosen Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kemurahan hatinya.
8. Ibu Uti, Ibu Ani dan kak Jeje selaku staf departemen perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kesabarannya selama penulis mengurus segala administrasi di kampus.
9. Seluruh Dosen Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kemurahan hatinya.
10. Kepada Gracella Widjayanti, Jeniver Ivana, dan Jofanda Julyanida yang senantiasa menemani dan memberikan semangat dalam proses pengerjaan skripsi
11. Kepada teman-teman Perkapalan 2019, terima kasih telah memberi pengalaman tentang persahabatan selama penulis menuntut ilmu di Jurusan Perkapalan.

Penulis menyadari bahwa didalam tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu penulis memohon kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak demi perbaikan dan peningkatan kualitas penyusunan skripsi di masa yang akan datang. Penulis berharap tugas akhir (skripsi) ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan terkhusus pada penulis.

Gowa, 2023

PENULIS

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Karakteristik Kapal Tunda	5
2.2 Product Work Breakdown Structure.....	6
2.2.1 Convention Hull Construction and Outfitting (Pendekatan Sistem).....	10
2.2.2 Hull Block Construction Method and Pre Outfitting (Sistem seksi atau blok konvensional).....	11
2.2.3 Proses Lane Construction dan Zone Outfitting atau Full Outfitting Block System (FOBS)	12
2.2.4 Integrated Hull Construction, Outfitting and Painting (IHOP).....	13
2.3 Teori Pengelasan	14
2.4 Jenis Proses Pengelasan	15
2.4.1 Shielded Metal Arc Welding (SMAW).....	15

2.4.2 Flux Cored Arc Welding (FCAW).....	17
2.5 Elektroda Las	21
2.5.1 Elektroda FCAW.....	22
2.6 Konsep Welding Procedure Specification (WPS)	24
2.6.1 Pembuatan Prosedur Pengelasan WPS	26
2.6.2 Faktor Utama Penyusunan Pengelasan (WPS)	26
2.7 Klasifikasi Sambungan Las.....	26
2.7.1 Sambungan Tumpul	28
2.7.2 Sambungan Bentuk T dan Bentuk Silang	29
2.7.3 Sambungan Sudut	30
2.7.4 Sambungan Tumpang.....	30
2.7.5 Sambungan Sisi.....	31
2.8 Posisi Pengelasan	32
2.9 Berat Pengelasan	32
2.9.1 Deposit Pengelasan	34
2.10. Ratio Beban Kerja	35
2.11 Produktivitas Juru Las.....	35
2.11.1 Unsur Produktivitas.....	35
2.11.2 Manfaat Produktivitas	36
2.11.3 Produktivitas Juru Las.....	37
2.12 Metode Statistik	37
2.12.1 Data	37
2.12.2 Sampel.....	39
BAB III METODE PENELITIAN.....	40
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	40
3.2 Variabel Penelitian	40
3.3 Objek Penelitian.....	40
3.3.1 Sumber Data.....	43
3.4 Teknik Pengumpulan Data.....	44
3.5 Teknik Analisis Data.....	46
3.6 Kerangka Alur Penelitian.....	48

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	49
4.1 Desain Produksi Kapal Tunda 2 x 2200 HP type ASD.....	49
4.2 Pembagian Blok	51
4.3 Standar Teknik Pengelasan	54
4.4 Perhitungan Beban Kerja Pengelasan	59
4.5 Perhitungan Kebutuhan Elektroda	68
4.5.1 Perhitungan Kebutuhan Elektroda dengan Rumus Empiris.....	69
4.5.2 Perhitungan Kebutuhan Elektroda Berdasarkan Produktivitas Juru Las	77
4.5.3 Ratio Kebutuhan Elektroda pada Rumus Empiris dan Produktivitas Juru Las	87
4.6 Pembahasan dan Diskusi.....	89
4.6.1 Beban Kerja Pengelasan.....	89
4.6.2 Penggunaan Elektroda.....	90
4.6.4 Total Kebutuhan Elektroda	94
4.6.7 Produktivitas Juru Las.....	96
BAB V PENUTUP.....	100
5.1 Kesimpulan	100
5.2 Saran.....	101
DAFTAR PUSTAKA	102
LAMPIRAN.....	104

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Visualisasi Kapal Tugboat mendorong kapal tongkang	5
Gambar 2. 2	Visualisasi Kapal Tugboat menarik kapal tongkang	6
Gambar 2. 3	Tahapan Perkembangan Teknologi Produksi	8
Gambar 2. 4	Tahapan Perkembangan Teknologi Produksi	11
Gambar 2. 5	Proses pembangunan kapal menggunakan metode HBCM	12
Gambar 2. 6	Proses pembangunan kapal menggunakan ZOFM	13
Gambar 2. 7	Proses Pengelasan SMAW	16
Gambar 2. 8	Pemindahan Logam Cair	17
Gambar 2. 9	(a) Proses FCAW – g (b) Proses FCAW – ss	19
Gambar 2. 10	Self – Shielding Flux Core Arc Welding.....	20
Gambar 2. 11	Gas-Shielding Flux Core Arc Welding.....	20
Gambar 2. 12	Fillet Weld pada pengelasan Joint-T	27
Gambar 2. 13	Bentuk Geometri Kampuh.....	28
Gambar 2. 14	Alur Sambungan Las Tumpul.....	29
Gambar 2. 15	Sambungan T	29
Gambar 2. 16	Macam – macam sambungan sudut.....	30
Gambar 2. 17	Sambungan Tumpang	31
Gambar 2. 18	Sambungan Sisi	31
Gambar 2. 19	Macam-Macam Posisi Pengelasan	32
Gambar 2. 20	Kampuh Jenis Sambungan Single V Butt.....	33
Gambar 2. 21	Kampuh Jenis Sambungan Tee Fillet	34
Gambar 3. 1	Block Division Kapal Tunda 2 x 2200 HP	41
Gambar 3. 2	Desain 3D Blok 03 Kapal Tunda 2 x 2200 HP	42
Gambar 3. 3	Proses Pengelasan di kapal	43
Gambar 3. 4	Pengambilan Sampel Hasil Pengelasan	44
Gambar 3. 5	Assembly Drawing Frame 47	46
Gambar 4. 1	General Arrangement Kapal Tunda 2 x 2200 HP	50
Gambar 4. 2	Block Division	53
Gambar 4. 3	WPS Sambungan Butt Joint	55
Gambar 4. 4	WPS Sambungan Butt Joint	56
Gambar 4. 5	WPS Sambungan Tee Joint	57
Gambar 4. 6	WPS Sambungan Lap Joint	58
Gambar 4. 7	Grafik Total panjang pengelasan dengan variabel jenis sambungan.....	62
Gambar 4. 8	Grafik Panjang Pengelasan.....	64
Gambar 4. 9	Grafik Panjang Pengelasan SMAW Sesuai Posisi Pengelasan.....	66

Gambar 4. 10	Grafik Panjang Pengelasan FCAW Sesuai Posisi Pengelasan.....	67
Gambar 4. 11	Elektroda SMAW Diameter 3.2 mm dan Panjang 350 mm	68
Gambar 4. 12	Elektroda FCAW Diameter 1.2 mm	69
Gambar 4. 13	Kampuh Jenis Sambungan Single V Butt.....	70
Gambar 4. 14	Kampuh Jenis Sambungan Tee Fillet	71
Gambar 4. 15	Grafik Total Penggunaan Elektroda dengan Variabel Posisi Pengelasan.	75
Gambar 4. 16	Grafik Total Kebutuhan Kawat Las.....	77
Gambar 4. 17	Berat Elektroda FCAW dengan Panjang 1 m	78
Gambar 4. 18	Analisis Elektroda FCAW dengan panjang 1 m.....	79
Gambar 4. 19	Berat Elektroda SMAW dengan Panjang 350 mm	80
Gambar 4. 20	Analisis Elektroda SMAW dengan Panjang 350 mm.....	81
Gambar 4. 21	Grafik Jumlah Total Kemasan Kebutuhan Kawat / Batang Elektroda	84
Gambar 4. 22	Total Kebutuhan Kawat Las	86
Gambar 4. 23	Grafik Perbandingan berat penggunaan Elektroda FCAW.....	88
Gambar 4. 24	Grafik Perbandingan berat penggunaan Elektroda SMAW	88
Gambar 4. 25	Grafik Ratio Beban Kerja Pengelasan	90
Gambar 4. 26	Grafik Ratio Penggunaan Elektroda	92
Gambar 4. 27	Ratio Berat Blok Terhadap Berat Elektroda dengan Variabel Jenis Pengelasan.....	93
Gambar 4. 28	Grafik Total Kebutuhan Kawat Las.....	95
Gambar 4. 29	Grafik Kebutuhan Berat Elektroda per Hari.....	97

DAFTAR TABEL

Table 2. 1 Klasifikasi Elektroda Pengelasan FCAW.....	23
Table 2. 2 Deposition Efficiency for Welding Processes and filler Metals.....	35
Tabel 4. 1 Panjang Pengelasan Blok 1 dengan Variabel Jenis Sambungan	59
Tabel 4. 2 Panjang Pengelasan Blok 2 dengan Variabel Jenis Sambungan	59
Tabel 4. 3 Panjang Pengelasan Blok 3 dengan Variabel Jenis Sambungan	60
Tabel 4. 4 Panjang Pengelasan Blok 4 dengan Variabel Jenis Sambungan	60
Tabel 4. 5 Panjang Pengelasan Blok 5 dengan Variabel Jenis Sambungan	61
Tabel 4. 6 Panjang Pengelasan Blok 6 dengan Variabel Jenis Sambungan	61
Tabel 4. 7 Panjang Pengelasan Blok 7 dengan Variabel Jenis Sambungan	61
Tabel 4. 8 Panjang Pengelasan Proses Erection dengan Variabel Jenis Sambungan	62
Tabel 4. 9 Total Panjang Pengelasan dengan Variabel Jenis Pengelasan	63
Tabel 4. 10 Total Panjang Pengelasan dengan Variabel Posisi Pengelasan.....	65
Tabel 4. 11 Deposition Efficiency for Welding Processes and filler Metals.....	72
Tabel 4. 12 Total Berat Elektroda dengan Variabel Jenis Pengelasan	73
Tabel 4. 13 Total Berat Elektroda FCAW dengan Variabel Jenis Pengelasan.....	74
Tabel 4. 14 Total Berat Elektroda SMAW dengan Variabel Jenis Pengelasan.....	74
Tabel 4. 15 Total Kebutuhan Kawat Las SMAW	76
Tabel 4. 16 Total Kebutuhan Kawat Las FCAW	76
Tabel 4. 17 Analisis Hasil FCAW	79
Tabel 4. 18 Analisis Hasil Las SMAW	81
Tabel 4. 19 Total Berat Elektroda FCAW dengan Variabel Posisi Pengelasan	83
Tabel 4. 20 Total Berat Elektroda SMAW dengan Variabel Posisi Pengelasan	83
Tabel 4. 21 Total Kebutuhan Kawat Las FCAW	85
Tabel 4. 22 Total Kebutuhan Kawat Las SMAW	85
Tabel 4. 23 Perbandingan Jumlah Berat Elektroda	87
Tabel 4. 24 Ratio Panjang Pengelasan Terhadap Berat Blok.....	89
Tabel 4.26 Ratio Penggunaan Berat Elektroda Terhadap Berat Blok	91
Tabel 4. 27 Ratio Berat Blok Terhadap Berat Elektroda dengan Variabel Jenis Pengelasan.....	93
Tabel 4. 28 Kebutuhan Kawat Las FCAW.....	94
Tabel 4. 29 Kebutuhan Kawat Las SMAW.....	94
Tabel 4. 30 Berat Elektroda Pengelasan per Hari Elektroda FCAW.....	96
Tabel 4. 31 Berat Elektroda Pengelasan per Hari Elektroda SMAW.....	97
Tabel 4. 32 Biaya Kawat Las FCAW dan SMAW.....	98
Tabel 4. 33 Total Biaya Kawat Las tiap Blok	98

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang / Singkatan	Arti dan Keterangan
FCAW	Flux Cored Arc Welding
SMAW	Sub Merged Arc Welding
TWJ	Tee Weld Joint
BWJ	Butt Weld Joint
LWJ	Lapped Weld Joint
WPS	Welding Procedure Specification
Σ (Sigma)	Nilai total keseluruhan

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Welding Procedure Specification	105
Lampiran 2 Tabel Perhitungan Panjang Pengelasan Tiap Blok.....	110
Lampiran 3 Gambar kerja Tiap Blok	176
Lampiran 4 Perhitungan Luas Kampuh	273
Lampiran 5 Perhitungan Rincian biaya.....	274

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era modern ini, dibutuhkan metode untuk menyelesaikan pembuatan kapal yang bertujuan mempermudah proses pengerjaan kapal. Dalam proses pembuatan kapal dengan metode berdasarkan sistem, terdapat tiga macam sistem pembuatan kapal, yaitu sistem seksi, sistem konvensional dan sistem blok.

PT Dumas Tanjung Perak Shipyards merupakan salah satu galangan kapal nasional dengan fungsi membantu dan mewujudkan ketersediaan armada kapal di Indonesia. Salah satu pembangunan kapal baru yaitu kapal tunda 2 x 2200 HP bertipe *ASD (Azzimuth Stern Drive)* (Dokkum, 2003). Kapal tersebut dibangun menggunakan konsep *Hull Block Construction Metode (HBCM)*. Definisi dari HBCM yaitu membagi satu pengerjaan kapal menjadi *block-block* kapal sesuai dengan pertimbangan bahwa bagian pekerjaan dari tiap unit *block* yang telah dibagi mempunyai kesamaan dalam bidang kebutuhan. Tujuan dari membagi kapal menjadi unit-unit pengerjaan adalah untuk meminimalisir pengerjaan pengelasan dalam posisi yang sulit dan juga untuk mengefesien waktu dalam pengerjaan pembangunan kapal (Storch, Richard; dkk, 1995)

Dalam perakitan atau assembly pada tiap block yang menggunakan 90% plat baja, menggunakan metode pengelasan untuk menyambungkan material-material plat dalam pembangunan struktur. Karena metode penyambungan ini dinilai efektif karena memberikan berat benda yang lebih ringan bila dibandingkan dengan cara klem atau mur baut, dapat dipakai di segala tempat pada posisi manapun, mudah untuk mendesain sambungan, fleksibel, dan juga memberikan kekuatan yang relative sama dengan logam asli (Hadi, 2009). Pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Sehingga dari definisi tersebut dapat dijabarkan bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas sehingga mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan logam tambahan yang akan menghasilkan sambungan yang bersifat kontinyu (Wiryosumarto & Harsono, 2000).

Klasifikasi dari cara pengelasan dibagi menjadi beberapa macam yaitu pengelasan cair, pengelasan tekan dan pemantrian. Pada pengelasan cair, ada las busur yang dimana dibagi menjadi elektroda terumpan dan elektroda tak terumpan (Wiryosumarto & Harsono, 2000). Dari pengertian klasifikasi tersebut dapat di

simpulkan bahwa elektroda adalah hal yang berperan penting dalam terjadinya pengelasan. Oleh sebab itu, elektroda juga berpengaruh pada presentase biaya pada material kebutuhan dalam pembangunan kapal.

Hal yang mempengaruhi volume penggunaan elektroda adalah mesin las, juru las, pemilihan kuat arus, pemilihan elektroda, dan pemilihan jarak pengelasan serta jenis kampuh las (Putri, 2010). Untuk menghitung pemakaian berat elektroda pada kapal diperlukan perencanaan yang baik, melalui perhitungan untuk mendapatkan estimasi pemakaian berat elektroda yang akurat dan efisien. Karena hal ini bisa mengurangi biaya produksi khususnya pada bidang kebutuhan elektroda pada pembangunan kapal.

Berdasarkan uraian di atas, dipandang perlu untuk melakukan pengkajian terkait tema penggunaan rumus empiris (numerik) dalam menghitung “**Analisis Penggunaan Elektroda Pada Pembangunan Kapal Tunda 2 X 2200 HP**”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka penulis merumuskan masalah sebagai berikut:

1. Berapa beban kerja pengelasan (panjang pengelasan)?
2. Berapa total volume kampuh las sesuai dokumen *WPS (Welding Procedure Specification)* dan produktivitas welder?
3. Berapa total kebutuhan elektroda (*FCAW* dan *SMAW*) pada pembangunan kapal sesuai dengan perencanaan blok?
4. Berapa rincian kebutuhan elektroda berdasarkan jenis sambungan dan posisi pengelasan?
5. Berapa ratio antara berat elektroda terhadap berat baja kapal?
6. Berapa *box* total penggunaan elektroda?
7. Berapa penggunaan elektroda harian berdasarkan produktivitas *welder* pada perakitan blok kapal?
8. Berapa total biaya elektroda terpakai dalam perencanaan perakitan kapal?

1.3 Batasan Masalah

Pembatasan suatu masalah digunakan untuk menghindari adanya penyimpangan maupun pelebaran pokok masalah agar penelitian tersebut lebih terarah dan memudahkan dalam pembahasan sehingga tujuan penelitian tercapai. Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada proyek pembangunan kapal tunda 2 x 2200 HP Tipe ASD di PT Dumas Tanjung Perak Shipyards
2. Penelitian dilakukan pada Konstruksi Kapal Tunda 2 x 2200 HP Tipe ASD, tidak dilakukan perhitungan pada bagian outfitting.
3. Proses pengelasan yang dibahas adalah Flux cored arc welding (FCAW) dan Shielded Metal Arc Welding (SMAW).
4. Penelitian ini menggunakan pendekatan Teoritis.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari masalah yang diangkat adalah sebagai berikut:

1. Menentukan panjang objek las atau panjang pengelasan pada tiap block kapal sesuai gambar kerja.
2. Menganalisis dokumen WPS untuk menghitung volume kampuh las di tiap panjang pengelasan.
3. Mengetahui total kebutuhan elektroda dengan variabel jenis pengelasan (*FCAW* dan *SMAW*) pada Pembangunan kapal.
4. Menganalisis kebutuhan elektroda berdasarkan jenis sambungan dan posisi pengelasan
5. Mengetahui penggunaan elektroda dalam bentuk kemasan (*Box*)
6. Mengetahui penggunaan elektroda harian berdasarkan produktivitas *welder* pada perakitan blok kapal
7. Menentukan jumlah total berat pengelasan pada pengerjaan Kapal Tunda 2x2200 HP.
8. Mengetahui total biaya dibutuhkan untuk penggunaan elektroda dalam pembangunan kapal.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi penulis dan bagi pihak-pihak lainnya :

1. Bagi Penulis

Dapat dipergunakan untuk mengaplikasikan teori yang telah didapat dari proses perkuliahan sehingga dapat menambah pengetahuan khususnya terkait dengan kebutuhan elektroda pada proyek pembangunan kapal

2. Bagi Pembaca

Dapat menambah informasi dan wawasan bagi pembaca tentang cara yang tepat untuk menentukan kebutuhan elektroda pada suatu proyek pembangunan kapal

3. Bagi Perusahaan

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran tentang perhitungan estimasi kebutuhan elektroda yang akan dipakai pada proyek pembangunan kapal baru sehingga perusahaan bisa menghitung kebutuhan elektroda secara efektif

4. Bagi Universitas Hasanuddin

Menambah data riset terkait bidang perencanaan kebutuhan elektroda pada proyek pembangunan kapal yang bermanfaat bagi akademisi, sebagai referensi empirik yang memberikan kontribusi ilmiah.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini disusun dalam 5 bab, dengan rincian sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang dari penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II : LANDASAN TEORI

Bab ini menguraikan tentang beberapa teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini berisikan metode yang digunakan untuk memperoleh hasil dan penelitian dan teknik analisa data.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil dari penelitian disertai pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan

BAB V : PENUTUP

Bab ini berisikan simpulan dari penulisan dan saran bagi pembaca.

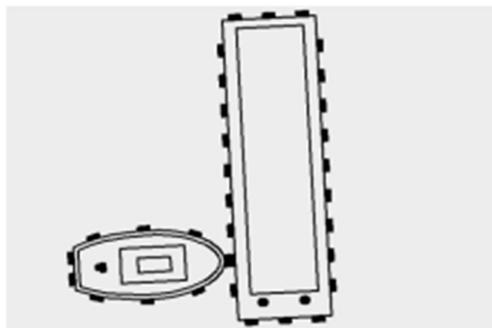
BAB II

LANDASAN TEORI

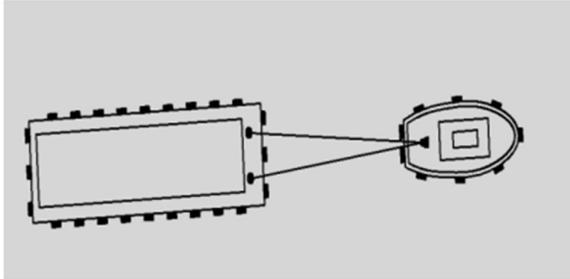
2.1 Karakteristik Kapal Tunda

Kapal tunda merupakan jenis kapal khusus yang digunakan untuk menarik atau mendorong kapal di pelabuhan, laut lepas atau melalui sungai. Kapal ini digunakan pula untuk menarik tongkang, kapal rusak dan peralatan lainnya dan memiliki tenaga yang besar bila dibandingkan dengan ukurannya. Sesuai dengan daerah pelayarannya kapal tunda dapat digolongkan menjadi (Fajar & Basuki, 2020) :

1. Kapal tunda pelayaran besar (Ocean Going Tug), merupakan salah satu jenis kapal tunda yang daerah pelayarannya di laut luar dan kapal ini biasanya digunakan sebagai penyuplai bahan bakar dari hasil kilang minyak (Anchor Handling Supply Vessel).
2. Kapal tunda pelayaran pantai (Coastwise and Estuary Tug) merupakan jenis kapal tunda yang daerah pelayarannya hanya disekitar perairan pantai.
3. Kapal tunda pelabuhan dan pengerukan (Estuary and Harbour) merupakan salah satu jenis kapal tunda yang digunakan untuk menarik atau mendorong kapal yang ada di pelabuhan dan juga berfungsi sebagai penarik kapal keruk.
4. Kapal tunda perairan dangkal (Shallow Draught Pusher Tug) merupakan jenis kapal tunda yang memiliki sarat rendah.
5. Kapal tunda sungai dan dok (River and Dock Tug) merupakan jenis kapal tunda yang memiliki kemampuan tarik kurang dari 3 knot dan hanya menunda kapal disekitar area sungai.



Gambar 2. 1 Visualisasi Kapal Tugboat mendorong kapal tongkang
(Sumber : Maranata, 2015)



Gambar 2. 2 Visualisasi Kapal Tugboat menarik kapal tongkang
(Sumber : Maranata, 2015)

PT Dumas Tanjung Perak Shipyardss saat ini mempunyai proyek pembangunan kapal baru yaitu Kapal Tunda 2 x 2200 HP dengan Tipe *ASD* (*Azzimuth Stern Drive*). Yang dimana kapal Tunda ini memiliki dimensi dan performace sebagai berikut :

<i>Length Overall</i>	: 32.00 mm
<i>Beam Moulded</i>	:11.60 mm
<i>Depth Moulded</i>	: 5.10 mm
<i>Draflth At Summer Load</i>	:3.80 mm
<i>Bollard Pull</i>	: 50 Ton
<i>Speed (Approx)</i>	: 12.00 Knots

2.2 Product Work Breakdown Structure

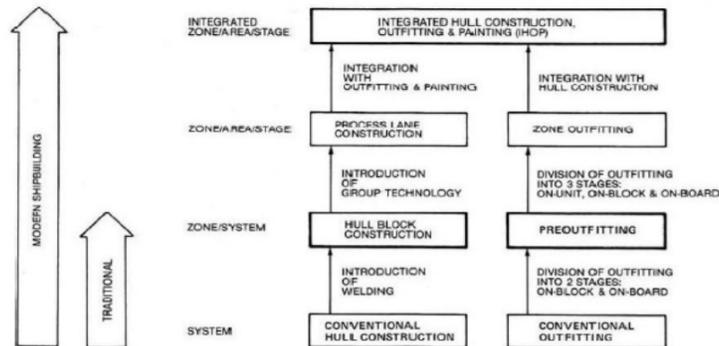
Suatu industri yang menghasilkan produk-produk seperti kapal (*ships*), struktur bangunan lepas pantai (*offshore structures*), bangunan apung (*floating plants*) untuk pemesan/pemilik secara pribadi, perusahaan, pemerintah dan lain-lain disebut industri pembangunan kapal (*shipbuilding*). Dalam banyak kasus produk dibuat berdasarkan pesanan sesuai dengan persyaratan khusus pemesan. Hal inipun berlaku apabila kapal di buat secara seri/sejenis (*series*) (Wahyuddin, 2011)

Secara umum tahapan pembangunan kapal sangat bervariasi, bergantung keinginan pemesan, namun secara umum tahapan ini meliputi (Storch, Richard; dkk, 1995) :

- Pengembangan keinginan pemesan (*development of owners requirements*).
- Desain konsep atau prarancangan (*preliminary/concept design*).
- Desain kontrak (*contract design*).
- Penawaran/penandatanganan kontrak (*bidding/contracting*).
- Perencanaan dan desain detail (*detail design and planning*).
- Fabrikasi dan Perakitan (*construction*).

Teknologi untuk merakit kapal mengalami perkembangan mulai dari sistem komponen atau metode tradisional/konvensional sampai dengan sistem blok atau metode moderen. Pembuat kapal secara tradisional menggunakan penjadwalan kerja dari sistem fungsional kapal efektif untuk menyesuaikan pada perkiraan tahap desain awal. Namun, sistem kerja ini tidak efisien dan tidak sesuai karena mengarah pada koordinasi pekerjaan yang buruk dan menghasilkan pekerjaan yang terlalu besar untuk pengendalian material, jam kerja, dan jadwal yang efektif (Okayama, 1980). Sebelum teknologi las ditemukan, tiap kapal dibangun dengan system keeling (*riveting*) cara/urutan yang sama yaitu setelah lunas diletakkan gading-gading diletakkan baru kemudian memasang pelat setahap demi setahap, layaknya pembangunan kapal kayu. Proses ini diistilahkan berorientasi sistem (*system oriented*) artinya lunas dirakit sebagai sebuah sistem, kemudian sistem gading-gading di rakit, tahap berikutnya sistem kulit dan seterusnya sampai utuh menjadi kapal. Sekarang ini, setelah teknologi las menggantikan sistem keling (*riveting*) pengembangan metode/teknologi pembangunan kapal memungkinkan dapat dilakukan.

Berkat teknologi las bagian-bagian seperti gading-gading dapat langsung disatukan dengan pelat kulit, lunas dapat dilas dengan bagian geladak dan sekat sekaligus membentuk panel, sub-blok atau bahkan blok. Teknologi las juga membuat banyak pekerjaan perakitan dapat dilakukan dengan baik dengan tingkat akurasi, efisiensi dan keamanan yang tinggi dilandasi peluncuran maupun di bengkel-bengkel kerja. Blok telah dikerjakan dengan menggunakan teknologi las dapat ditegakkan (*erected*) antara blok dengan blok lain membentuk sebuah kapal. Proses ini diistilahkan berorientasi zone (*zone oriented*) (Eyres & Bruce, 2012)



Gambar 2.3 Tahapan Perkembangan Teknologi Produksi
(Sumber :Wahyuddin, 2011)

Konsep PWBS (Product Work Breakdown Structure) dideskripsikan menggunakan group technology (GT) yang biasa juga disebut family manufacture (FM), digunakan untuk manajemen proses industri yang dimaksudkan untuk pengembangan sistem yang sangat efisien yang dimulai dengan pengklasifikasian dan tata kode. Penggunaan dimaksudkan untuk mengurangi jumlah penomoran dari komponen-komponen yang berbeda, begitu juga jumlah operasi, ukuran beban/volume kerja. Sehingga tujuan utama GT yaitu untuk mengurangi proses pekerjaan penyimpangan/pergudangan sejauh yang diinginkan. Logikanya PWBS membagi proses produksi kapal menjadi tiga jenis pekerjaan yaitu (Wahyuddin, 2011):

1. Klasifikasi pertama adalah : *Hull Construction, Outfitting dan Painting*. Dari ketiga jenis pekerjaan tersebut masing-masing mempunyai masalah dan sifat yang berbeda dari yang lain. Selanjutnya masing-masing pekerjaan kemudian dibagi kedalam tahap fabrikasi dan assembly. Subdivisi assembly inilah yang terkait dengan zona dan yang merupakan dominasi dasar bagi zona di siklus manajemen pembangunan kapal. Zona yang berorientasi produk, yaitu Hull Block Construction Method (HBCM) dan sudah diterapkan untuk konstruksi lambung oleh sebagian besar galangan kapal.
2. Klasifikasi kedua adalah mengklasifikasikan produk berdasarkan produk antara (interim product) sesuai dengan sumber daya yang dibutuhkan, misalnya produk antara di bengkel fabrication, assembly dan bengkel erection. Sumber daya tersebut meliputi :

- a. Bahan (material), yang digunakan untuk proses produksi, baik langsung maupun tidak langsung, misalnya pelat baja, mesin, kabel, minyak, dan lain-lain.
 - b. Tenaga kerja (manpower), yang dikenakan untuk biaya produksi, baik langsung atau tidak langsung, misalnya tenaga pengelasan, outfitting dan lain-lain.
 - c. Fasilitas (facilities), yang digunakan untuk proses produksi, baik langsung maupun tidak langsung, misalnya, gedung, dermaga, mesin, perlengkapan, peralatan dan lain-lain.
 - d. Beban (Expenses), yang dikenakan untuk biaya produksi, baik langsung maupun tidak langsung, misalnya, desain, transportasi, percobaan laut (sea trial), upacara, dll
3. Klasifikasi ketiga adalah klasifikasi berdasarkan empat aspek produksi, hal ini dimaksudkan untuk mempermudah pengendalian proses produksi. Aspek pertama dan kedua adalah system dan zone, merupakan sarana untuk membagi desain kapal ke masing-masing bidang perencanaan untuk diproduksi. Dua aspek produksi lainnya yaitu area dan stage merupakan sarana untuk membagi proses kerja mulai dari pengadaan material untuk pembangunan kapal sampai pada saat kapal diserahkan kepada owner.
4. Definisi dari keempat aspek produksi tersebut adalah sebagai berikut:
- a. System adalah sebuah fungsi struktural atau fungsi operasional produksi, misalnya sekat longitudinal, sekat transversal, sistem tambat, bahan bakar minyak, sistem pelayanan, sistem pencahayaan, dan lain-lain.
 - b. Zona adalah suatu tujuan proses produksi dalam pembagian lokasi suatu produk, misalnya, ruang muat, superstructure, kamar mesin, dan lain-lain
 - c. Area adalah pembagian proses produksi menurut keutamaan proses produksi ataupun masalah pekerjaan yang berdasarkan pada:
 - i. Bentuk (misalnya melengkung dengan blok datar, baja dengan struktur aluminium, diameter kecil dengan diameter besar pipa, dan lain-lain)
 - ii. Kuantitas (misalnya pekerjaan dengan jalur aliran, volume on-blok perlengkapan untuk ruang mesin dengan volume on-blok perlengkapan selain untuk ruang mesin dan lain-lain)
 - iii. Kualitas (misalnya kelas pekerja yang dibutuhkan, dengan kelas fasilitas yang dibutuhkan dan lain-lain)
 - iv. Jenis pekerjaan (misalnya, penandaan (marking), pemotongan (cutting), pembengkokan (bending), pengelasan (welding), pengecatan (painting), pengujian (testing), dan lain-lain) hal lain yang berkaitan dalam pekerjaan

- d. Stage adalah pembagian proses produksi sesuai dengan urutan pekerjaan, misalnya sub-pembuatan (sub-steps of fabrication), sub-perakitan (sub assembly), perakitan (assembly), pemasangan (erection), perlengkapan on-unit (outfitting on-unit), perlengkapan on-block (outfitting on-block), dan perlengkapan on-board (outfitting on-board).

Pada dasarnya berbagai rincian yang diperlukan untuk jenis pekerjaan berorientasi produk dalam pekerjaan konstruksi kapal, harus ditentukan dahulu metode berorientasi - zona (zone Oriented) pekerjaan tersebut yaitu:

- a. Hull Block Construction Methode (HBCM),
- b. Zone Outfitting Method (ZOFM),
- c. Zone Painting Method (ZPTM), serta
- d. Pipe Piece Family Manufacturing (PPFM).

2.2.1 Convention Hull Construction and Outfitting (Pendekatan Sistem)

Metode ini merupakan metode konvensional dengan tingkat produktifitas yang masih sangat rendah, karena semua lingkup pekerjaan dilakukan secara berurutan dan saling ketergantungan satu sama lain sehingga membutuhkan waktu yang sangat lama (Wahyuddin, 2011).

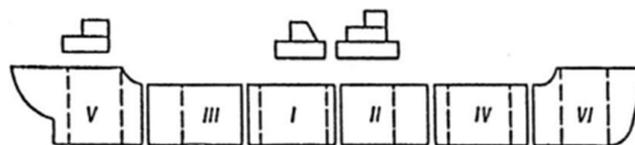
Sejak diputuskan untuk membangun kapal, bahkan dari rencana yang sudah selesai, hingga saat lunas diletakkan, dan pekerjaan membangun lambung sebenarnya dimulai, selalu ada jeda yang cukup lama. Dalam banyak kasus sebagian besar pekerjaan dilakukan sebelum satu bagian dipasang pada slip bangunan, peletakan lunas ditunda selama mungkin, agar bahan fabrikasi yang cukup tersedia untuk memungkinkan pekerjaan ereksi, ketika sekali dimulai, untuk melanjutkan dengan cepat. Dalam setiap kasus sejumlah pekerjaan pendahuluan tertentu harus dilakukan sebelum pembangunan lambung kapal dapat dimulai (Carmichael, 1919).

Pengorganisasian pekerjaan sistem demi sistem seperti ini merupakan halangan untuk mencapai produktifitas yang tinggi. Mengatur dan mengawasi pekerjaan pembuatan kapal menggunakan ratusan pekerja adalah sukar (Wahyuddin, 2011).

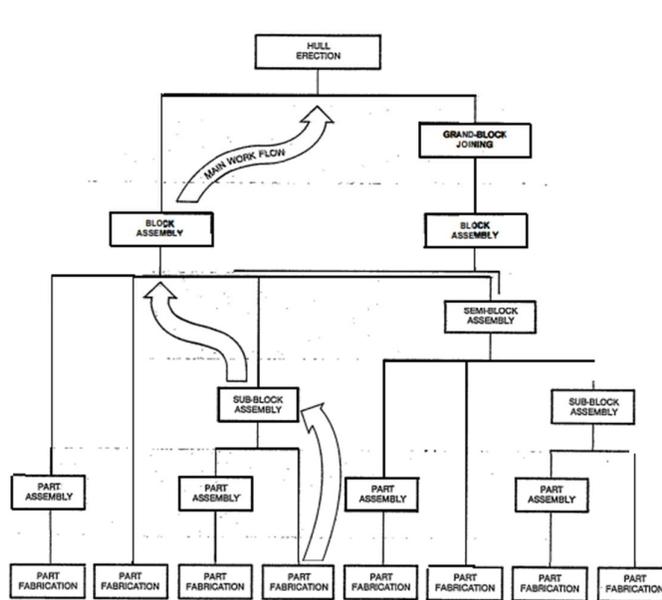
2.2.2 Hull Block Construction Method and Pre Outfitting (Sistem seksi atau blok konvensional)

Tahapan ini, dimulai dengan digunakannya teknologi pengelasan pada pembuatan kapal. Pengerjaan metode ini yaitu di mana bagian lambung, sub rakitan, dan blok di produksi sesuai dengan prinsip teknologi kelompok (kelompok fabrikasi) dalam struktur produksi yang terorganisir (disebut sebagai alur kerja) (Storch, Richard; dkk, 1995). Proses pembuatan badan kapal pada metode ini, kemudian menjadi proses pembuatan blok-blok atau seksi-seksi di las, seperti seksi geladak dan kulit dan lain-lain, yang kemudian dirakit menjadi badan kapal. Perubahan ini diikuti dengan perubahan pekerjaan outfitting, dimana pekerjaan ini dapat dikerjakan pada blok dan pada badan kapal yang sudah jadi. Perubahan ini dikenal dengan pre-outfitting.

Pembagian blok ideal, yaitu zona, tujuan utama sebagai dasar dalam HBCM. Namun, pembagian blok juga berdampak pada perlengkapan dan pengecatan zona. Oleh karena itu metode ini, dibandingkan dengan metode lainnya, memiliki pengaruh terbesar terhadap produktivitas pembuatan kapal. Untuk *assembly* tiap block, mereka dibagi berdasarkan bagian-bagian yang memiliki area pekerjaan yang sama seperti bagian buritan, haluan, *main deck*, dan sebagainya. Metode ini juga bisa meng efektifkan waktu kerja dan meminimalisir terjadinya posisi pengelasan yang sulit seperti over head. Untuk kapal berukuran besar, pembagian blok juga berdasarkan kapasitas fasilitas seperti crane (Okayama, 1980).



Gambar 2. 4 Tahapan Perkembangan Teknologi Produksi
Sumber : (Wahyuddin, 2011)

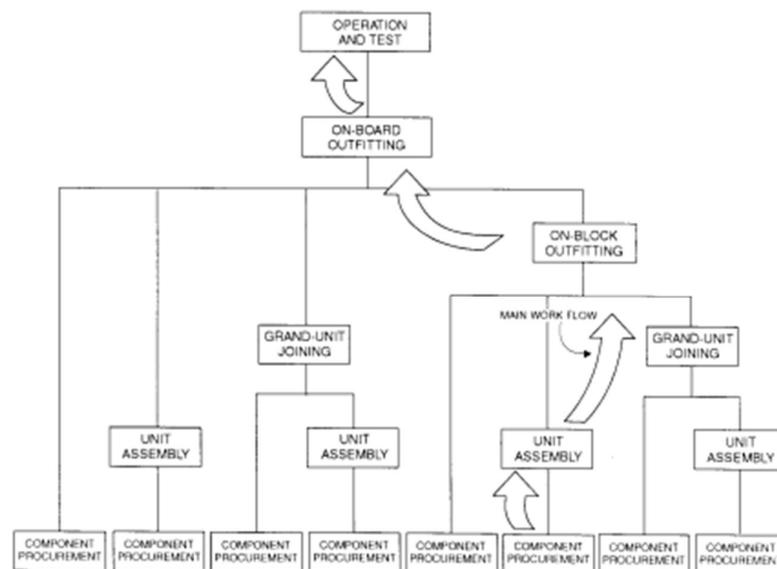


Gambar 2. 5 Proses pembangunan kapal menggunakan metode HBCM
Sumber : (Okayama, 1980)

2.2.3 Proses Lane Construction dan Zone Outfitting atau Full Outfitting Block System (FOBS)

Tahapan berikutnya diberi nama zone/area/stage. Kebanyakan galangan di Jepang dan Eropa menggunakan sistem ini. Metode ini, memungkinkan untuk peningkatan efisiensi dari metode sebelumnya, membagi pekerjaan ini menjadi region/zone, tidak berdasarkan sistem fungsionalnya. Zone Outfitting Method (ZOFM) merupakan pembaharuan dari metode Hull Block Construction Method (HBCM) karena keduanya menggunakan sistem yang sama. Galangan kapal yang menggunakan ZOFM merakit sebagian besar komponen *outfitting* tersendiri dari blok lambung (Okayama, 1980). Metode ini dibagi berdasarkan pekerjaan outfitting menjadi tiga tahapan dasar: on-unit, on-block, dan on-board outfitting, dan subtahap untuk *outfitting* dilakukan di atas kepala saat balok terbalik (Storch, Richard; dkk, 1995). Evolusi dari teknologi pembangunan kapal modern dimulai pada tahapan ini. Tahapan ini ditandai dengan *process lane construction* dan *zone outfitting*, yang merupakan aplikasi group teknologi (GT) pada *hull construction* dan *outfitting work*. Group technology adalah suatu filosofi atau konsep pemikiran dalam industri manufaktur yang mengidentifikasi serta mencari kesamaan komponen yang diproduksi dalam proses pengerjaan maupun desain agar supaya dapat diambil keuntungan dari kesamaan dalam penggunaannya (Groover, 2015).

Keuntungan menggunakan ZOFM ada beberapa hal yaitu memindahkan pengerjaan pemasangan outfitting terutama pengerjaan pengelasan di posisi yang lebih mudah seperti down hand sehingga mengurangi jumlah jam orang yang dibutuhkan, mengelompokkan jenis pekerjaan menjadi 1 unit sehingga bisa menyederhanakan penjadwalan, mengubah pekerjaan dari yang tertutup, tinggi, dan berbahaya menjadi posisi yang terbuka, *safety*, dan tempat yang rendah. (Storch, Richard; dkk, 1995)



Gambar 2.6 Proses pembangunan kapal menggunakan ZOFM
Sumber : (Storch, Richard; dkk, 1995)

2.2.4 Integrated Hull Construction, Outfitting and Painting (IHOP)

Tahapan keempat ditandai dengan suatu kondisi dimana pekerjaan pembuatan badan kapal, outfitting dan pengecatan sudah diintegrasikan. Keadaan ini digunakan untuk menggambarkan teknologi yang paling maju di industri perkapalan, yang telah dicapai IHI Jepang. Pada tahapan ini proses pengecatan dilakukan sebagai bagian dari proses pembuatan kapal yang terjadi dalam setiap stage. Selain itu karakteristik utama dari tahapan ini adalah digunakannya teknik-teknik manajemen yang bersifat analitis, khususnya analisa statistik untuk mengontrol proses produksi atau yang dikenal sebagai accuracy control system (Wahyuddin, 2011).

Karena konstruksi modular menerima penerimaan industri dan pekerjaan konstruksi blok yang lebih profesional mulai disubkontrakkan, tingkat perlengkapan yang lebih besar dapat dilakukan di bengkel oleh kontraktor. Dengan berbagai perlengkapan yang perlu dilakukan yang meliputi baja (penetrasi, baki kabel, pipa kabel, pondasi, braket untuk perlengkapan, dll.), lambung, mesin, geladak, interior, dan kelistrikan, ada kecenderungan mengalami keterlambatan, rework dan suboptimasi karena kurangnya koordinasi dan perencanaan yang tidak memadai untuk memperhitungkan kebutuhan semua pihak yang terlibat dan memberikan panduan yang lebih terstruktur kepada mereka untuk melakukan pekerjaan mereka (Balaji, 2021).

2.3 Teori Pengelasan

Berdasarkan definisi dari Deutche Industrie Normen (IDN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau 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 (Wiryosumarto & Harsono, 2000)

Berkat teknologi las bagian-bagian seperti gading-gading dapat langsung dilakukan dengan pelat kulit, lunas dapat dilas dengan bagian geladak dan sekat sekaligus membentuk panel, sub-blok atau bahkan blok. Teknologi las juga membuat banyak pekerjaan perakitan dapat dilakukan dengan baik dengan tingkat akurasi, efisiensi dan keamanan yang tinggi dilandaskan peluncuran maupun di bengkel-bengkel kerja. Blok telah dikerjakan dengan menggunakan teknologi las dapat ditegakkan (erected) antara blok dengan blok lain membentuk sebuah kapal. Proses ini diistilahkan berorientasi zone (zone oriented) (Eyres & Bruce, 2012)

Metode pengelasan disamping digunakan untuk penyambungan juga digunakan untuk reparasi atau perbaikan misalnya membuat lapisan keras pada perkakas, mempertebal bagian-bagian konstruksi yang aus. Perancangan sambungan konstruksi bangunan dan konstruksi mesin dengan las harus direncanakan cara pengelasan, bahan las dan jenis las yang digunakan, serta cara pemeriksaannya, berdasarkan fungsi dari bagian-bagian bangunan atau mesin yang dirancang.

Menurut Pengelasan dibedakan pada cara kerja alat tersebut bekerja dan bentuk pemanasannya, Pengklasifikasian pengelasan berdasarkan cara kerja dapat dibagi dalam tiga kelas utama (Wiryosumarto & Harsono, 2000), yaitu :

1. Pengelasan cair adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api yang terbakar.

2. Pengelasan tekan adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.
3. Pemantrian adalah cara pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. Dalam cara ini logam induk tidak turut mencair.

2.4 Jenis Proses Pengelasan

Teknologi pengelasan banyak digunakan dalam industri fabrikasi. Dalam industri kapal, teknologi pengelasan digunakan untuk menyambung baja pada kapal dengan mengikuti standar yang berlaku untuk pembangunan kapal. (Sunaryo, 2008).

Jenis-jenis dari pengelasan bermacam-macam sesuai dengan penggunaannya seperti Submerged Arc Welding (SAW), Shield Metal Arc Welding (SMAW), Gas Metal Arc Welding (GMAW), Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) dan lain sebagainya. Pada umumnya pengelasan badan kapal banyak digunakan pengelasan dengan metode Shielded Metal Arc Welding (SMAW) dan Flux Cored Arc Welding (FCAW) (Saidah, 2017)

2.4.1 Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

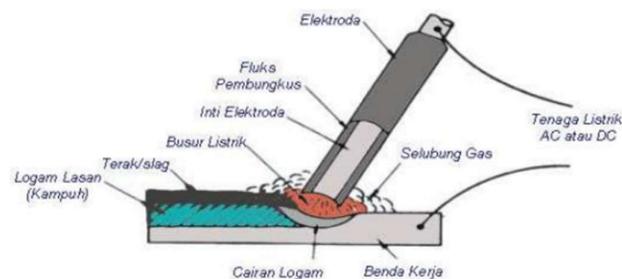
Shielded Metal Arc Welding (SMAW) dikenal juga dengan istilah Manual Metal Arc Welding (MMAW) atau las elektroda terbungkus adalah suatu proses penyambungan dua keping logam atau lebih, menjadi suatu sambungan yang tetap, dengan menggunakan sumber panas listrik dan bahan tambah/pengisi berupa elektroda terbungkus (Nurfitriana, 2016)

Keuntungan Proses SMAW adalah dapat digunakan untuk mengelas sebagian besar baja struktural dan baja alloy. Ini termasuk baja rendah karbon atau mild steels; baja low-alloy, baja yang dapat diberi perlakuan panas; dan baja high-alloy seperti stainless steels. SMAW digunakan untuk menggabungkan paduan nikel umum dan dapat digunakan untuk paduan tembaga dan aluminium. Proses pengelasan ini dapat digunakan di semua posisi datar, vertikal, horizontal, atau di atas kepala dan hanya membutuhkan peralatan yang paling sederhana.

Kekurangan dari proses SMAW adalah dimana SMAW kalah dengan GMAW jika dibandingkan dengan biaya waktu dan bahan yang dibutuhkan untuk mendepositkan logam las. SMAW mendepositkan lasan lebih lambat daripada GMAW. Selain itu, pembuangan slag, potongan elektroda yang tidak terpakai, dan percikan menambah banyak biaya SMAW; dua item terakhir menyumbang

sekitar 44 persen dari elektroda yang dikonsumsi. Biaya potensial lainnya adalah jebakan terak dalam bentuk inklusi yang mungkin harus dihilangkan.

Pada proses las elektroda terbungkus, busur api listrik yang terjadi antara ujung elektroda dan logam induk atau benda kerja (base metal) akan menghasilkan panas. Panas tersebut yang mencairkan ujung elektroda (kawat las) dan benda kerja secara setempat. Busur listrik yang ada dibangkitkan oleh mesin las. Elektroda yang dipakai berupa kawat yang dibungkus oleh pelindung berupa fluks. Dengan adanya pencairan ini maka kumpuh las akan terisi oleh logam cair yang berasal dari elektroda dan logam induk, terbentuklah kawah cair, lalu membeku maka terjadilah logam lasan (weldment) dan terak (slag) (Nurfitriana, 2016).



Gambar 2. 7 Proses Pengelasan SMAW
Sumber : (Wiryosumarto & Okumura, 1996)

Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butiran-butiran yang terbawa oleh arus dari pada busur listrik yang terjadi. Apabila menggunakan arus listrik yang besar maka butiran logam cairnya yang terbawa akan menjadi halus sebaliknya bila arus yang dipakai kecil maka butirannya akan menjadi lebih besar (Nurfitriana, 2016).



Gambar 2. 8 Pemandahan Logam Cair
 Sumber : (Wiryosumarto & Harsono, 2000)

Proses pemindahan logam cair seperti diterangkan diatas sangat mempengaruhi dari sifat-sifat mampu las dari logam. Secara umum dapat dikatakan bahwa mempunyai sifat mampu las tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus, sedangkan proses pemindahan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan juga oleh komposisi bahan pembungkus elektroda (fluks) yang digunakan. Selama proses pengelasan terjadi fluks yang digunakan sebagai bahan pembungkus elektroda mencair dan terapung pada cairan kawah las lalu membeku menutupi deposit las menjadi terak las atau yang disebut slag. Slag inilah yang akan melindungi hasil lasan yang baru membeku agar tidak terpengaruh oleh udara luar (oksidasi). Pada saat itu juga bahan fluks yang terbakar berubah menjadi gas yang berfungsi sebagai bahan pelindung dari udara luar terhadap oksidasi dan juga sebagai pemantap busur (Nurfitriana, 2016)

2.4.2 Flux Cored Arc Welding (FCAW)

Flux cored arc welding atau las busur berinti flux mirip dengan proses las GMAW, yaitu menggunakan elektroda solid dan tubular yang diumpankan secara kontinyu dari sebuah gulungan. Elektroda diumpankan melalui gun atau torch sambil menjaga busur yang terbentuk diantara ujung elektroda dengan base metal. (Nurfitriana, 2016)

Las FCAW (Flux-Cored Arc Welding) merupakan las busur gas yang menggunakan kawat las sekaligus sebagai elektroda. Elektroda tersebut berupa gulungan kawat (rol) yang gerakannya diatur oleh motor listrik. Las ini menggunakan gas argon sebagai pelindung busur. Las FCAW adalah proses otomatis yang memanfaatkan elektroda wire roll untuk mencairkan logam. Selain itu, FCAW memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan teknik pengelasan umum karena teknik ini memiliki kontrol yang lebih baik serta sifat tarik las baja rendah (Dora, 2011).

Pada pengelasan FCAW pada jenis pelindung yang digunakan adalah fluks atau serbuk yang terletak di kawat las las (kawat las digulung dalam sebuah roll). Selain fluks, FCAW juga menggunakan gas pelindung untuk memperbaiki logam yang mencair saat proses pengelasan berlangsung (Tillah, 2020)

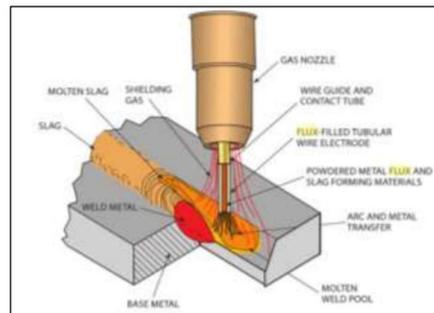
Kelebihan pengelasan dengan metode FCAW adalah Penetrasinya dalam dan laju pengisian lebih tinggi dibandingkan dengan proses SMAW. Dengan demikian proses las ini menjadi lebih ekonomis pada pekerjaan di bengkel-bengkel las, Unsur-unsur paduan bisa ditambahkan pada inti flux untuk menciptakan jenis komposisi menjadi lebih banyak, termasuk beberapa logam paduan rendah dan stainless steel, Flux memberikan peroteksi bagus dalam kawah las dengan membentuk selubung gas pelindung dan lapisan slag, dan Dapat digunakan untuk jenis pengelasan semua posisi tanpa adanya masalah lack of fusion seperti yang terdapat pada GMAW hubungan singkat.

Kekurangan pengelasan dengan metode FCAW adalah Las FCAW membentuk lapisan slag yang harus dikikis diantara lapisan-lapisan las, FCAW bukan merupakan proses pengelasan low hydrogen, Filler metal harus dibeli dari pabrik elektroda yang dilengkapi dengan syarat-syarat low hydrogen, dan Pengelasan dalam proses ini dapat menimbulkan notch toughness yang buruk, Proses pengelasan ini tidak dapat dilakukan jika kecepatan angin lebih dari 5 mph, karena dapat menimbulkan resiko cacat las porosity yang berlebihan. Dengan menaikkan aliran gas untuk mengatasi hembusan angin yang tinggi tidak dapat menyelesaikan masalah tersebut, karena dapat menghasilkan kondisi yang lebih buruk lagi karena menghasilkan turbulensi yang akan menarik udara di lingkungan sekitarnya (Tillah, 2020)

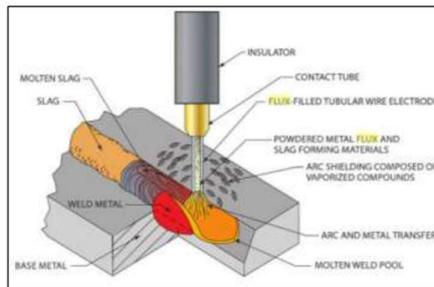
Dalam pengelasan ada penggolongan posisi dalam pengelasan. Posisi pengelasan tersebut adalah 1G, 2G, 3G, dan 4G. Dari penggolongan tersebut pada dasarnya posisi pengelasan secara garis besar digolongkan pada posisi down hand, horizontal, vertical, dan over head. Terlebih lagi pada proses pengelasan berkelanjutan yaitu suatu kontruksi memerlukan pengelasan yang berurutan yang cepat dengan posisi yang berbeda-beda. Dengan adanya keharusan posisi tersebut, maka akan memberikan hasil yang berbeda terhadap kekuatan dan kekerasan hasil lasan. (Cary, 1989)

Las busur listrik fluks inti tengah / pelindung inti tengah biasanya dikenal dengan proses pengelasan FCAW (Flux Cored Arc Welding) adalah salah satu proses pengelasan menggunakan busur yang diisi filler metal berupa elektroda yang dapat diumpankan secara terus-menerus dengan bidang kerja biasanya berbentuk tubular. Pengelasan FCAW dioperasikan secara semi otomatis atau otomatis. Aplikasi untuk pengelasan FCAW semi otomatis yang sering digunakan

dalam dunia fabrikasi struktur baja. Biasanya dilakukan pada pengelasan yang sulit diaskes, produksi las yang pendek atau posisi pengelasan keluar seperti vertikal atau diatas kepala. Secara umum pengelasan FCAW menggunakan operasi secara semi otomatis.



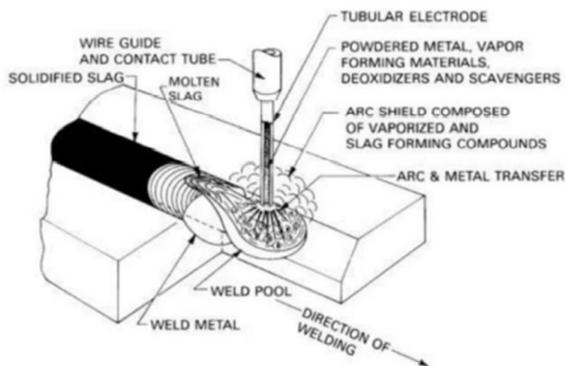
(a)



(b)

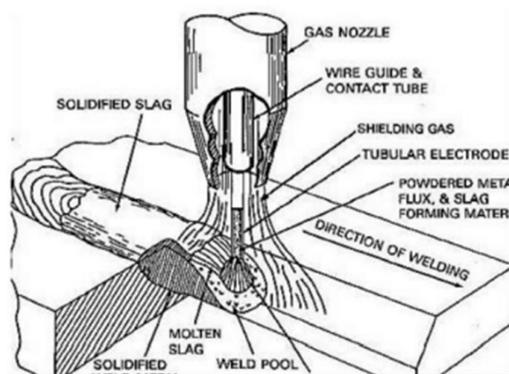
Gambar 2.9 (a) Proses FCAW – g (b) Proses FCAW – ss
Sumber : (Lailiyah, 2017)

Menurut kegunaannya FCAW digolongkan menjadi dua jenis variasi tergantung pada elektrode pelindung yaitu FCAW-ss dan FCAW-g. Pengelasan FCAW-ss (Self Shielded Flux Core Arc Welding) merupakan proses melindungi logam las yang mencair dengan menggunakan gas dari hasil penguapan atau reaksi dari inti fluks. (Lailiyah, 2017)



Gambar 2. 10 Self – Shielding Flux Core Arc Welding
Sumber : (Nurfitriona, 2016)

Sedangkan pengelasan FCAW-g perlindungan dengan dual gas, yaitu melindungi logam las yang mencair dengan menggunakan gas sendiri juga ditambah gas pelindung yang berasal dari luar sistem.



Gambar 2. 11 Gas-Shielding Flux Core Arc Welding
Sumber : (Nurfitriona, 2016)

Umumnya gas yang digunakan yaitu karbon dioksida (CO_2) sebagai gas pelindung meskipun juga bisa menggunakan campuran jenis gas lain seperti Argon. Terdapat kelebihan dan kelemahan penggunaan pengelasan FCAW ini. Kelebihan dari proses ini yaitu elektrode dapat berjalan terus menerus yang dapat mempercepat proses pengelasan dan mengurangi cacat las ketika pengelasan sering dilakukan secara diskontinyu. Selain itu apabila arus listrik ditinggikan maka akan meningkatkan laju endapan dan produktivitas yang sesuai. Sedangkan untuk kelemahan dari proses pengelasan FCAW ini yaitu filler metal harus dibeli

dari pabrik elektroda yang dilengkapi syarat-syarat hidrogen rendah. Pengelasan yang dilakukan dengan proses ini dapat menimbulkan notch toughness yang buruk. Dimana filler metal yang digunakan harus memenuhi persyaratan uji takik. Elektroda yang memiliki kandungan hidrogen lebih rendah dan memiliki syarat kimia khusus akan menghasilkan sifat yang lebih konsisten (Lailiyah, 2017)

Kedua jenis pelindung diatas sama-sama menghasilkan terak las yang memadai untuk melindungi metal las yang akan beku. Perbedaannya terletak pada tambahan sistem pemasok gas dan welding torch (welding gun).

Mesin las FCAW menurut 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+. (Nurfitriana, 2016)

2.5 Elektroda Las

Kode elektroda dinyatakan dengan huruf E dan diikuti dengan empat atau lima digit angka yang artinya adalah sebagai berikut (American Welding Society, 2005):

E = Elektroda, dua atau tiga digit pertama: menunjukkan nilai kekuatan tarik minimum x 1000 psi pada hasil pengelasan yang diperkenankan.

Digit ketiga atau empat: menunjukkan tentang posisi pengelasan yang artinya sebagai berikut:

- 1 = Elektroda dapat digunakan untuk semua posisi (E xx1x).
- 2 = Elektroda dapat digunakan untuk posisi di bawah tangan (E xx2x).
- 3 = Hanya untuk posisi di bawah tangan saja (E xx3x).
- 4 = Untuk semua posisi kecuali arah turun (E xx4x).

Digit terakhir (keempat atau kelima) menunjukkan jenis arus dan tipe salutan. Digit tersebut mulai dari 0 sampai 8 yang menunjukkan tipe arus dan polaritas yang digunakan, dimana ada empat pengelompokan yang dapat menunjukkan tipe arus untuk tiap tipe elektroda, yaitu:

1. Elektroda dengan digit terakhirnya 0 dan 5 dapat digunakan hanya untuk tipe arus searah polaritas terbalik (DCRP).
2. Elektroda dengan digit terakhirnya 2 dan 7 dapat digunakan untuk arus bolak balik (AC) atau arus searah polaritas lurus (DCSP).
3. Elektroda dengan digit terakhirnya 3 dan 4 dapat digunakan untuk arus bolak balik (AC) atau arus searah polaritas terbalik dan lurus (DCRP dan DCSP).
4. Elektroda dengan digit terakhirnya 1, 6 dan 8 dapat digunakan untuk arus bolak balik (AC) atau arus searah polaritas terbalik (DCRP).

Khusus untuk tipe salutan fluks elektroda, secara umum adalah sebagai berikut:

- 1,0 dan 1 = tipe salutannya adalah: cellulose (E xxx0 atau E xxx1).
- 2,3 dan 4 = tipe salutannya adalah: rutile (E xxx2, E xxx3 atau E xxx4).
- 5,6 dan 8 = tipe salutannya adalah: basic (E xxx5, E xxx6).
- 7 = tipe salutannya adalah: oksida besi (E xxx7).

Berdasarkan penjelasan di atas, maka elektroda E 6013 adalah jenis elektroda las dengan kekuatan tarik minimum 60.000 psi, elektroda dapat digunakan untuk semua posisi pengelasan, dan tipe salutan (fluks) adalah Rutile (Titanium Potasium). Elektroda terbungkus sudah banyak yang distandarkan penggunaannya, standarisasi elektroda berdasarkan JIS didasarkan pada jenis fluks, posisi pengelasan dan arus las (Santhiarsa & Budiarsa, 2008).

2.5.1 Elektroda FCAW

Elektroda pada FCAW adalah yang didalamnya ada lubangnya. Biasanya elektroda ini terdiri dari paduan baja karbon rendah yang mengelilingi inti bahan. Elektroda FCAW-G dapat digunakan untuk mengelas carbon steel, low alloy steel dan stainless steel. (Nurfitriana, 2016).

Elektroda yang digunakan dalam pengelasan FCAW berupa filler metal yang mengacu pada peraturan yang menjelaskan mengenai elektroda untuk mild steel. Berikut klasifikasi elektroda yang digunakan pada pengelasan FCAW (American Welding Society, 2005):

Table 2. 1 Klasifikasi Elektroda Pengelasan FCAW

AWS Classification	Position of Welding ^{a,b}	External Shielding ^c	Polarity ^d	Application ^e
E70T-1	H and F	CO ₂	DCEP	M
E70T-1M	H and F	75-80% Ar/bal CO ₂	DCEP	M
E71T-1	H, F, VU, OH	CO ₂	DCEP	M
E71T-1M	H, F, VU, OH	75-80% Ar/bal CO ₂	DCEP	M
E70T-2	H and F	CO ₂	DCEP	S
E70T-2M	H and F	75-80% Ar/bal CO ₂	DCEP	S
E71T-2	H, F, VU, OH	CO ₂	DCEP	S
E71T-2M	H, F, VU, OH	75-80% Ar/bal CO ₂	DCEP	S
E70T-3	H and F	None	DCEP	S
E70T-4	H and F	None	DCEP	M
E70T-5	H and F	CO ₂	DCEP	M
E70T-5M	H and F	75-80% Ar/bal CO ₂	DCEP	M
E71T-5	H, F, VU, OH	CO ₂	DCEP or DCEN ^f	M
E71T-5M	H, F, VU, OH	75-80% Ar/bal CO ₂	DCEP or DCEN ^f	M
E70T-6	H and F	None	DCEP	M
E70T-7	H and F	None	DCEN	M
E71T-7	H, F, VU, OH	None	DCEN	M
E70T-8	H and F	None	DCEN	M
E71T-8	H, F, VU, OH	None	DCEN	M
E70T-9	H and F	CO ₂	DCEP	M
E70T-9M	H and F	75-80% Ar/bal CO ₂	DCEP	M
E71T-9	H, F, VU, OH	CO ₂	DCEP	M
E71T-9M	H, F, VU, OH	75-80% Ar/bal CO ₂	DCEP	M
E70T-10	H and F	None	DCEN	S
E70T-11	H and F	None	DCEN	M
E71T-11	H, F, VD, OH	None	DCEN	M
E70T-12	H and F	CO ₂	DCEP	M
E70T-12M	H and F	75-80% Ar/bal CO ₂	DCEP	M
E71T-12	H, F, VU, OH	CO ₂	DCEP	M
E71T-12M	H, F, VU, OH	75-80% Ar/bal CO ₂	DCEP	M
E61T-13	H, F, VD, OH	None	DCEN	S
E71T-13	H, F, VD, OH	None	DCEN	S
E71T-14	H, F, VD, OH	None	DCEN	S
EX0T-G ^g	H and F	Not Specified	Not Specified	M
EX1T-G ^g	H, F, VD or VU, OH	Not Specified	Not Specified	M
EX0T-GS ^g	H and F	Not Specified	Not Specified	S
EX1T-GS ^g	H, F, VD or VU, OH	Not Specified	Not specified	S

Sumber : (American Welding Society, 2005)

Tabel diatas merupakan klasifikasi elektroda FCAW pada AWS. Dimana terdapat macam elektroda beserta ketentuan-ketentuannya seperti posisi pengelasan, gas pelindung, polaritas dan aplikasi. Berikut penjelasan penamaan elektroda FCAW yaitu (American Welding Society, 2005):

E X1 X2 T – X3 X4

Dimana:

E = Elektroda pengelasan FCAW

X1 = Kekuatan tarik logam las (ksi)

X2 = Posisi Pengelasan

Kode angka 0 = posisi pengelasan secara mendatar dan horisontal

Kode angka 1 = semua posisi pengelasan

T = Jenis flux

X3 = Kegunaan pengelasan. Biasanya kode yang digunakan adalah angka 1 hingga 14 atau huruf "G" atau "GS". Huruf G menunjukkan polaritas dan karakteristik operasi umum tidak spesifik. Dan huruf "S" setelah "G" menunjukkan bahwa elektrode hanya cocok untuk pengelasan single pass.

X4 = Gas pelindung pengelasan. Umumnya kode yang digunakan adalah huruf "C" yang menunjukkan bahwa elektroda menggunakan gas pelindung 100% CO₂. Sedangkan huruf "M" menunjukkan bahwa elektroda menggunakan gas pelindung 75%-80% Argon atau campuran gas pelindung CO₂. Kode lainnya dapat juga digunakan untuk menunjukkan gas lainnya yang bisa digunakan sebagai pelindung gas.

2.6 Konsep Welding Procedure Specification (WPS)

WPS adalah dokumen resmi yang menjelaskan prosedur pengelasan yang harus dilakukan dalam suatu proses produksi/ proyek. AWS (American Welding Society) menyatakan bahwa WPS menyediakan informasi detail tentang variabel pengelasan sehingga dapat dipastikan pekerjaan pengelasan tersebut dapat dilakukan oleh seorang welder. Welding Procedure Specification (WPS) Sebelum proses pengerjaan pengelasan dalam suatu proses produksi/ proyek dilakukan, harus terlebih dahulu dibuat Welding Procedure Specification (WPS) (American Welding Society, 2008).

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. Ada 2 hal kualifikasi pengelasan yang harus dipenuhi yaitu :

1. Kualifikasi prosedur las (Welding Procedure Specification) atau biasa disingkat dengan WPS.
2. Kualifikasi juru las/operator las (Welder/Welding Operator Qualification).

Ada empat tahap dalam kualifikasi welding prosedur menurut (Wiryo Sumarto & Okumura, 1996), yaitu sebagai berikut:

- a) Persiapan dari Prosedur Kualifikasi benda uji.
- b) Pengujian Procedure Qualification dari sambungan las.
- c) Evaluasi hasil pengujian.
- d) Pengesahan dari Qualification Test dan Procedures Specifications.

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.

Di dalam pembuatan prosedur pengelasan (WPS) code atau Standard yang lazim dipakai di negara kita adalah American Standard (ASME, AWS dan API). Selain American Standard design dan fabrikasi yang sering kita jumpai adalah British Standard (BS), Germany Standard (DIN), Japanese Standard (JIS) dan International Standard of Organization (ISO). Akan tetapi, hingga saat ini standar yang paling sering dijadikan acuan untuk pembuatan prosedur pengelasan ASME Code Sect IX (Boiler, Pressure Vessel, Heat Exchanger, Storage Tank), API Std 1104 (Pipeline) dan AWS (Structure & Plat Form).

Welding Procedure Specification (WPS) adalah Prosedur yang digunakan sebagai acuan untuk melaksanakan Proses pengelasan yang meliputi rancangan rinci dari teknik pengelasan yang sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan. Dalam hal ini prosedur pengelasan merupakan langkah-langkah pelaksanaan pengelasan untuk mendapatkan mutu pengelasan yang memenuhi syarat. Dalam prosedur Pengelasan (WPS) harus ditampilkan variabel-variabel yang mempengaruhi kualitas hasil pengelasan. Variabel-variabel itu dapat digolongkan menjadi 3 (Tiga) kelompok:

- a) Essential Variabel. Suatu variabel yang bila diubah akan berpengaruh pada mechanical properties hasil pengelasan.
- b) Supplement Essential Variabel. Suatu variabel yang bila diubah akan berpengaruh pada Nilai Impact hasil pengelasan.
- c) Non Essential Variabel. Suatu variabel bila diubah tidak akan mempengaruhi nilai impact dan mechanical properties hasil pengelasan.

2.6.1 Pembuatan Prosedur Pengelasan WPS

Pada umumnya dalam pembuatan WPS ada *Standard Welding Procedure Specification* (SWPS) yang harus dipenuhi. Untuk itu ada langkah-langkah dalam seleksi kriteria untuk pembuatan WPS (American Welding Society, 2008):

- a) Membuat kualifikasi prosedur uji las dengan menggunakan variable rencana sebagai titik awal.
- b) Merekam hasil/ nilai aktual yang digunakan dalam proses uji las.
- c) Mengevaluasi test spesimen.
- d) Mencatat dan mensertifikasi hasil uji tersebut pada lembar (PQR).

2.6.2 Faktor Utama Penyusunan Pengelasan (WPS)

Dalam penyusunan WPS ada beberapa hal yang perlu untuk diperhatikan (Kementrian Ketenagakerjaan R.I, 2016). Yaitu :

- a) Jenis material induknya (Base Metal).
- b) Jenis proses welding yang digunakan.
- c) Jenis kawat las yang dipakai.
- d) Kondisi pemakaian alat yang akan di las

Faktor Tambahan yang diperhatikan dalam penyusunan WPS selain pada persyaratan utama diatas antara lain :

- a) Compability antara kawat las dan material induk (Base Metal).
- b) Sifat-sifat metallurgy dari material tersebut khususnya kemampuan material untuk dapat di las (weldability).
- c) Proses pemanasan (Preheat, Post Heat, Interpass Temperatur Dan PWHT).
- d) Design sambungan dan beban.
- e) Mechanical properties yang diinginkan.
- f) Lingkungan kerja (enviroment work) pada equipment tersebut.
- g) Kemampuan welder.
- h) Safety.

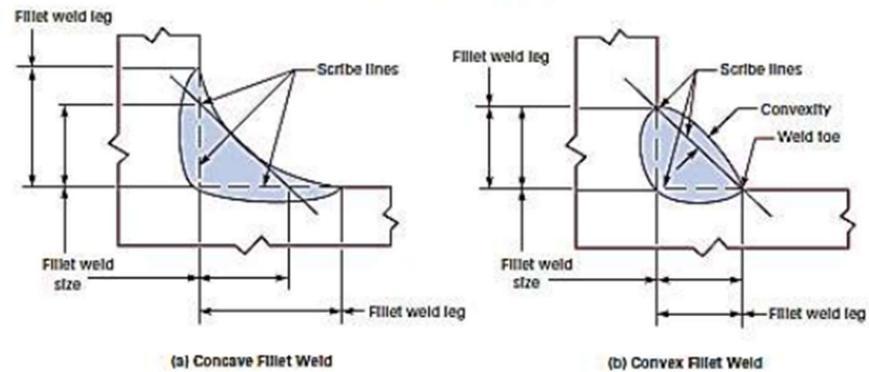
2.7 Klasifikasi Sambungan Las

Untuk mempermudah dalam proses pengelasan, perlu adanya kampuh agar filler dapat mengisi logam induk yang akan disambung. Kampuh akan diperlukan jika ketebalan material yang akan dilas lebih dari 6 mm (ASME section IX). Ada jenis kampuh yang biasanya digunakan dalam pengelasan pada sambungan-T.

SFA-5.1/SFA-5.1M

2013 SECTION II, PART C

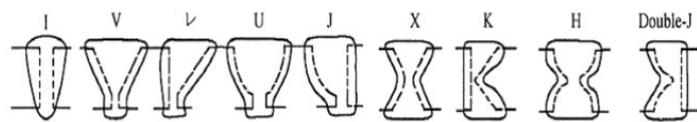
FIG. 8 DIMENSIONS OF FILLET WELDS



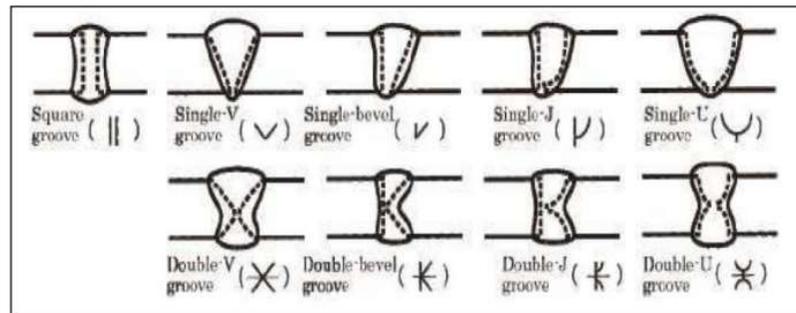
Gambar 2. 12 Fillet Weld pada pengelasan Joint-T
 Sumber : (American Society of Mechanical Engineers, 2013)

Sambungan Pengelasan adalah tipe sambungan material atau plat yang digunakan untuk proses pengelasan dengan tujuan untuk mendapatkan penetrasi dan hasil sambungan yang maksimal. Jenis sambungan las mempunyai beberapa macam yang menjadi jenis sambungan utama yaitu Sambungan Tumpul (Butt Joint), Fillet (T) Joint, Corner Joint, Lap Joint dan Paralel Joint.

Alur pengelasan dinyatakan oleh sepasang sisi ujung dari dua logam yang akan disambung dengan pengelasan. Persiapan kampuh las meliputi persiapan ujung-ujung permukaan. Sebuah kampuh las harus dirancang untuk pengelasan yang efisien secara ekonomis dan mudah pelaksanaannya dan untuk meminimalkan jumlah endapan tanpa menyebabkan cacat las. Ubah bentuk geometri kampuh, sesuaikan dengan ketebalan logam yang akan disambung : kampuh I, V, X, U atau H harus dipilih sesuai penambahan ketebalan.



(a)



(b)

Gambar 2. 13 Bentuk Geometri Kampuh
Sumber : (Nurfitriana, 2016)

Kampuh las dapat dipersiapkan dengan pemesian atau pemotongan panas lainnya. Metode pemotongan panas yang dapat dipakai meliputi : pemotongan gas, pemotongan busur plasma, pemotongan busur udara, pemotongan laser, dsb. Yang paling umum dilakukan adalah metode pemotongan gas. Jika kampuh dipersiapkan dengan menggunakan pemotongan gas atau pemotongan busur plasma, serpihan serpihan kotoran pada permukaan harus dibuang. Karena permukaan yang dipotong secara kasar pada permukaan kampuh dapat menyebabkan cacat las, maka hal-hal tersebut harus diperbaiki dengan penggerindaan atau dengan metode lain yang tepat.

2.7.1 Sambungan Tumpul

Sambungan tumpul adalah jenis sambungan yang paling efisien. Sambungan ini dibagi lagi menjadi dua yaitu sambungan penetrasi penuh dan sambungan penetrasi sebagian. Sambungan penetrasi penuh dibagi lebih lanjut menjadi sambungan tanpa pelat pembantu dan sambungan dengan pelat pembantu yang masih dibagi lagi dalam pelat pembantu yang turut menjadi bagian dari konstruksi dan pelat pembantu yang hanya sebagai penolong pada waktu proses pengelasan saja, seperti pada Gambar 2.14

Jenis las Jenis alur	Lasan dengan alur		
	Lasan Penetrasi penuh tanpa pelat penahan	Lasan penetrasi penuh dengan pelat penahan	Lasan penetrasi sebagian
Persegi (I)			
V tunggal (V)			
Tirus tunggal (V)			
U tunggal (U)		—	
V ganda (X)		—	
Tirus ganda (K)		—	
U ganda (H) (DU)		—	
J tunggal (J)		—	
J ganda (DJ)		—	

Gambar 2. 14 Alur Sambungan Las Tumpul
 Sumber : (Wiryosumarto & Okumura, 1996)

2.7.2 Sambungan Bentuk T dan Bentuk Silang

Pada kedua sambungan ini secara garis besar dibagi dalam dua jenis yaitu jenis las dengan alur dan jenis las sudut. Hal-hal yang dijelaskan untuk sambungan tumpul di atas juga berlaku untuk sambungan jenis ini. Dalam pelaksanaan pengelasan mungkin sekali ada bagian batang yang menghalangi yang dalam hal ini dapat diatasi dengan memperbesar sudut alur, seperti pada Gambar 2.15 (Nurfitriana, 2016).

Lasan Dengan Alur	Lasan Penetrasi penuh					
	Lasan Penetrasi Sebagian					—
Lasan Sudut						

Gambar 2. 15 Sambungan T
 Sumber : (Wiryosumarto & Okumura, 1996)

2.7.3 Sambungan Sudut

Dalam sambungan ini dapat terjadi penyusutan dalam arah tebal pelat yang dapat menyebabkan terjadinya retak lamel. Hal ini dapat dihindari dengan membuat alur pada pelat tegak. Apabila pengelasan dalam tidak dapat dilakukan karena sempitnya ruang, maka pelaksanaannya dapat dilakukan dengan pengelasan tembus atau pengelasan dengan pelat pembantu, seperti pada Gambar 2.14 (Nurfitriana, 2016).

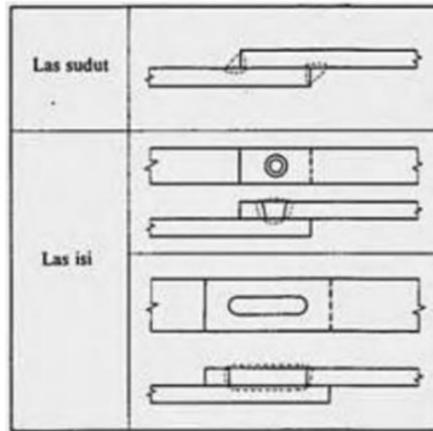
Lasan dengan alur	Lasan penetrasi penuh							
	Lasan penetrasi sebagian							
Gabungan lasan dengan alur dan las sudut					—	—	—	
Las sudut								

Gambar 2. 16 Macam – macam sambungan sudut

Sumber : (Wirjosumarto & Okumura, 1996)

2.7.4 Sambungan Tumpang

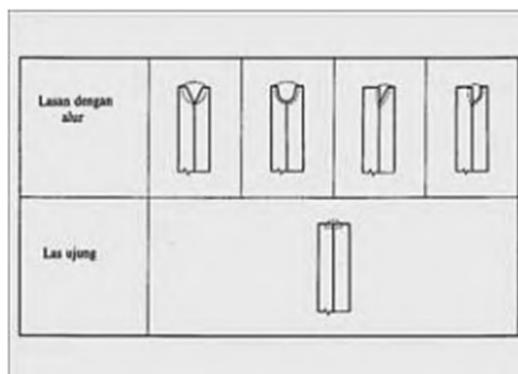
Sambungan tumpang dibagi dalam 3 jenis, yaitu las sudut dan las isi. Karena sambungan ini efisiensinya rendah, maka jarang sekali digunakan untuk pelaksanaan penyambungan konstruksi utama. Sambungan tumpang biasanya dilaksanakan dengan las sudut dan las isi, seperti pada Gambar 2.15 (Nurfitriana, 2016).



Gambar 2. 17 Sambungan Tumpang
Sumber : (Wiriosumarto & Okumura, 1996)

2.7.5 Sambungan Sisi

Sambungan sisi dibagi dalam sambungan las dengan alur dan sambungan las ujung. Untuk jenis lasan dengan alur, pada pelatnya harus dibuat alur sedangkan pada jenis las ujung dilakukan pada ujung pelat tanpa ada alur. Jenis las ujung biasanya hasilnya kurang memuaskan kecuali bila pengelasannya dilakukan dalam posisi datar dengan aliran listrik yang tinggi. Karena hal ini, maka jenis las ujung hanya dipakai untuk pengelasan tambahan atau sementara pada pengelasan pelat – pelat yang tebal, seperti pada Gambar 2.16 (Nurfitriona, 2016).

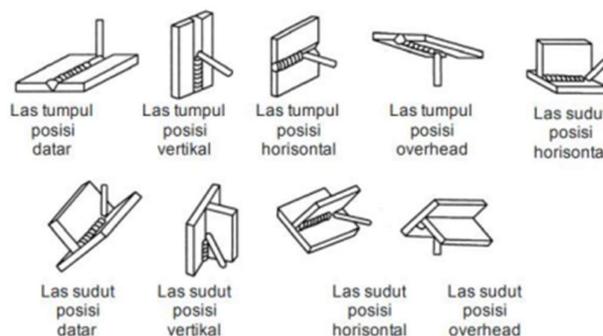


Gambar 2. 18 Sambungan Sisi
(Sumber : Nurfitriona, 2016)

Sambungan las berfungsi untuk mengikat dua material logam dengan kekuatan minimal sama dengan material logam yang dilakukan pengelasan. Untuk memudahkan proses penyambungan maka dibuat sebuah bentuk sambungan dan kampuh las agar hasilnya maksimal.

2.8 Posisi Pengelasan

Terdapat empat posisi pengelasan: datar, vertikal, horisontal dan diatas kepala (overhead), seperti ditampilkan pada Gambar 2.17. Ketinggian meja dan bangku kerja harus disetel untuk memudahkan pengelasan dilakukan pada posisi yang nyaman dan untuk mempertinggi efisiensi. Pengelasan overhead dan pengelasan pipa sangat sulit sehingga sambungan-sambungan yang sangat dapat diandalkan dan efisiensi pengelasan yang tinggi belum dapat diharapkan meskipun dengan juru las terlatih. Oleh karena itu sedapat mungkin pengelasan dilakukan dalam posisi datar dengan menggunakan positioner (Sunaryo, 2008).



Gambar 2. 19 Macam-Macam Posisi Pengelasan
Sumber : (Wiryosumarto & Okumura, 1996)

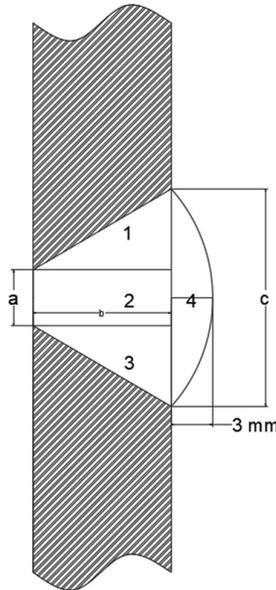
2.9 Berat Pengelasan

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

$$\text{Volume elektroda (cm}^3\text{)} = \text{Panjang (cm)} \times \text{Luas Kampuh (cm}^2\text{)} \quad (2.1)$$

Dari setiap sambungan memiliki luas kampuh yang berbeda. Adapun jenis sambungan yang digunakan adalah V butt, Tee joint, dan Lap joint. Jadi, sebelum menentukan kebutuhan elektroda, setiap sambungan ditentukan luas kampuh dan juga panjang pengelasan yang dikerjakan.

Untuk volume kempuh pada jenis sambungan double V butt dilihat pada Gambar 2.20



Gambar 2. 20 Kempuh Jenis Sambungan Single V Butt
(Sumber : Olahan Data)

Pertama menghitung luas kempuh sesuai Gambar 2.20 mempunyai 4 bangun datar:

$$\begin{aligned} \text{Luas Bangun Datar 1 (mm}^2\text{)} &= \frac{\text{Alas} \times \text{Tinggi}}{2} & (2.2) \\ &= \frac{(\tan 30 \times b) \times b}{2} \text{ (mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

Pada Bangun Datar (1) dan (3) mempunyai luas yang sama

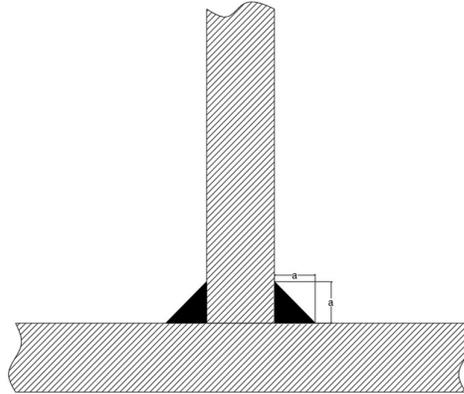
$$\begin{aligned} \text{Luas Bangun Datar 2 (mm}^2\text{)} &= \text{Panjang} \times \text{Lebar} & (2.3) \\ &= (b \times c) \text{ (mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Bangun Datar 4 (mm}^2\text{)} &= \frac{\text{Alas} \times \text{Tinggi}}{2} \times 1.02 & (2.4) \\ &= \frac{c \times 3 \text{ mm}}{2} \times 1.02 \text{ (mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Kempuh Single V Butt} &= \text{BD (1)} + \text{BD (2)} + \text{BD (3)} + \text{BD} & (4) \\ & & (2.5) \end{aligned}$$

Pada jenis sambungan Tee Fillet dan Lap Joint memiliki kempuh menyerupai segitiga yang sama (lihat Gambar 2.21) karena jenis sambungan lap joint ini

mempunyai jenis sambungan tumpang sudut. Untuk volume kempuh pada jenis sambungan Tee fillet dan Lap joint yaitu:



Gambar 2. 21 Kempuh Jenis Sambungan Tee Fillet
(Sumber : Olahan Data)

Menghitung luas kempuh sesuai Gambar 2.21 mempunyai bangun datar segitiga sama kaki, dimana untuk sisi alas dan tingginya memiliki panjang yang sama diambil dari panjang *Leg Length*.

$$\text{Luas Kempuh Tee Fillet (mm}^2\text{)} = \frac{\text{Alas} \times \text{Tinggi}}{2} \quad (2.6)$$

Untuk sambungan Lap Joint memiliki luas kempuh yang sama dengan sambungan *tee fillet*, maka rumus untuk mencari luas kempuh *lap joint* juga sama dengan rumus mencari luas kempuh sambungan *tee fillet*.

Setelah menentukan volume kempuh, selanjutnya dikalikan dengan massa jenis baja untuk mengetahui kebutuhan berat elektroda.

$$\text{Massa Jenis Baja} = 7,85 \text{ g / cm}^3 \quad (2.7)$$

2.9.1 Deposit Pengelasan

Biaya pembangunan kapal mencakup bahan-bahan yang dipakai di tempat kerja selama pengerjaan pembangunan kapal. Untuk proses pengelasan dimana logam pengisi diendapkan, jumlah logam yang diendapkan dapat menjadi dasar biaya bahan yang di konversi kedalam jumlah batang / gulungan. Pada perhitungan total berat elektroda (lihat persamaan 2.8) digunakan tabel *deposition efficiency for welding processes and filler metals* untuk mendapatkan berat pengelasan dari total berat yang telah di endapkan pada Tabel 2.2 (American Welding Society, 1997)

Total Berat Elektroda = Volume x Berat Massa Jenis x Deposition Efeeciency
(2.8)

Table 2. 2 Deposition Efficiency for Welding Processes and filler Metals

Deposition efficiency for welding processes and filler metals	
Filler metal form and process	Deposition efficiency, %
Covered electrodes, SMAW	
14 in. long	55 to 65
18 in. long	60 to 70
28 in. long	65 to 75
Bare solid wire	
Submerged arc	95 to 99
Gas metal arc	90 to 95
Electroslag	95 to 99
Gas tungsten arc	99
Flux cored electrodes	
Flux cored arc	80 to 85

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa untuk pengelasan SMAW elektroda yang diendapkan sebesar 75% dan untuk FCAW sebesar 85%.

2.10. Ratio Beban Kerja

Dalam pembangunan kapal, diketahui bahwa untuk mengontrak pekerja dilihat dari beban kerja tiap daerah yang akan dikerjakan. Oleh sebab itu, maka untuk mencari ratio beban kerja pengelasan didapatkan dengan persamaan:

$$\text{Ratio Beban Kerja (m/ton)} = \frac{\text{Panjang Pengelasan}}{\text{Berat Block Kapal}} \quad (2.9)$$

Dari persamaan diatas akan menghasilkan panjang pengelasan tiap 1 ton pada daerah blok pekerjaan tersebut. Dengan persamaan diatas juga, dapat diketahui beban kerja yang terbesar dan terkecil pada tiap daerah pembangunan kapal.

2.11 Produktivitas Juru Las

2.11.1 Unsur Produktivitas

Menurut (Sondang, 2010) Ada beberapa unsur produksinya yang perlu diketahui, seperti:

1. Efisiensi

Produktivitas sebagai rasio output/input merupakan ukuran efisiensi pemakaian sumber daya (input). Efisiensi merupakan suatu ukuran dalam membandingkan penggunaan masukan (input) yang direncanakan dengan penggunaan masukan yang sebenarnya terlaksana. Pengertian efisiensi berorientasi kepada masukan.

2. Efektivitas

Efektivitas merupakan suatu ukuran yang memberikan gambaran seberapa jauh target dapat tercapai baik secara kuantitas maupun waktu. Makin besar presentase target tercapai, makin tinggi tingkat efektivitasnya. Konsep ini berorientasi pada keluaran. Peningkatan efektivitas belum tentu dibarengi dengan peningkatan efisiensi dan sebaliknya.

3. Kualitas

Secara umum kualitas adalah ukuran yang menyatakan seberapa jauh pemenuhan persyaratan, spesifikasi, dan harapan konsumen. Kualitas merupakan salah satu ukuran produktivitas. Meskipun kualitas sulit diukur secara matematis melalui rasio output/input, namun jelas bahwa kualitas input dan kualitas proses akan meningkatkan kualitas output.

2.11.2 Manfaat Produktivitas

Suatu organisasi perusahaan perlu mengetahui pada tingkat produktivitas nama perusahaan itu beroperasi, agar dapat membandingkannya dengan produktivitas standar yang telah ditetapkan manajemen, mengukur tingkat produktivitas dari waktu, dan membandingkan dengan produktivitas industry sejenis yang menghasilkan produk serupa. (Vincent, 1998)

Manfaat pengukuran produktivitas dalam suatu organisasi perusahaan, antara lain:

4. Perusahaan dapat menilai efisiensi konvensi sumber dayanya, agar dapat meningkatkan produktivitas melalui penggunaan sumber-sumber daya tersebut.
5. Perencanaan sumber-sumber daya akan menjadi lebih efektif dan efisien melalui pengukuran produktivitas, baik dalam perencanaan jangka pendek maupun jangka panjang.
6. Tujuan ekonomis dan non ekonomis dari perusahaan dapat diorganisasikan kembali dengan cara memberikan prioritas tertentu yang dipandang dari sudut produktivitas.
7. Perencanaan target tingkat produktivitas di masa mendatang dapat dimodifikasi kembali berdasarkan informasi pengukuran tingkat produktivitas sekarang.

2.11.3 Produktivitas Juru Las

Produktivitas kerja adalah kemampuan menghasilkan barang dan jasa dari berbagai sumber daya atau factor produksi yang digunakan untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas pekerjaan yang dihasilkan dalam suatu perusahaan.

Pengukuran produktivitas tenaga kerja menurut system pemasangan fisik perorangan atau per jam kerja orang diterima secara luas, namun dari sudut pandangan atau pengawasan harian, pengukuran-pengukuran tersebut pada umumnya tidak memuaskan, dikarenakan adanya variasi dalam jumlah yang diperlukan untuk memproduksi satu unit produk yang berbeda. Oleh karena itu, digunakan metode pengukuran waktu tenaga kerja (jam, hari atau tahun). Pengeluaran diubah ke dalam unit-unit pekerja yang biasanya diartikan sebagai jumlah kerja yang dapat dilakukan dalam satu jam oleh pekerja yang terpercaya yang bekerja menurut pelaksanaan standar.

Pengukuran produktivitas juru las keseluruhan juga diukur dari banyaknya pengelasan yang bisa dicapai dengan variable waktu yang telah ditentukan sehingga menghasilkan nilai efektivitas dan efisiensi tiap juru las yang ada. Nilai total pengerjaan tersebut setelah diolah mempunyai nilai rata-rata dengan persamaan:

$$\bar{x} = \frac{\sum \text{Nilai Rata-Rata Per Hari}}{n} \quad (2.10)$$

2.12 Metode Statistik

Statistika adalah ilmu pengetahuan, murni dan terapan, mengenai penciptaan, pengembangan, dan penerapan Teknik- teknik sedemikian rupa sehingga ketidakpastian inferensia induktif dapat dievaluasi. Sedangkan statistik itu sendiri adalah kumpulan fakta yang berbentuk angka-angka yang disusun dalam bentuk daftar atau tabel yang menggambarkan suatu persoalan. (Nuryadi, 2017)

2.12.1 Data

Setiap kegiatan yang berkaitan dengan statistik selalu berhubungan dengan data. Pengertian data adalah keterangan yang benar dan nyata. Data adalah bentuk jamak dari datum. Datum adalah keterangan atau informasi yang diperoleh dari suatu pengamatan sedangkan data adalah segala keterangan atau informasi yang dapat memberikan gambaran tentang suatu keadaan. Untuk memperoleh kesimpulan yang tepat dan benar maka data yang dikumpulkan dalam pengamatan harus nyata dan benar, demikian sebaliknya. Syarat data yang baik yaitu (Nuryadi, 2017)

- a. Data harus objektif (sesuai dengan keadaan sebenarnya)
- b. Data harus mewakili (representative)
- c. Data harus up to date
- d. Data harus relevan dengan masalah yang akan dipecah

2.12.2 Sampel

Sampel adalah bagian dari populasi yang menjadi objek penelitian (sampel sendiri secara harfiah berarti contoh). Alasan perlunya pengambilan sampel adalah sebagai berikut (Nuryadi, 2017)

- a. Keterbatasan waktu, tenaga dan biaya
- b. Lebih cepat dan lebih mudah
- c. Memberi informasi yang lebih banyak dan dalam
- d. Dapat ditangani lebih teliti.