

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan data merupakan prosedur yang standar dan sistematis dalam penulisan ilmiah. Untuk mendapatkan data – data yang diperlukan dilakukan dengan melakukan pengamatan langsung (*observation*), *interview* dan pengambilan data – data sekunder. Pengumpulan data ini dilakukan di PT. PAL INDONESIA. Setelah data tersebut terkumpul lalu dilakukan pengolahan dan pembahasan sehingga bisa didapatkan hasil penelitian yang nantinya akan menjawab rumusan masalah dan tujuan penelitian yang sudah diterapkan.

4.1 GAMBARAN UMUM PT. PAL INDONESIA

Pada gambaran umum perusahaan ini akan dijelaskan mengenai sejarah berdirinya PT. PAL INDONESIA, visi, misi, struktur organisasi, dan jenis produk yang dihasilkan.

4.1.1 Profil PT. PAL INDONESIA



Gambar 4.1 Logo PT. PAL INDONESIA
Sumber: PT. PAL INDONESIA

PT. PAL INDONESIA, bermula dari sebuah galangan kapal yang bernama *MARINE ESTABLISHMENT* (ME) dan diresmikan oleh pemerintah Belanda pada tahun 1939. Pada masa pendudukan Jepang, perusahaan ini berubah nama menjadi Kaigun SE 2124. Setelah kemerdekaan Indonesia, pemerintah Indonesia menasionalisasi perusahaan ini menjadi Penataran Angkatan Laut (PAL). Pada tanggal 15 April 1980, pemerintah merubah status perusahaan dari Perusahaan Umum menjadi Perseroan Terbatas sesuai dengan akta No. 12, yang dibuat oleh notaris Hadi Moentoro, SH.

Lokasi PT. PAL INDONESIA berada di Ujung, Surabaya, Jawa timur, dengan kegiatan utama yaitu memproduksi kapal perang dan kapal niaga, memberikan jasa perbaikan dan pemeliharaan kapal (*Offshore Construction*) dengan spesifikasi tertentu berdasarkan pada permintaan konsumen. PT. PAL INDONESIA (Persero) memiliki kemampuan untuk membangun kapal niaga dan kapal perang. Berikut ini adalah produk-produk dari PT. PAL INDONESIA:

Produk Kapal Niaga

Pada saat ini PT. PAL INDONESIA telah menguasai teknologi untuk memproduksi berbagai jenis kapal dengan kapasitas hingga 50.000 *Dead Weight Tonnage* (DWT), seperti kapal *Double Skin Bulk Carrier* (DSBC) 50.000 DWT, kapal tanker 30.000 LTDW, *Open Hatch Bulk Carrier* (OHBC) 45.000 DWT, kapal kontainer 1.600 TEU'S, Kapal Penumpang (PAX 500) dan semi kontainer 4.180 DWT. Berikut ini adalah produk kapal niaga:

- a. *Dry Cargo Vessel STAR 50 Box Shaped Bulk Carrier* (BSBC) 50.000 DWT



Gambar 4.2 BSBC 50.000 DWT
Sumber: PT. PAL INDONESIA

- b. *Container Ship 1.600 TEU'S (Palwo Buwono Series)*



Gambar 4.3 Container Ship 1.600 TEUS
Sumber: PT. PAL INDONESIA

c. *Tanker* 30.000 LTDW- MT Fastron



Gambar 4.4 MT. Fastron
Sumber: PT. PAL INDONESIA

d. *Open Hatch Bulk Carrier* (OHBC) 45.000 DWT



Gambar 4.5 OHBC 45.000 DWT
Sumber: PT. PAL INDONESIA

e. *Semi kontainer* 4.180 DWT



Gambar 4.6 Semi Kontainer 4.180 DWT
Sumber: PT. PAL INDONESIA

f. Kapal Penumpang (PAX 500)



Gambar 4.7 PAX 500
Sumber: PT. PAL INDONESIA

Produk Kapal Perang

Sedangkan untuk kapal perang PT. PAL INDONESIA mampu memproduksi berbagai tipe, diantaranya kapal *Landing Platform Dock* 125 meter, kapal patroli cepat lambung baja klas 57 meter, dan kapal patroli cepat 15 sampai 38 meter.

a. Kapal *Landing Platform Dock* 125 meter



Gambar 4.8 *Landing Platform Dock* 125 Meter
Sumber: PT. PAL INDONESIA

b. Kapal Patroli Cepat 57 Meter



Gambar 4.9 Kapal Patroli Cepat 57 Meter
Sumber: PT. PAL INDONESIA

c. Kapal patroli cepat 28 meter.



Gambar 4.10 Kapal patroli Cepat 28 Meter
Sumber: PT. PAL INDONESIA

4.1.2 Visi dan Misi PT. PAL INDONESIA

PT. PAL INDONESIA mempunyai reputasi sebagai kekuatan utama pengembangan industri maritim nasional. Sebagai usaha untuk mendukung pondasi bagi industri maritim nasional, PT. PAL INDONESIA bekerja keras untuk dapat menyampaikan pengetahuan, keterampilan, dan teknologi bagi masyarakat luas. Usaha ini telah menjadi pemegang kunci untuk meningkatkan industri maritim nasional.

VISI:

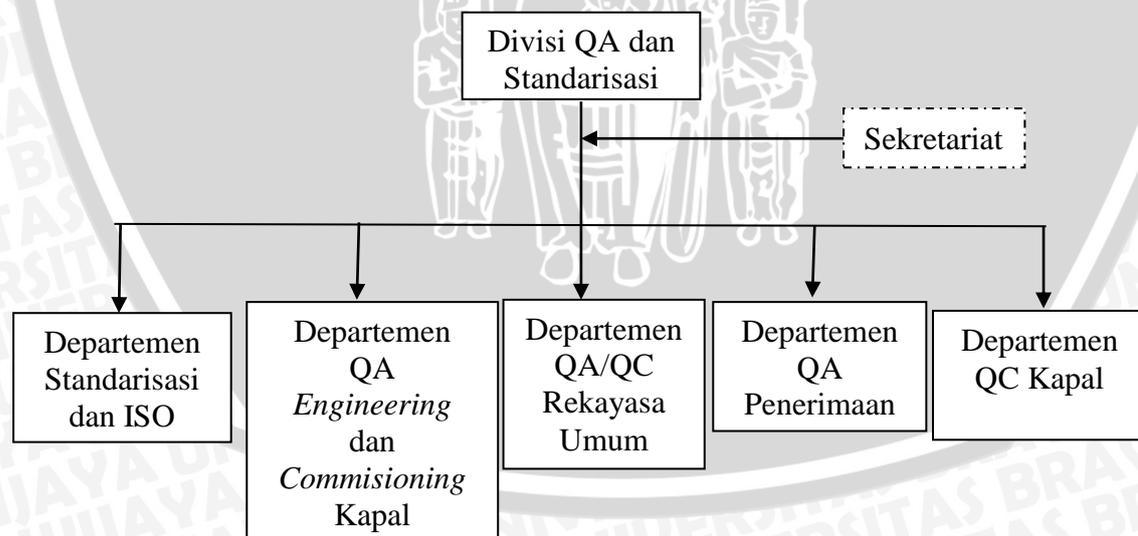
Menjadi perusahaan galangan kapal dan rekayasa berkelas dunia, terpercaya, dan bernilai tambah bagi para pemangku kepentingan.

MISI:

- Meningkatkan kepuasan pelanggan dengan mutu produk berstandar internasional dan penyerahan produk tepat waktu, serta meningkatkan pengelolaan perusahaan yang akuntabel dan transparan.
- Meningkatkan peran dalam mendukung program pertahanan dan keamanan nasional melalui penguasaan teknologi dan rancang bangun.
- Memberikan kesejahteraan secara berkesinambungan bagi pada pemegang saham, karyawan, pelanggan, mitra usaha, dan pengembangan usaha kecil.

4.1.3 Struktur Organisasi

Struktur organisasi divisi QA dan standarisasi PT. PAL INDONESIA terbagi menjadi beberapa bidang, seperti Departemen Standarisasi dan ISO, Departemen QA *Engineering* dan *Commisioning* Kapal, Departemen QA/QC Rekayasa Umum, Departemen QA Penerimaan dan Departemen QC Kapal. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.11 berikut ini.



Gambar 4.11 Struktur Organisasi Divisi QA dan Standarisasi PT. PAL INDONESIA
Sumber: PT. PAL INDONESIA

4.2 REKAPITULASI DATA CACAT PADA HC DI KM. PAGERUNGAN

Rekapitulasi dilakukan berdasarkan data cacat hasil inspeksi *class/OS* pada bagian HC. Pada penelitian ini data yang berasal dari hasil inspeksi *class/OS* sangat memegang peranan penting. Oleh karena itu dilakukan proses rekapitulasi ulang secara menyeluruh pada data tersebut. Berdasarkan hasil rekapitulasi ulang didapatkan bahwa terjadi penambahan jumlah cacat pada bagian HC yang pada awalnya terjadi 99 cacat bertambah menjadi 129 cacat. Dimana cacat yang terjadi dapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok besar, yaitu *missing bracket* sebanyak 18 kali, *missed weld* sebanyak 13 kali, *misalignment* sebanyak 23 kali dan *design error* sebanyak 5 kali sebagai kelompok cacat konstruksi. Kemudian *porosity* sebanyak 8 kali, *blow hole* sebanyak 11 kali, *spatter* sebanyak 10 kali, *slag* sebanyak 11 kali, *round weld* sebanyak 11 kali, *undercut* sebanyak 7 kali, *overlap* sebanyak 2 kali, *unfinished fusion* sebanyak 1 kali, dan *sharp edge* sebanyak 9 kali sebagai kelompok cacat pengelasan. Untuk lebih jelasnya hasil rekapitulasi data cacat pada HC di KM. Pagerungan ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Rekapitulasi Data cacat pada HC di KM. Pagerungan

Jenis Cacat Konstruksi	Jumlah
<i>Missing bracket</i>	18
<i>Missed weld</i>	13
<i>Misalignment</i>	23
<i>Design error</i>	5
Jenis cacat Pengelasan	Jumlah
<i>Porosity</i>	8
<i>Blow hole</i>	11
<i>Spatter</i>	10
<i>Slag</i>	11
<i>Return weld</i>	11
<i>Undercut</i>	7
<i>Overlap</i>	2
<i>Incomplete fusion</i>	1
<i>Sharp edge</i>	9
Total	129

Sumber: PT. PAL INDONESIA

4.3 METODE PENGUJIAN HASIL LAS

Salah satu metode pengujian terhadap las di PT. PAL INDONESIA adalah menggunakan metode *Non Destructive Testing* (NDT). Menurut Biro Klasifikasi Indonesia (2000) NDT adalah sebuah metode pengujian yang dapat dilakukan pada suatu material, komponen, dan struktur yang bertujuan untuk mengukur beberapa karakteristik tanpa harus merusak material atau komponen yang diuji tersebut.

Berikut ini adalah manfaat dari penggunaan NDT, menurut Biro Klasifikasi Indonesia (2000):

- a. Untuk mendeteksi kebocoran dalam struktur
- b. Untuk mengukur dimensi material
- c. Dapat mendeteksi cacat yang terjadi setelah proses pengelasan dilakukan.

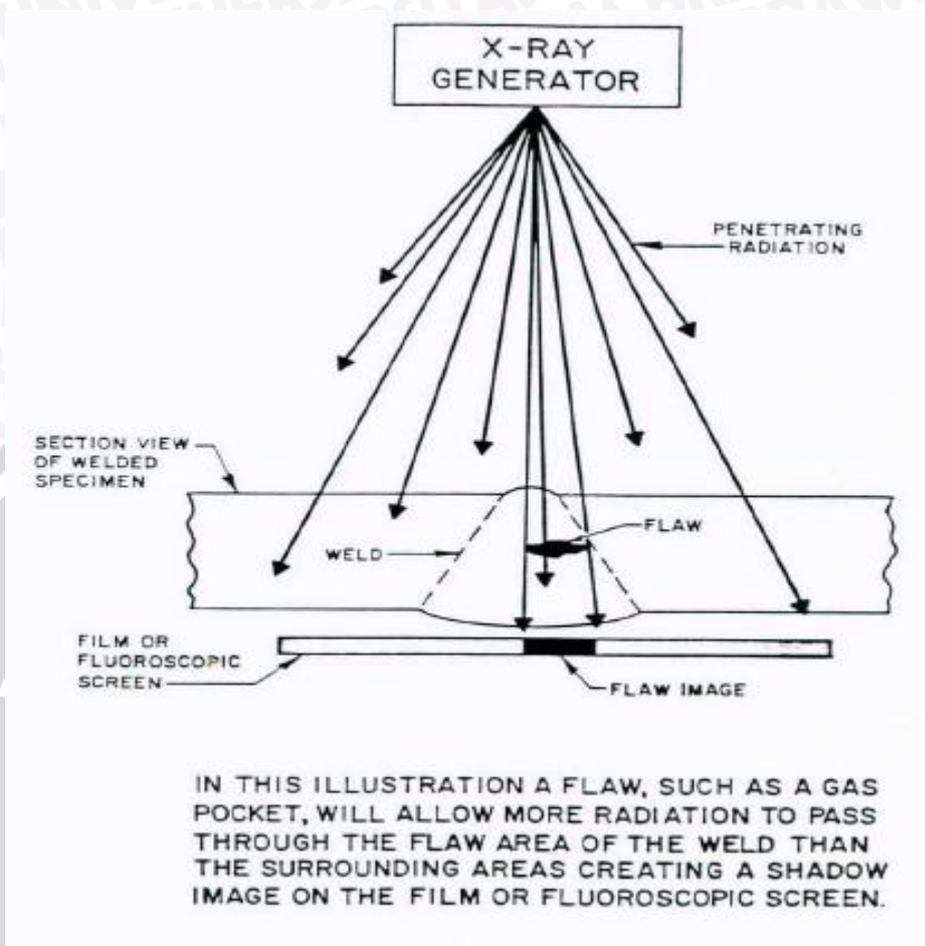
Dalam penerapannya NDT terbagi dalam beberapa metode yaitu, *visual inspection*, *liquid penetrant testing*, *magnetic particle testing*, *ultrasonic testing*, dan *radiographic testing*. Dari seluruh metode tersebut PT. PAL INDONESIA menggunakan metode *visual inspection*, *ultrasonic testing*, dan *radiographic testing*. Untuk ketebalan pelat yang digunakan pada *double bottom structure* dan *wong tank construction* adalah sekitar 10-15 mm.

Metode *visual inspection* merupakan metode pemeriksaan dasar dan umum dilakukan. Pada umumnya menggunakan alat bantu, yaitu senter, *welding gauge*, dan palu. Menurut Biro Klasifikasi Indonesia (2000) ada beberapa karakteristik yang wajib dipenuhi dalam metode ini, yaitu:

- a. Kesempurnaan pada hasil pengelasan sesuai dengan standar yang telah disepakati
- b. Ketepatan akurasi dimensi pengelasan terhadap standar spesifikasi yang telah ditentukan
- c. Kesesuaian bentuk pengelasan
- d. Kebebasan dari cacat eksternal yang tidak dapat diterima

Menurut Biro Klasifikasi Indonesia (2000) metode *radiographic test* adalah suatu metode yang berdasarkan pengamatan perbedaan tingkat penyerapan dari suatu penyinaran radiasi pada suatu bahan/objek, atau dengan kata lain bayangan yang dihasilkan oleh lewatnya sinar gamma/sinar x melalui benda uji ke film. Perubahan yang dihasilkan oleh emulsi film dicuci untuk menghasilkan *radiographic transparency (radiograph)*. Gambar 4.12 akan menunjukkan mengenai cara kerja dari *radiographic test*. Dimana ketika sinar x ditembakkan pada objek yang telah

ditentukan, maka sinar x akan lebih mudah menembus daerah las yang cacat dibandingkan dengan daerah yang tidak.



Gambar 4.12 Radiographic Test

Sumber: Biro Klasifikasi Indonesia (2000)

Jenis sumber radiasi gamma yang umumnya digunakan adalah Ir-192 dan Co-60. Menurut Biro Klasifikasi Indonesia (2000), kedua jenis sumber radiasi ini memiliki kemampuan menembus pelat yang berbeda pula. Berikut ini adalah tabel pemilihan sumber radiasi gamma berdasarkan ketebalan material yang digunakan.

Tabel 4.2 Pemilihan Sumber Radiasi Gamma

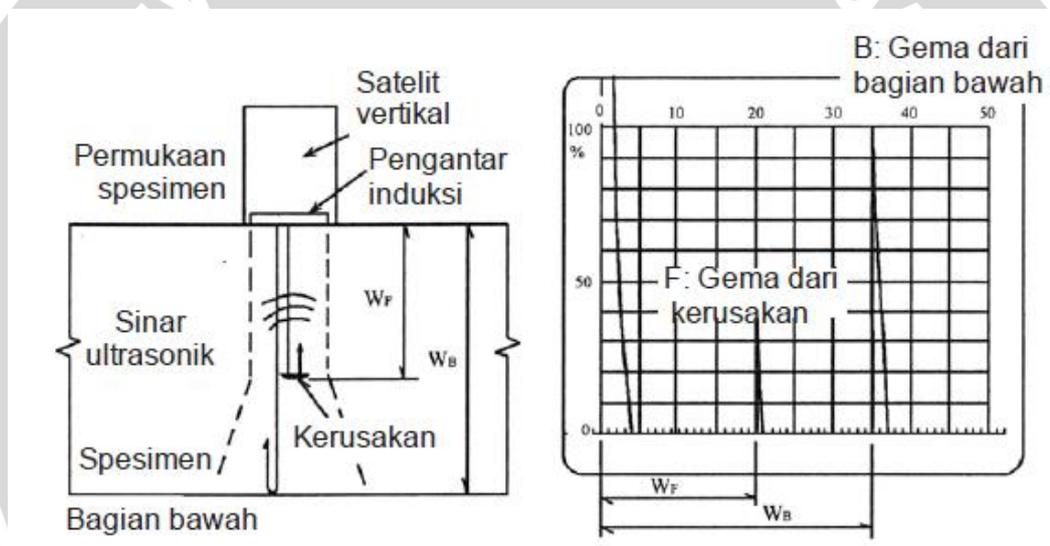
Material	Tebal Material	
	Ir - 192	CO - 60
Baja Karbon	7.5 mm	15 mm
Nikel/Cooper	6.5 mm	13 mm
Alumunium	25 mm	-

Sumber: Biro Klasifikasi Indonesia (2000)

Menurut Biro Klasifikasi Indonesia (2000) uji ultrasonik merupakan sebuah uji yang memanfaatkan gelombang ultrasonik untuk mendeteksi kerusakan las di bagian dalam. Frekuensi gelombang ultrasonik yang digunakan untuk mendeteksi kerusakan

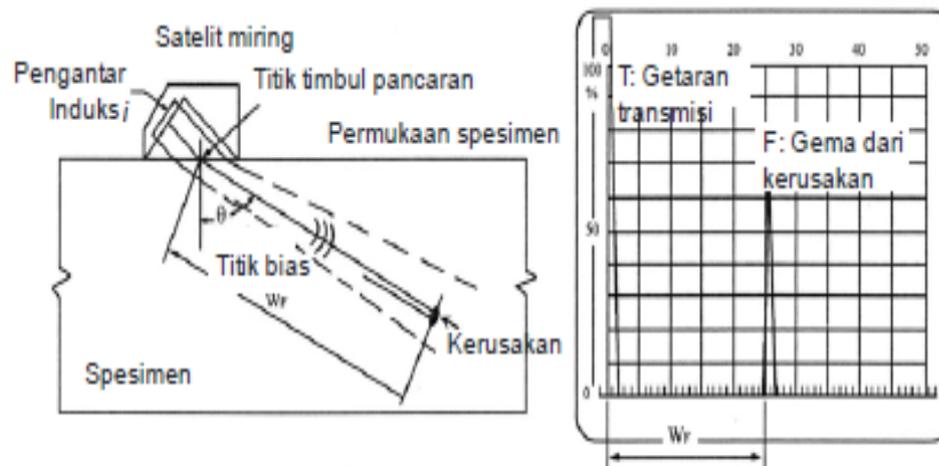
pada logam secara umum adalah antara 0,5 sampai 10 MHz. Namun di lapangan frekuensi yang digunakan adalah 2 sampai 4 MHz. Adapun prosedur kerja dari uji ultrasonik adalah sebagai berikut sebuah satelit diarahkan ke permukaan spesimen, agar gelombang ultrasonik yang dibangkitkan oleh oskilator di dalam satelit itu dapat bergerak di dalam spesimen. Jika terdapat kerusakan atau bagian bawah spesimen berada di muka gelombang ultrasonik, maka gelombang tersebut akan dipantulkan, dipancarkan kembali ke satelit dan diterima oleh satelit. Jarak dan intensitas gelombang yang dipancarkan itu dapat diukur untuk menentukan lokasi dan ukuran kerusakan.

Metode uji ultrasonik dapat diklasifikasi menjadi dua yaitu, metode sinar normal dan metode sinar sudut. Pada metode sinar normal, gelombang ultrasonik disebarkan dengan arah vertikal ke permukaan spesimen yang akan dikenai pancaran gelombang satelit, seperti pada gambar 4.13.



Gambar 4.13 Metode Sinar Normal
Sumber: Biro Klasifikasi Indonesia (2000)

Untuk metode sinar sudut, gelombang ultrasonik disebarkan pada suatu sudut permukaan spesimen yang telah dikenai pancaran gelombang, seperti pada gambar 4.14. Apabila gelombang yang telah dibangkitkan oleh oskilator menimpa bagian las yang mengalami kerusakan maka gelombang tersebut akan dipantulkan kembali.



Gambar 4.14 Metode Sinar Sudut
 Sumber: Biro Klasifikasi Indonesia (2000)

Dalam penggunaan UT terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan, salah satu yang terpenting adalah mengenai ketebalan pelat. Menurut Biro Klasifikasi Indonesia (2000), berikut ini adalah standar penggunaan diameter reflektor berdasarkan pada frekuensi gelombang dengan tebal pelat yang hendak diinspekti.

Tabel 4.3 Standar Diameter of Disc-Shaped Reflector

Wall Thickness (Weld Thickness)	Diameter of Disc-Shaped Reflector	
	4 MHz	2 MHz
From 10 up to 15 mm	1.0 mm	1.5 mm
Over 15 up to 20 mm	1.5 mm	2.0 mm
Over 20 up to 40 mm	2.0 mm	3.0 mm
Over 40 up to 60 mm	3.0 mm	4.0 mm

Sumber: Biro Klasifikasi Indonesia (2000)

4.4 WELDING PROCEDURE SPESIFICATION (WPS)

Menurut WPS America (2005) WPS adalah sebuah 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 *welding procedure* merupakan langkah-langkah pelaksanaan pengelasan untuk mendapatkan mutu pengelasan yang memenuhi syarat. Di dalam WPS harus ditampilkan beberapa variabel yang yang mempengaruhi kualitas hasil pengelasan. Pada gambar 4.15 dan 4.16 merupakan contoh WPS untuk *butt joint* dan *T-joint*.



MAKICO ENGINEERING LTD

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)

Location: MAKICO Workshop, Nisou Industrial Area Nicosia CYPRUS Examiner or examining body: EUROCERT S.A.

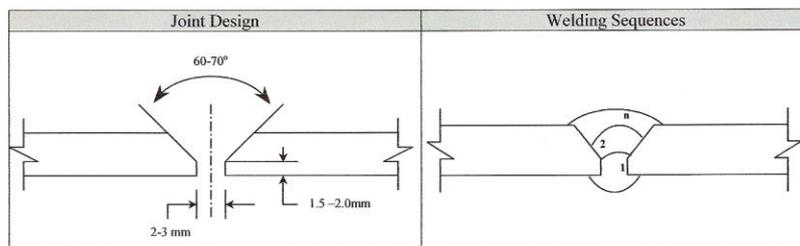
pWPS No: MAK WPS 002a Method of Preparation and Cleaning: GRINDING & BRUSHING
 WPQR No: 10.01.387.01 Parent Material Specification: S355J2G3 (GROUP 1 & LOWER SPECIFIED YIELD STRENGTH STEELS)

Manufacturer: MAKICO ENGINEERING LTD
 Welder's Name: ALEXANDER AKRITOV

Mode Of Metal transfer: Material Thickness (mm): 15 (3 up to 30)

Joint Type & Weld: 136 Tubular cored metal arc welding SINGLE SIDE BUTT WELD

Weld Preparation Details: SKETCH Outside Diameter (mm): -
 Welding Position: PA



Welding Details

Run	Process	Size of Filler Metal	Current A	Voltage V	Type of current / Polarity	Wire Feed Speed	Travel Speed (If required)	Heat Input
1	136	Φ 1.2 mm	170-190	23-26	DC (+)	6-8		
2	136	Φ 1.2 mm	180-280	25-30	DC (+)	6-12		
n	136	Φ 1.2 mm	180-280	25-30	DC (+)	6-12		

Filler Material Designation & Make: EN 758:T 46 2 P M 1, ESAB OK Turbrod 15.13

Any Special Baking or Drying: -
 Gas / Flux: - Shielding: CO₂ (100% pure)
 Backing:
 Gas Flow Rate - Shielding: 8-15 lpm
 Backing:
 Tungsten electrode Type / Size:
 Details of Back Gouging / Backing:
 Preheat Temperature: WORKSHOP AMBIENT TEMP
 Interpass Temperature: 150 °C
 Post Heating: -
 Post Weld Heat Treatment: -
 Time, Temperature, Method: -
 Heating and Cooling Rates: -

Other Information (If Required):
 Weaving (Maximum Width of Run):
 Oscillation:
 Pulse welding details:
 Distance contact tube / workpiece:
 Plasma welding details:
 Torch angle:

Examiner or Test Body: EUROCERT/ANDROULAKIS
 Name, Date & Signature: 30/08/2005

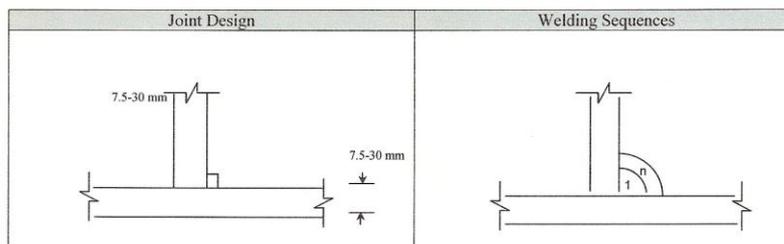


Gambar 4.15 WPS *Butt Joint*
 Sumber: Makico (2005)

MAKICO ENGINEERING LTD

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)

Location:	MAKICO Workshop, Nisou Industrial Area Nicosia CYPRUS	Examiner or examining body:	EUROCERT S.A.
pWPS No:	MAK WPS 001a	Method of Preparation and Cleaning:	GRINDING & BRUSHING
WPQR No:	10.01.387.02	Parent Material Specification:	S355J2G3 (GROUP 1 & LOWER SPECIFIED YIELD STRENGTH STEELS)
Manufacturer:	MAKICO ENGINEERING LTD		
Welder's Name:	CHROSTOFI HARALAMBOS		
Mode Of Metal transfer:	136 Tubular cored metal arc welding	Material Thickness (mm):	7.5 up to 30
Joint Type & Weld	FILET WELD	Outside Diameter (mm):	-
Weld Preparation Details:	SKETCH	Welding Position:	PB



Welding Details

Run	Process	Size of Filler Metal	Current A	Voltage V	Type of current / Polarity	Wire Feed Speed	Travel Speed (If required)	Heat Input
1	136	Φ 1.2 mm	180-280	23-26	DC (+)	6-8		
n	136	Φ 1.2 mm	180-280	25-30	DC (+)	8-12		

Filler Material Designation & Make: EN 758:T 46 2 P M 1, ESAB OK Turbrod 15.13

Any Special Baking or Drying: -
 Gas / Flux - Shielding: CO₂ (100% pure)
 Backing:
 Gas Flow Rate - Shielding: 8-15 lpm
 Backing:
 Tungsten electrode Type / Size:
 Details of Back Gouging / Backing:
 Preheat Temperature: WORKSHOP AMBIENT TEMP
 Interpass Temperature: 150 °C
 Post Heating: -
 Post Weld Heat Treatment: -
 Time, Temperature, Method: -
 Heating and Cooling Rates: -

Other Information (If Required):
 Weaving (Maximum Width of Run):
 Oscillation:
 Pulse welding details:
 Distance contact tube / workpiece:
 Plasma welding details:
 Torch angle:

Examiner or Test Body: EUROCERT ANDROULAKIS
 Name, Date & Signature: 07/09/2005



Gambar 4.16 WPS T-Joint
 Sumber: Makico (2005)

Dari dua contoh WPS di atas menunjukkan bahwa ada beberapa *item* yang umumnya dicantumkan pada WPS. *Item-item* tersebut adalah:

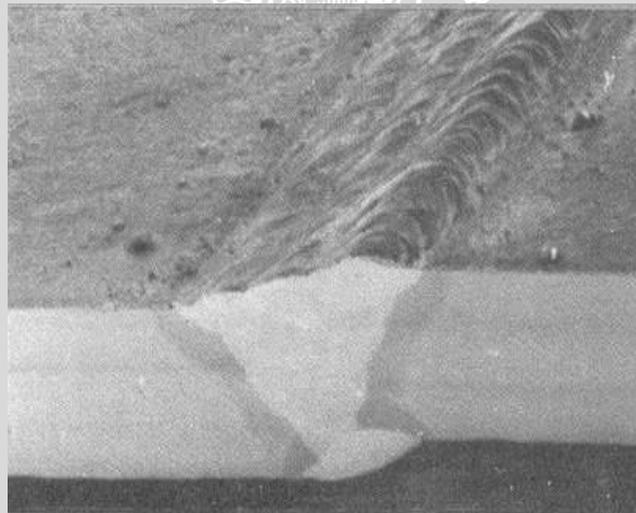
- a. *Procedure number*
- b. *Welder data*
- c. *Process type*
- d. *Thickness range*
- e. *Plate or pipe, diameter range*

- f. *Welding position*
- g. *Joint fit up, preparation, cleaning, and dimension*
- h. *Pre-heat (min temp and method)*
- i. *Welding technique (travel speed, weaving, etc)*
- j. *Welding sequence*

4.5 PERANCANGAN *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS* (FMEA)

FMEA digunakan untuk melihat jenis cacat mana yang akan menjadi prioritas untuk diolah kembali dengan menggunakan metode FTA. Pada FMEA perlu dilakukan analisis efek cacat, penyebab cacat dan proses kontrol diikuti dengan melakukan pembobotan pada nilai *severity*, *occurance*, dan *detection* untuk dapat menghasilkan nilai *Risk Priority Number* (RPN). Berikut ini merupakan analisis pada seluruh cacat yang terjadi dengan menggunakan tabel FMEA.

a. *Misalignment*



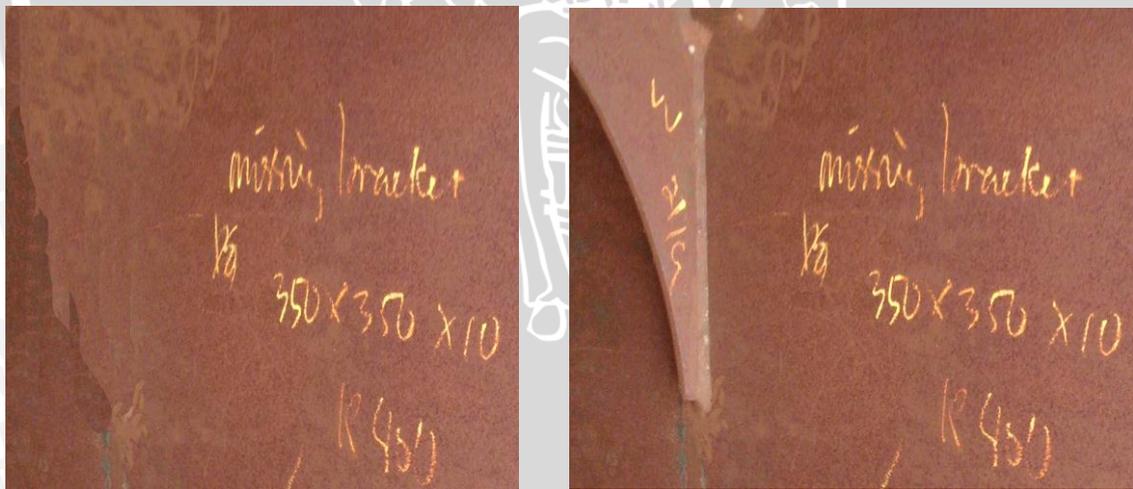
Gambar 4.17 *Misalignment*
Sumber: *Aspec Engineering* (2009)

Gambar 4.17 merupakan salah satu contoh cacat *misalignment*. Pada tabel 4.4 merupakan hasil pengolahan FMEA *misalignment*. *Misalignment* sendiri merupakan jenis cacat geometrik yang pada umumnya disebabkan oleh kesalahan *fit up*, deformasi akibat pengelasan, dan perbedaan tebal pelat. Adapun dampak dari cacat ini adalah berupa kekuatan konstruksi menjadi berkurang dan dapat menimbulkan *displacement stress* yang dapat berpotensi menyebabkan retak. Nilai RPN yang didapat untuk cacat ini adalah sebesar 224.

Tabel 4.4 FMEA Misalignment

Mode of Failure	Effect of Failure	SEV	Cause of Failure	OCC	Current Process Control	DET	RPN
Misalignment	Kekuatan konstruksi menjadi berkurang	7	Kesalahan fit up	8	Diterapkannya <i>self checking</i> bagi <i>fitter</i>	4	224
	Berpotensi menyebabkan retak		Deformasi akibat pengelasan		Pengawasan proses <i>weld tag</i> sebelum pengelasan diperketat dibantu dengan alat bantu		
			Perbedaan tebal pelat		Digunakannya alat bantu untuk mensejajarkan pelat		

b. Missing Bracket



(a)

(b)

Gambar 4.18 Perbandingan Kondisi Missing Bracket

(a) Gambar Missing Bracket Sebelum Perbaikan

(b) Gambar Missing bracket Setelah Perbaikan

Sumber: PT. PAL INDONESIA

Gambar 4.18 merupakan salah satu contoh cacat *missing bracket* sebelum dilakukannya perbaikan dan setelah dilakukannya perbaikan pada cacat *missing bracket*. Sedangkan pada tabel 4.5 merupakan hasil pengolahan FMEA dari *missing*



bracket. Dimana *missing bracket* merupakan salah satu jenis cacat yang terjadi sebanyak 18 kali pada proses pembuatan KM. Pagerungan. Cacat ini disebabkan oleh kesalahan yang dilakukan oleh *fitter* dan karena *contolling* dari *group leader* yang belum optimal. Adapun dampak dari cacat ini adalah dapat menyebabkan terjadinya *stress* berlebih pada sambungan yang dapat menyebabkan terjadinya keretakan, menurunnya kekuatan konstruksi, dan akibat terburuk dari cacat ini adalah terjadinya kegagalan pada konstruksi kapal.

Tabel 4.5 FMEA *Missing Bracket*

<i>Mode of Failure</i>	<i>Effect of Failure</i>	SEV	<i>Cause of Failure</i>	OCC	<i>Current Process Control</i>	DET	RPN
<i>Missing bracket</i>	Terjadi <i>stress</i> berlebih pada sambungan yang dapat menyebabkan terjadinya keretakan	8	Kesalahan <i>fitter</i>	6	Diterapkannya <i>self checking</i> bagi <i>fitter</i>	8	384
	Menurunnya kekuatan konstruksi		<i>Controlling</i> dari <i>group leader</i> belum optimal		Pengawasan dari kepala bengkel diperketat		
	Akibat terburuk adalah terjadinya kegagalan pada konstruksi kapal						

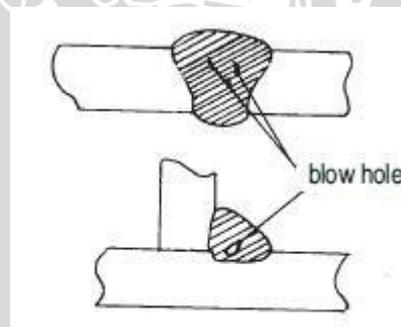
c. *Missed Weld*

Gambar 4.19 *Missed Weld*
Sumber: Qualimet (2013)

Pada gambar 4.19 merupakan salah satu contoh cacat *missed weld*. Untuk tabel 4.6 menunjukkan hasil pengolahan FMEA dari *missed weld*. *Missed weld* disebabkan karena kesalahan *welder* dan *controlling* dari *group leader* belum optimal. *Missed weld* sendiri merupakan cacat dengan jumlah terbesar ketiga dengan jumlah kejadian sebanyak 13 kali. Adapun dampak dari cacat ini adalah dapat menyebabkan terjadinya *stress* berlebih pada sambungan yang dapat menyebabkan terjadinya keretakan, menurunnya kekuatan konstruksi, dan akibat terburuk adalah dapat menyebabkan terjadinya kegagalan pada konstruksi. Adapun jumlah nilai RPN yang didapat adalah sebesar 240.

Tabel 4.6 FMEA *Missed Weld*

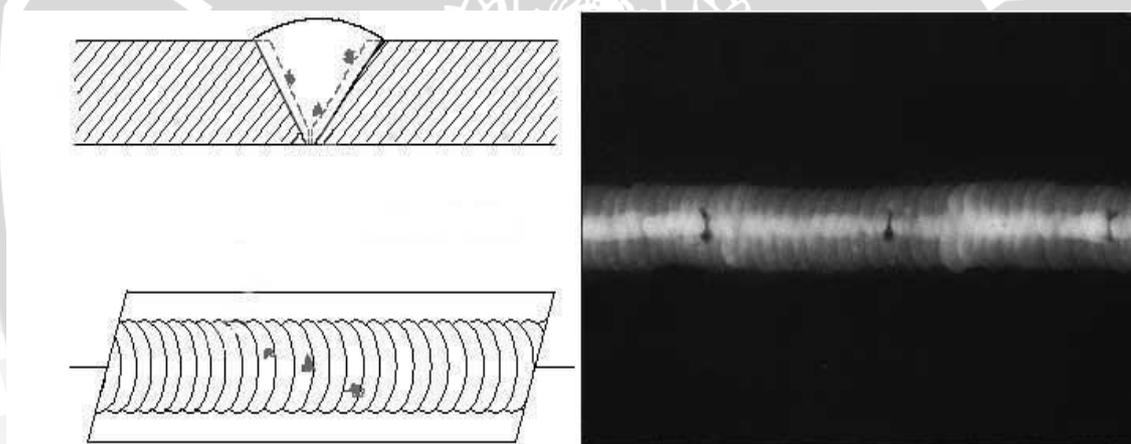
<i>Mode of Failure</i>	<i>Effect of Failure</i>	SEV	<i>Cause of Failure</i>	OCC	<i>Current Process Control</i>	DET	RPN
<i>Missed Weld</i>	Terjadi <i>stress</i> berlebih pada sambungan yang dapat menyebabkan terjadinya keretakan	8	Kesalahan <i>welder</i>	6	Diterapkannya <i>self checking</i> bagi <i>welder</i>	5	240
	Menurunnya kekuatan konstruksi		<i>Controlling</i> dari <i>group leader</i> belum optimal		Pengawasan dari kepala bengkel diperketat		
	Akibat terburuk adalah terjadinya kegagalan pada konstruksi kapal						

d. *Blow Hole*Gambar 4.20 *Blow Hole*
Sumber: ISF (2005)

Pada gambar 4.20 menunjukkan contoh dari *blow hole*. Adapun pada tabel 4.7 menunjukkan hasil pengolahan FMEA dari *blow hole* dimana *blow hole* disebabkan oleh permukaan pelat yang kotor, pemilihan *welding spot* yang tidak tepat, dan permukaan pelat yang kotor. Adapun dampak dari cacat ini adalah dapat menjadi pemicu terjadinya retak, dapat menjadi penyebab terjadinya korosi, dan dapat melemahkan sambungan pelat. Adapun nilai RPN yang didapat adalah sebesar 80.

Tabel 4.7 FMEA *Blow Hole*

Mode of Failure	Effect of Failure	SEV	Cause of Failure	OCC	Current Process Control	DET	RPN
<i>Blow Hole</i>	Dapat menjadi pemicu terjadinya retak	5	<i>Travel speed</i> terlalu cepat	4	Mengurangi <i>travel speed</i> dalam proses pengelasan	4	80
	Dapat menjadi penyebab terjadinya korosi		Arus pengelasan terlalu tinggi		Mengatur arus pengelasan		
	Melemahkan sambungan pelat						

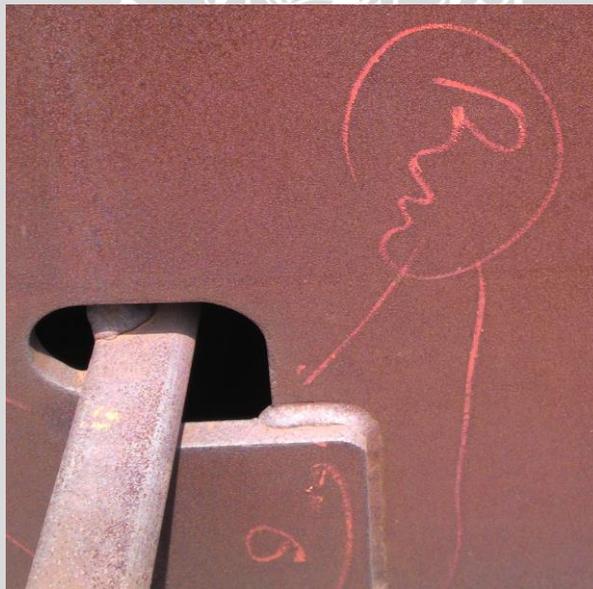
e. *Slag Inclusion*

Gambar 4.21 *Slag Inclusion*
 Sumber: *Aspec Engineering* (2009)

Gambar 4.21 merupakan contoh cacat *slag inclusion*. Tabel 4.8 merupakan hasil pengolahan FMEA dari *slag inclusion*. *Slag inclusion* terjadi karena arus yang digunakan terlalu kecil, *travel speed* pada saat pengelasan terlalu lambat, dan pembersihan bekas gerinda yang tidak sempurna. Adapun dampak dari cacat ini adalah berkurangnya kekuatan konstruksi dan dapat menjadi pemicu terjadinya retak. Untuk nilai RPN pada cacat *slag inclusion* adalah 140 Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.8 FMEA slag inclusion

Mode of Failure	Effect of Failure	SEV	Cause of Failure	OCC	Current Process Control	DET	RPN
slag inclusion	Berkurangnya kekuatan konstruksi Dapat menjadi pemicu terjadinya retak	7	Arus yang digunakan terlalu kecil	4	Menggunakan arus pengelesan yang lebih tinggi	5	140
			<i>Travel speed</i> pada saat pengelasan terlalu lambat		Meningkatkan <i>travel speed</i> pada proses pengelasan		
			Pembersihan bekas gerinda yang tidak sempurna		Dilakukannya pembersihan setiap selasai menggerinda		

f. *Return Weld*

Gambar 4.22 *Return Weld*
Sumber: PT. PAL INDONESIA

Pada gambar 4.22 menunjukkan contoh cacat *return weld* yang terjadi di PT. PAL INDONESIA. Sedangkan pada tabel 4.9 merupakan hasil pengolahan FMEA dari *return weld*. *Return weld* merupakan cacat pengelasan yang terjadi pada saat proses pengelasan memutar yang membutuhkan *skill welder* yang tinggi. Adapun penyebab dari cacat ini adalah *skill welder* yang rendah dan tingkat kesulitan yang tinggi. Dampak dari cacat ini adalah memicu terjadinya retak. Pada cacat ini didapatkan nilai RPN adalah sebesar 150. Yang perlu diketahui pada *return weld* adalah posisi

pengelasan yang digunakan adalah *overhead*. *Overhead* merupakan posisi pengelasan yang berada di atas kepala. Gambar 4.23 akan memberikan gambaran mengenai posisi pengelasan *overhead*.



Gambar 4.23 *Overhead Welding*
Sumber: *Qualimet* (2013)

Pengelasan dengan posisi ini membutuhkan *welder* dengan sertifikasi 4G sebagai standar minimumnya. Disamping memiliki sertifikasi 4G, *welder* juga harus terampil karena pengelasan dilakukan dengan cara memutar sambungan antar pelat. Mengingat proses pengelasan ini cukup sulit, maka proses pengisian WPS harus dilakukan secara baik, dan benar. Hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya kesalahan dalam proses pengelasan.

Tabel 4.9 FMEA *Return Weld*

<i>Mode of Failure</i>	<i>Effect of Failure</i>	SEV	<i>Cause of Failure</i>	OCC	<i>Current Process Control</i>	DET	RPN
<i>Return Weld</i>	Dapat menjadi pemicu terjadinya retak	5	<i>Skill</i> dari <i>welder</i> rendah	6	Kontrol terhadap seleksi penerimaan <i>welder</i> diperketat	5	150
			Tingkat kesulitan tinggi		Pengawasan dari <i>group leader</i> diperketat		

g. Spatter



Gambar 4.24 Spatter
Sumber: *Aspec Engineering* (2009)

Gambar 4.24 merupakan contoh cacat *spatter*. Tabel 4.10 merupakan hasil pengolahan FMEA dari *spatter*. Definisi dari *spatter* adalah partikel kecil yang dikeluarkan dari proses pengelasan yang menempel pada permukaan pelat. Penyebab dari cacat ini adalah lingkungan yang lembab atau basah dan elektroda yang lembab. Adapun dampak dari cacat ini adalah hasil pengelasan menjadi tidak rapi dan dapat menjadi penyebab awal dari karat permukaan. Untuk nilai RPN yang didapat pada cacat ini adalah 72.

Tabel 4.10 FMEA Spatter

Mode of Failure	Effect of Failure	SEV	Cause of Failure	OCC	Current Process Control	DET	RPN
<i>Spatter</i>	Hasil pengelasan menjadi tidak rapi	3	Lingkungan yang lembab atau basah	6	Proses pengelasan dilakukan di lingkungan yang kering	4	72
	Dapat penyebab awal dari karat permukaan		Elektroda lembab		Proses penyimpanan elektroda disediakan tempat khusus yang kering		
			Arus pengelasan terlalu tinggi atau rendah		Melakukan kalibrasi ulang untuk mendapatkan arus yang tepat		

h. *Sharp Edge*



Gambar 4.25 *Sharp Edge*
 Sumber: PT. PAL INDONESIA

Pada gambar 4.25 menunjukkan cacat *sharp edge* dimana cacat ini pada umumnya terjadi pada tepi pelat. Pada tabel 4.11 merupakan hasil pengolahan FMEA dari *sharp edge*. *Sharp edge* merupakan salah satu jenis cacat yang terjadi dengan jumlah kejadian sebanyak 9 kali selama proses pembuatan KM. Pagerungan. Penyebab dari cacat ini adalah *skill operator* rendah dan fasilitas dari bengkel yang tidak mumpuni. Sedangkan dampak dari cacat ini adalah *coating protection* menjadi tidak sempurna dan dapat menjadi sumber korosi.

Tabel 4.11 FMEA *Sharp Edge*

Mode of Failure	Effect of Failure	SEV	Cause of Failure	OCC	Current Process Control	DET	RPN
<i>Sharp Edge</i>	Coating protection tidak sempurna	6	<i>Skill operator</i> rendah	7	Dilakukan pelatihan terhadap operator	2	84
	Dapat menjadi sumber korosi		Fasilitas dari bengkel tidak mumpuni		Dilakukan peningkatan fasilitas bengkel		



i. Porosity



Gambar 4.26 Porosity
 Sumber: *Aspec Engineering* (2009)

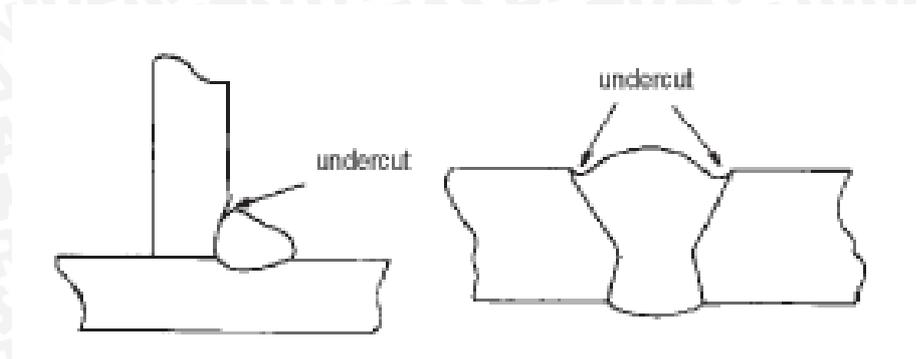
Gambar 4.26 menunjukkan contoh gambar cacat *porosity*. *Tabel 4.12* merupakan hasil pengolahan FMEA dari *porosity*. *Porosity* merupakan sekumpulan pori-pori yang disebabkan oleh gas dan material *non-metallic* yang terperangkap pada *metal* yang meleleh. Cacat ini disebabkan oleh lingkungan yang lembab, elektroda yang lembab, dan arus pengelasan yang terlalu tinggi. Adapun dampak dari cacat ini adalah menyebabkan hasil pengelasan tampak buruk, dapat menjadi penyebab awal dari karat permukaan, dan melemahkan sambungan. Nilai RPN untuk jenis cacat ini adalah 105.

Tabel 4.12 FMEA *Porosity*

<i>Mode of Failure</i>	<i>Effect of Failure</i>	SEV	<i>Cause of Failure</i>	OCC	<i>Current Process Control</i>	DET	RPN
<i>Porosity</i>	Hasil pengelasan akan tampak buruk	7	Lingkungan yang lembab atau basah	5	Proses pengelasan dilakukan di lingkungan yang kering	3	105
	Dapat menjadi penyebab awal dari karat permukaan		Elektroda lembab		Proses penyimpanan elektroda disediakan tempat khusus yang kering		
	Melemahkan sambungan		Arus pengelasan terlalu tinggi		Arus pengelesan diturunkan		



j. *Undercut*



Gambar 4.27 *Undercut*
 Sumber: *Aspec Engineering* (2009)

Pada gambar 4.27 menunjukkan contoh gambar dari cacat *undercut*. Untuk tabel 4.13 merupakan hasil pengolahan FMEA dari *undercut*. *Undercut* merupakan bagian yang tidak terisi pada proses pengelasan. Bagian ini pada umumnya terletak pada bagian pinggir daerah pengelasan. Penyebab dari cacat ini adalah *travel speed* pada saat pengelasan terlalu cepat dan arus pengelasan yang terlalu tinggi. Adapun dampak dari cacat ini adalah melemahkan sambungan, dapat menjadi penyebab awal terjadinya karat permukaan, dan menimbulkan *displacement stress* yang berpotensi menyebabkan retak. Nilai RPN yang didapat untuk cacat *undercut* adalah sebesar 126.

Tabel 4.13 FMEA *Undercut*

<i>Mode of Failure</i>	<i>Effect of Failure</i>	SEV	<i>Cause of Failure</i>	OCC	<i>Current Process Control</i>	DET	RPN
<i>Undercut</i>	Melemahkan sambungan	7	<i>Travel speed</i> pada saat pengelasan terlalu cepat	6	Mengurangi <i>travel speed</i> pada proses pengelasan	3	126
	Menjadi penyebab awal dari karat permukaan		Arus pengelasan terlalu tinggi		Menurunkan arus pengelasan		
	Berpotensi menyebabkan retak						

k. *Design Error*

Tabel 4.14 merupakan hasil pengolahan FMEA dari *Design error*. *Design error* merupakan cacat yang terjadi karena adanya perbedaan desain pada gambar dengan hasil pengerjaan yang telah dilakukan. Penyebab terjadinya cacat ini adalah *update* gambar yang telah disetujui terlambat untuk didistribusikan sedangkan proses produksi terus berlanjut. Adapun dampak dari cacat ini adalah terjadinya perbedaan antara desain kapal dengan hasil pengerjaan dan dapat menjadi penyebab utama terjadinya kegagalan sebuah produk. Nilai RPN yang didapat adalah 180.

Tabel 4.14 FMEA *Design Error*

<i>Mode of Failure</i>	<i>Effect of Failure</i>	SEV	<i>Cause of Failure</i>	OCC	<i>Current Process Control</i>	DET	RPN
<i>Design Error</i>	Terjadi perbedaan antara desain kapal dengan hasil pengerjaan Dapat menjadi penyebab utama gagalnya sebuah produk	9	<i>Update</i> gambar yang telah disetujui terlambat untuk didistribusikan sedangkan proses produksi berjalan terus	5	Peningkatan frekuensi pendistribusian gambar	4	180

l. *Overlap*



Gambar 4.28 *Overlap*
Sumber: *Aspec Engineering* (2009)

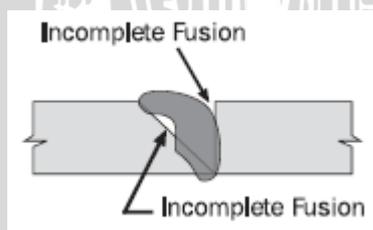
Gambar 4.28 menunjukkan gambar cacat *overlap*. Tabel 4.15 merupakan hasil pengolahan FMEA dari *overlap*. *Overlap* merupakan jenis cacat yang terjadi apabila hasil dari pengelasan melebihi batas area pengelasan yang telah ditentukan. Cacat ini

hanya terjadi sebanyak dua kali selama proses *assembly* KM. Pagerungan. Adapun penyebab terjadinya cacat ini adalah arus pengelasan terlalu rendah dan *travel speed* yang terlalu rendah. Adapun dampak dari *overlap* adalah melemahkan sambungan, menjadi penyebab awal dari karat, menyebabkan terjadinya retak dan *coating protection* yang tidak sempurna. Nilai RPN yang didapat adalah 100.

Tabel 4.15 FMEA *Overlap*

<i>Mode of Failure</i>	<i>Effect of Failure</i>	SEV	<i>Cause of Failure</i>	OCC	<i>Current Process Control</i>	DET	RPN
<i>Overlap</i>	Melemahkan sambungan	5	Arus pengelasan terlalu rendah	4	Meningkatkan arus pengelasan	5	100
	Menjadi penyebab awal dari karat permukaan		<i>Travel speed</i> yang terlalu rendah		Meningkatkan <i>travel speed</i> Pengelasan		
	Berpotensi menyebabkan retak						
	<i>Coating protection</i> menjadi tidak sempurna						

m. *Incomplete Fusion*



Gambar 4.29 *Incomplete fusion*
Sumber: *Aspec Engineering* (2009)

Pada gambar 4.29 menunjukkan contoh jenis cacat *incomplete fusion*. Untuk Tabel 4.16 merupakan hasil pengolahan FMEA dari *Incomplete fusion*. *Incomplete fusion* terjadi apabila logam las tidak membentuk ikatan kohesif dengan logam dasar. Penyebab dari cacat ini adalah arus pengelasan yang terlalu rendah, *gap* pada busur terlalu pendek, dan *tavel speed* terlalu cepat. Adapun dampak dari cacat ini adalah

melemahkan kekuatan las dan dapat menjadi penyebab awal dari keretakan. Nilai RPN untuk jenis cacat ini adalah 192.

Tabel 4.16 FMEA *Incomplete Fusion*

<i>Mode of Failure</i>	<i>Effect of Failure</i>	SEV	<i>Cause of Failure</i>	OCC	<i>Current Process Control</i>	DET	RPN
<i>Incomplete Fusion</i>	Melemahkan kekuatan las	8	Arus pengelasan terlalu rendah	3	Meningkatkan arus pengelasan	8	192
	Dapat menjadi penyebab awal terjadinya retak		Penggunaan elektroda yang tidak tepat		Memilih elektroda dengan penetrasi yang lebih baik		
			<i>Travel speed</i> terlalu lambat		Meningkatkan <i>travel speed</i> pada proses pengelasan		

4.6 PENGURUTAN JENIS CACAT PADA HC DI KM. PAGERUNGAN

Berlandaskan hasil rekapitulasi nilai RPN pada jenis cacat, dilakukan pengolahan data dengan tujuan mengetahui prioritas analisis penyebab cacat dengan FTA. Pada tabel 4.17 menunjukkan komposisi jenis cacat yang terjadi berdasarkan urutan nilai RPN dari terbesar sampai terkecil.

Tabel 4.17 Rekapitulasi Nilai RPN Pada Jenis Cacat

Jenis Cacat	RPN
<i>Missing bracket</i>	384
<i>Missed weld</i>	240
<i>Misalignment</i>	224
<i>Incomplete fusion</i>	192
<i>Design error</i>	180
<i>Return weld</i>	150
<i>Slag inclusion</i>	140
<i>Undercut</i>	126
<i>Porosity</i>	105
<i>Overlap</i>	100
<i>Sharp edge</i>	84

Tabel 4.17 Rekapitulasi Nilai RPN Pada Jenis Cacat (Lanjutan)

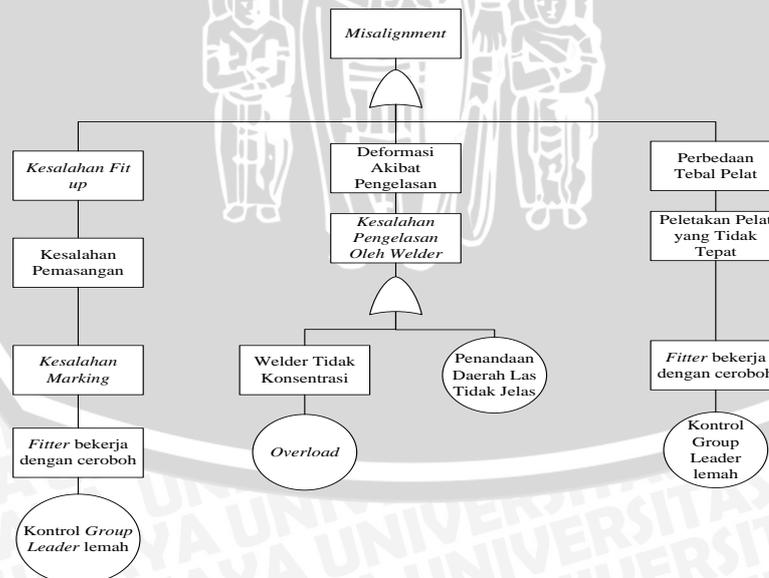
Jenis Cacat	RPN
<i>Blow hole</i>	80
<i>Spatter</i>	72
Total	2063

Sesuai dengan permintaan dari PT. PAL INDONESIA pengolahan data dengan metode FTA difokuskan pada *missing bracket*, *missed weld*, dan *misalignment* yang merupakan tiga jenis cacat dengan nilai RPN terbesar yaitu 384, 240, dan 224. Disamping memiliki nilai RPN tertinggi ketiga jenis cacat ini merupakan jenis cacat yang menjadi fokus pembenahan dari departemen QA dan Standarisasi. Pertimbangan lain yang menjadi dasar untuk memilih ketiga jenis cacat ini adalah tingginya nilai dari *Severity* dan *Occurence* untuk ketiga jenis cacat ini, dimana *missing bracket* memiliki nilai *severity* 8 dan *occurence* 6, kemudian *missed weld* memiliki nilai *severity* 8 dan *occurence* 6, dan *misalignment* dengan nilai *severity* 7 dan *occurence* 8.

4.7 PERANCANGAN FAULT TREE ANALYSIS (FTA)

Proses analisis penyebab cacat pada HC di KM. Pangerungan difokuskan kepada tiga jenis cacat yaitu, *misalignment*, *missing bracket*, dan *missed weld*. Berikut ini adalah rancangan FTA untuk ketiga jenis cacat tersebut.

a. FTA *Misalignment*

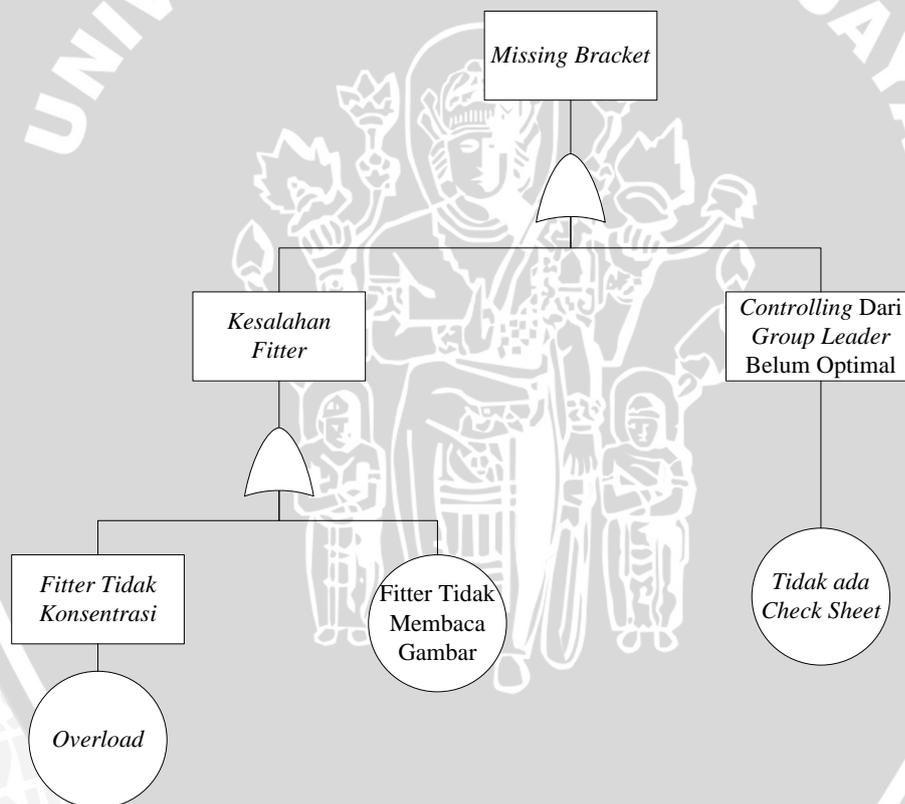


Gambar 4. 30 FTA *Misalignment*

Berdasarkan gambar 4.30 potensi penyebab kegagalan *misalignment* pada bagian HC di KM. Pangerungan disebabkan oleh tiga faktor yaitu, kesalahan *fit up* atau deformasi akibat pengelasan atau perbedaan tebal pelat. Faktor kesalahan *fit up* dapat

terjadi apabila terjadi kesalahan pemasangan yang disebabkan oleh kesalahan *marking* pada pelat yang hendak dilas. Kesalahan *marking* dapat terjadi karena *fitter* bekerja dengan ceroboh, dimana penyebab hal tersebut adalah kontrol dari *group leader* yang lemah. Sedangkan untuk faktor deformasi akibat pengelasan dapat terjadi karena adanya kesalahan pengelasan oleh *welder*, yang mana faktor ini dipengaruhi oleh dua penyebab. Penyebab pertama disebabkan karena *welder* tidak konsentrasi. Adapun penyebab hal tersebut karena terjadinya beban kerja berlebih (*overload*) pada *welder* tersebut. Untuk penyebab kedua disebabkan oleh penandaan daerah las yang tidak jelas. Untuk faktor perbedaan tebal pelat dapat menyebabkan *misalignment* apabila peletakan pelat tidak tepat. Hal ini disebabkan karena *fitter* bekerja secara ceroboh, dimana penyebab hal tersebut adalah kontrol dari *group leader* yang lemah.

b. FTA Missing Bracket



Gambar 4.31 FTA Missing Bracket

Berdasarkan gambar 4.31 dapat diketahui bahwa potensi penyebab kegagalan *missing bracket* adalah kesalahan *fitter* atau *controlling* dari *group leader* yang belum optimal. Penyebab *controlling group leader* yang belum optimal adalah tidak adanya *check sheet* yang dapat membantu proses pengawasan dan penyebab terjadinya kesalahan *fitter* dipengaruhi oleh dua penyebab. Dimana untuk penyebab pertama disebabkan oleh *fitter* tidak konsentrasi yang disebabkan karena beban kerja berlebih

(*overload*). Untuk penyebab kedua disebabkan karena *fitter* tidak membaca gambar atau desain dari kapal KM. Pagerungan secara menyeluruh.

c. FTA *Missed Weld*



Gambar 4. 32 FTA *Missed Weld*

Dari hasil FTA pada gambar 4.32 dapat diketahui bahwa penyebab kegagalan *missed weld* dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu kesalahan *welder* atau *controlling* dari group leader yang belum optimal. Penyebab *controlling group leader* yang belum optimal adalah tidak adanya *check sheet* yang dapat membantu proses pengawasan. Pada faktor kesalahan *welder* disebabkan oleh dua penyebab. Untuk penyebab pertama karena *welder* tidak konsentrasi yang disebabkan karena beban kerja berlebih (*overload*). Untuk penyebab kedua disebabkan karena *welder* tidak membaca gambar atau desain sebelum melakukan pengelasan pada bagian HC di KM. Pagerungan.

4.8 SARAN PERBAIKAN

Setelah melakukan pengolahan data dengan menggunakan metode FTA maka didapatkan tiga jenis cacat yang membutuhkan prioritas penanganan tertinggi. Dimulai dengan *missing bracket*, *missed weld*, dan *misalignment*. Oleh karena itu pada tahap ini dilakukan sebuah perancangan saran perbaikan yang bertujuan untuk dapat meminimalisir terjadinya cacat di masa depan.

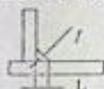
Saran tindakan perbaikan dapat dibagi menjadi dua cara. Pertama, pengurangan terjadinya suatu masalah. Kedua, pengurangan dampak negatif yang ditimbulkan oleh masalah tersebut. Agar dapat menghasilkan saran perbaikan yang bersifat efektif dan efisien serta dapat diterima oleh perusahaan, maka dilakukan sebuah evaluasi berdasarkan hasil analisis yang telah didapat. Berikut ini adalah saran perbaikan yang perlu dilakukan, yaitu:

1. Perbaikan *check sheet*

Tiga jenis cacat yang memiliki nilai RPN tertinggi adalah *missing bracket*, *missed weld*, dan *misalignment*. Apabila dilakukan evaluasi lebih mendalam berdasarkan FTA ketiga jenis cacat ini memiliki penyebab yang hampir sama yaitu berkisar pada kesalahan manusia serta kontrol yang belum optimal. Kedua hal ini menunjukkan bahwa secara tidak langsung ada keterkaitan pada ketiga jenis cacat ini. Selama ini proses kontrol terhadap cacat yang dilakukan oleh PT. PAL INDONESIA adalah berupa *check sheet* yang berfokus pada jenis cacat pada *welding*/pengelasan dan pada proses *fit up*. Pada gambar 4.33 dan 4.34 merupakan contoh *welding check sheet* dan *fit up check sheet* yang selama ini diterapkan di PT. PAL INDONESIA. Kedua *check sheet* ini memiliki *grade* tingkat keparahan yang berbeda untuk cacat pengelasan memiliki skala A sampai dengan D, dimana *grade* A memiliki tingkat keparahan tertinggi dan terus menurun sampai dengan *grade* terendah yaitu D dan terdapat pula keterangan jenis cacat dan jumlah cacat yang terjadi. Sedangkan untuk *fit up* memiliki *grade* tingkat keparahan dari A sampai dengan B, dimana *grade* A merupakan tingkat keparahan tertinggi dan terus menurun sampai dengan *grade* terendah yaitu B dan terdapat pula keterangan jenis cacat dan jumlah cacat yang terjadi. Model *check sheet* seperti ini memiliki beberapa kekurangan antara lain:

- a. Informasi yang ditampilkan hanya terbatas pada jenis cacat dan jumlah cacat yang terjadi.
- b. *Check sheet* ini hanya dapat digunakan oleh inspektor dari departemen QA dan Standarisasi.

c. *Check sheet* ini tidak dapat digunakan sebagai tindakan preventif agar dapat meminimalisir terjadinya cacat.

GRADE	PEMERIKSA				QC JUMLAH CACAT	QA JUMLAH CACAT		
	PEMERIKSAAN							
A	Retak / Crack				-	-		
	Kesalahan Pakai Elektroda / Misuse Of Electrode				-	-		
B	Belum Dilas / Welding Omitted				-	-		
	Panjang Kaid Las / Leg Length				-	-		
C	 Standard: $L \geq 0.9 Dwg$ $l \geq 0.9 Dwg$				-	-		
	Lain-lain				-	-		
D	Las memutar / Return weld (R W)				-	-		
	Bentuk hasil las / Bead appearance				-	-		
	a. Low bead  Standard: ≥ 1				-	-		
E	b. Reinforcement  Standard: $\theta \leq 60^\circ$ $h \leq 0.2 R$				-	-		
	c. Short bead				-	-		
			CAST ST	MILD ST	-	-		
F	SB ≥ 50				-	-		
	SB ≥ 50				-	-		
G	Cacat Bekas Stopper (Defect ex stopper)				-	-		
	Percikan Las (Arc strike)				-	-		
H	Lain-Lain (Others)				-	-		
	TOTAL GRADE				A	B	C	D
I	TOTAL GRADE QC				-	-	-	-
	TOTAL GRADE QA				-	-	-	-

QC COMMENT : *All comment have been done.*

Gambar 4.33 *Welding Check Sheet*
 Sumber: PT. PAL INDONESIA

GRADE	PEMERIKSA				QC JUMLAH CACAT	QA JUMLAH CACAT
	YANG DIPERIKSA					
A	KESALAHAN PEMASANGAN / Misfitting				-	-
	BELUM TERPASANG / Missing				-	-
B	KETIDAKLURUSAN / Misalignment				-	-
	Bunt 	Main Stinger $a \leq 0.15 t$ $\max = 3 \text{ mm}$	Other $a \leq 0.2 t$	Bunt	-	-
C	Fillet 	$a \leq \sqrt{D}$ $l = \text{terkecil}$	$a \leq \sqrt{2}$	Fillet	-	-
	Colah / Gap				-	-
D	Bunt 	$a \leq 5$ $5 < a \leq 16$ $16 < a \leq 25$	OK BS (Max. $a = 1$) BU (Max. $a = 1$)	Bunt	-	-
	Fillet 	$a \leq 3$ $3 < a \leq 5$ $5 < a \leq 16$ $a > 16$	OK BU REPAIR RENEW	Fillet	-	-
E	Perubahan bentuk / Deformation				-	-
	In shell Deck Tank top Bottom Bulkhead Girder trans.	SISI PARAREL $a \leq 4$ $a \leq 4$ $a \leq 4$ $a \leq 4$ $a \leq 6$ $a \leq 5$	FORE & AFTER $a \leq 7$ $a \leq 6$	In shell Deck Tank top Bottom Bulkhead Girder trans.	-	-

Gambar 4.34 *Fit Up Check Sheet*
 Sumber: PT. PAL INDONESIA

Jika hanya mengandalkan kedua *check sheet* di atas untuk mengontrol terjadinya cacat pada proses pembuatan kapal, dapat dipastikan proses kontrol yang dilakukan tidak akan berjalan dengan baik. Hal ini dapat dibuktikan dengan masih adanya cacat pada hasil inspeksi yang telah dilakukan oleh *class/OS*. Dimana proses inspeksi yang

dilakukan oleh *class/OS* sendiri merupakan tahapan inspeksi terakhir setelah melalui inspeksi oleh bengkel dan departemen QA dan Standarisasi.

Oleh karena itu dirancanglah sebuah solusi yang bertujuan untuk melengkapi proses kontrol yang telah diterapkan oleh PT. PAL INDONESIA. Solusi yang dirancang adalah berupa *check sheet* namun *check sheet* ini berbeda dengan yang sudah ada. Tabel 4.18 menunjukkan sebuah contoh rancangan *check sheet* yang telah dirancang oleh peneliti. Adapun *check sheet* yang telah dirancang hanya terbatas pada *double bottom construction* dan *wing tank construction*. *Check sheet* ini memiliki beberapa kelebihan antara lain:

- a. Dalam rancangan *check sheet* ini dilakukan penjabaran pada setiap tahap penyatuan komponen pada *double bottom structure* dan *wing tank construction*. Hal ini sangat berbeda apabila dibandingkan dengan *check sheet* yang lama. Penjabaran pada setiap tahap penyatuan komponen diharapkan dapat mempermudah proses pengawasan baik dari pihak bengkel ataupun dari QA.
- b. *Check Sheet* ini dapat berperan sebagai tindakan preventif untuk mencegah terjadi cacat. Karena dengan dilakukan penjabaran untuk setiap komponen dapat mempermudah *welder* ataupun *fitter* dalam melakukan *self checking* atau pemeriksaan kembali hasil dari pengelasan yang telah dilakukan. Sehingga jumlah cacat ataupun *missing component* segera dapat diminimalisir.
- c. *Group leader* dapat dengan mudah melakukan pengecekan ulang terhadap hasil pengelasan yang telah dilakukan oleh *welder* ataupun hasil *fit up* yang telah dilakukan oleh *fitter*. Cukup dengan membaca *check sheet* mengenai nama komponen yang hendak di cek akan langsung dapat mengetahui hasil pengelasannya atau hasil *fit up* yang telah dilakukan.

Perancangan *check sheet* ini dilakukan secara manual dan seksama, serta sesuai dengan permintaan dari departemen QA dan Standarisasi yaitu pada desain kapal bagian *double bottom structure* dan *wing tank construction*. Sehingga dengan melakukan analisis mendalam terhadap desain, dilakukanlah penerjemahan secara sederhana terhadap gambar desain kapal menjadi sebuah *check sheet* yang dapat menjadi solusi aplikatif bagi PT. PAL INDONESIA. Berikut pada tabel 4.18 merupakan contoh dari *check sheet* yang telah dirancang.

Tabel 4.18 Contoh *Check Sheet*

Welder/Fitter Name:

Type Of Electrode:

NO.	DESCRIPTION (1)	WELDER/FITTER APPROVAL (2)	INSPECTION SUMMARY		NOTE (5)
			ACCEPTED (3)	REJECTED (4)	
A	DOUBLE BOTTOM STRUCTURE				
1.	NWT Floor Plate (10,5 mm) to Keel Plate (15 mm)				
2.	NWT Floor Plate (10,5 mm) to Shell Plate (13 mm)				
3.	NWT Floor Plate (10,5 mm) to Tank Top Plate (14 mm, 12,5 mm)				
Inspector Comment: (6)					

Inspector

Inspection Date: _____

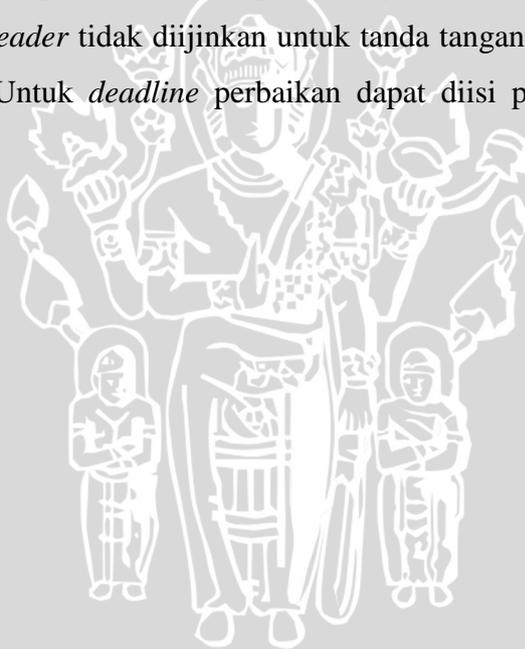
Pada tabel 4.18 merupakan contoh dari sebagian *check sheet* yang telah dirancang dimana pada *check sheet* tersebut terdapat lima kolom dimana setiap kolom memiliki fungsi masing-masing. Berikut adalah penjelasan dari masing-masing kolom tersebut:

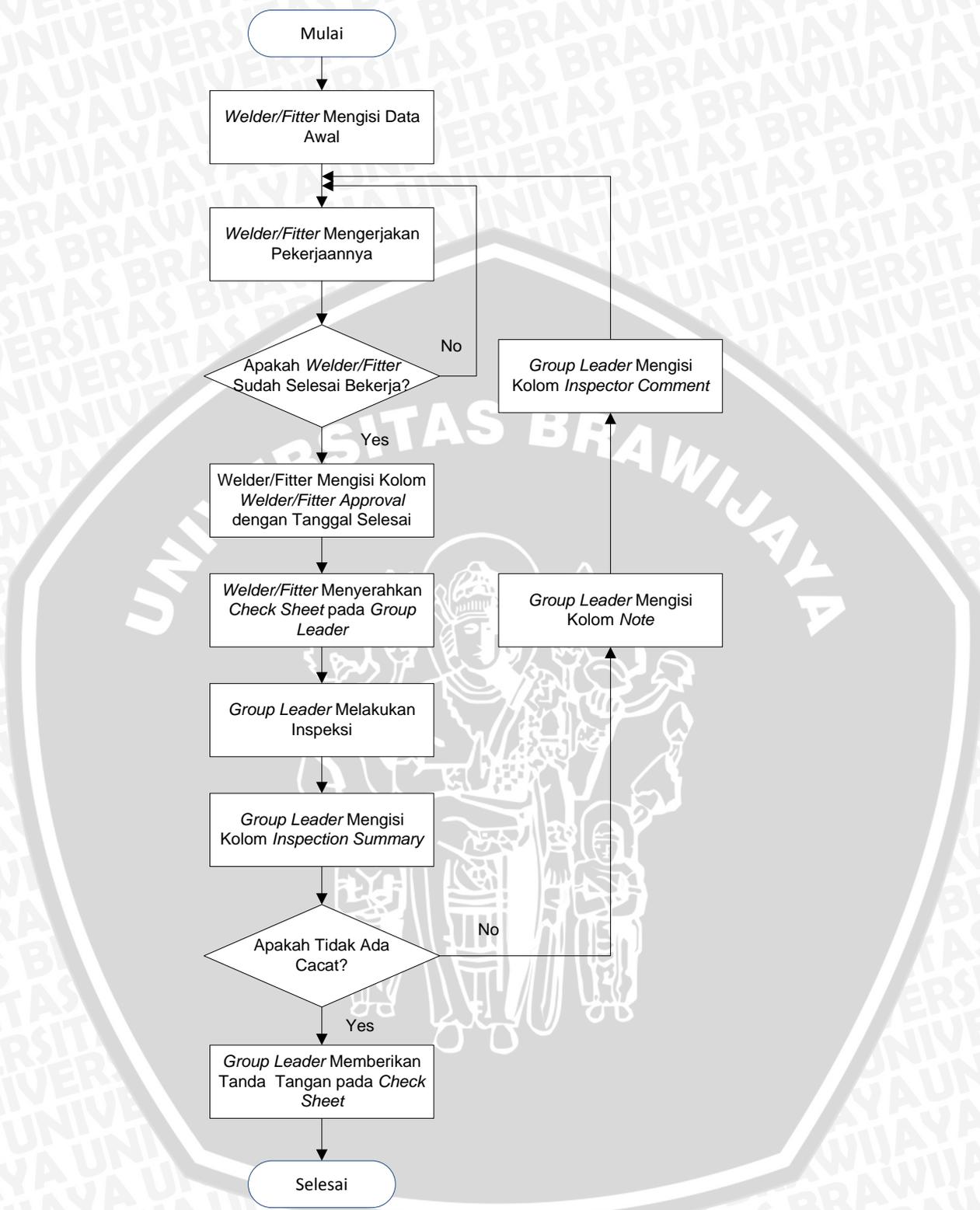
- a. Kolom (1) *Description*, berfungsi untuk menunjukkan keterangan komponen yang harus disatukan dalam proses pengelasan ataupun proses *fit up*. Pada kolom ini setiap komponen yang telah ditentukan diikuti dengan keterangan tebal pelat komponen tersebut.
- b. Kolom (2) *Welder/Fitter Approval*, pada kolom ini *welder/fitter* yang mengerjakan proses pengelasan ataupun *fit up* pada komponen tersebut harus memberikan tanda yang menunjukkan bahwa komponen tersebut telah dilas ataupun telah melalui proses *fit up*.
- c. Kolom (3) dan (4) merupakan kolom dimana *inspector* dapat memberikan keputusan mengenai hasil pengerjaan sambungan antar komponen tersebut. Pilihan dapat dipilih oleh *inspector* termasuk ke dalam *Inspection Summary* yang terdiri dari *Accepted* dan *Rejected*.
- d. Kolom (5) *Note*, pada kolom ini *inspector* dapat memberikan cacatan terhadap setiap hasil pengerjaan sambungan antar komponen yang telah ditentukan. Dimana pada kolom ini catatan yang diberikan oleh *inspector* dapat berupa cacatan mengenai jenis cacat yang terjadi ataupun kondisi hasil pengerjaan yang telah dilakukan.
- e. Kolom (6) merupakan kolom *Inspector Comment*, dimana pada kolom ini *inspector* dapat memberikan komentar mengenai *deadline* perbaikan apabila terjadi cacat.

Agar dapat mempermudah dalam proses penggunaan *check sheet* ini maka dirancanglah dua jenis *Standart Operating Procedure* (SOP) untuk penggunaan *check sheet*. Rancangan SOP pertama adalah untuk *welder/fitter* dengan *group leader* dan rancangan SOP kedua adalah untuk *group leader* dengan *inspector* dari QA dan Standarisasi. Pada gambar 4.35 adalah rancangan SOP yang telah dirancang untuk *welder/fitter* dengan *group leader* :

- a. Setiap *welder/fitter* yang hendak melakukan pekerjaannya diwajibkan untuk mengisi data awal yang sudah disediakan pada *check sheet*. Adapun data yang perlu diisi adalah berupa nama dari *welder/fitter* dan jenis elektroda yang digunakan.
- b. Setelah melakukan pekerjaannya *welder/fitter* diwajibkan untuk mengisi kolom *welder/fitter approval* dengan mencantumkan tanggal pengerjaan untuk setiap komponen yang telah ditentukan.

- c. Setelah *welder/fitter* menyelesaikan pekerjaannya dan mengisi kolom *welder/fitter approval, check sheet* ini dapat diberikan kepada *group leader*.
- d. Ketika *group leader* hendak melakukan inspeksi diwajibkan untuk mengisi kolom *inspection summary*, dimana pada kolom *inspection summary* terbagi menjadi dua bagian yaitu *accepted* dan *rejected*. Apabila dari hasil inspeksi diperlukan adanya catatan, maka dapat mengisi kolom *note* yang telah tersedia pada *check sheet*.
- e. Apabila hasil dari pekerjaan *welder/fitter* terhadap komponen yang telah ditentukan tidak sempurna ataupun terjadi cacat, maka *group leader* dapat dengan mudah melakukan evaluasi terhadap *welder/fitter* berdasarkan pada data pada kolom *welder/fitter approval* dan pada data awal yang wajib diisi oleh *welder/fitter*.
- f. Setelah dilakukannya proses inspeksi dan tidak ada cacat dari hasil pekerjaan *welder/fitter* maka *group leader* diwajibkan untuk tanda tangan dan mengisi waktu dilakukannya inspeksi. Namun apabila terjadi cacat pada hasil pekerjaan *welder/fitter*, *group leader* tidak diijinkan untuk tanda tangan sampai dengan cacat tersebut diperbaiki. Untuk *deadline* perbaikan dapat diisi pada kolom *inspector comment*.



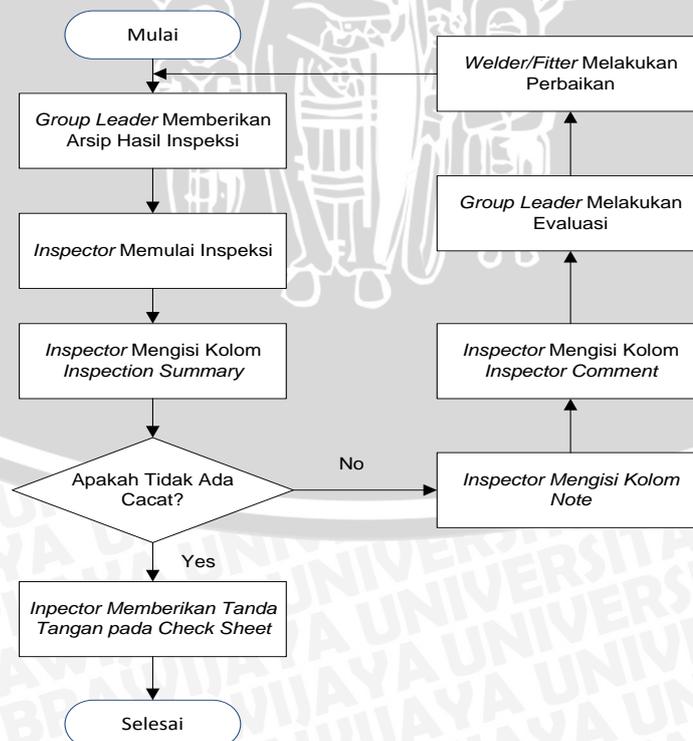


Gambar 4.35 Flow Chart SOP Check Sheet untuk Welder/Fitter dengan Group Leader



Pada gambar 4.36 adalah rancangan SOP yang telah dirancang untuk *group leader* dengan *Inspector* dari QA dan Standarisasi:

- Group Leader* wajib memberikan arsip hasil inspeksi yang telah dilakukan kepada *inspector* dari QA dan Standarisasi, sehingga proses evaluasi dapat dengan mudah dilakukan.
- Ketika *inspector* hendak melakukan inspeksi diwajibkan untuk mengisi kolom *inspection summary*, dimana pada kolom *inspection summary* terbagi menjadi dua bagian yaitu *accepted* dan *rejected*. Apabila dari hasil inspeksi diperlukan adanya catatan, maka dapat mengisi kolom *note* yang telah tersedia pada *check sheet*.
- Apabila hasil dari pekerjaan *welder/fitter* terhadap komponen yang telah ditentukan tidak sempurna ataupun terjadi cacat, maka *group leader* dapat dengan mudah melakukan evaluasi terhadap *welder/fitter* berdasarkan pada data pada kolom *welder/fitter approval* dan pada data awal yang wajib diisi oleh *welder/fitter*.
- Setelah dilakukannya proses inspeksi dan tidak ada cacat dari hasil pekerjaan *welder/fitter* maka *inspector* diwajibkan untuk tanda tangan dan mengisi waktu dilakukannya inspeksi. Namun apabila terjadi cacat pada hasil pekerjaan *welder/fitter*, *inspector* tidak diijinkan untuk tanda tangan sampai dengan cacat tersebut diperbaiki. Untuk *deadline* perbaikan dapat diisi pada kolom *inspector comment*.



Gambar 4.36 Flow Chart SOP Check Sheet untuk *Group Leader* dengan *Inspector*

Jumlah komponen pada *check sheet* yang telah dirancang untuk *double bottom structure* adalah sebanyak 140 komponen, dan untuk *wing tank construction* adalah sebanyak 82 komponen. Saran perbaikan yang telah dirancang yaitu dalam bentuk *check sheet* pada setiap komponen *double bottom structure* dan *wing tank structure* akan digunakan sebagai *pilot project* di departemen QA dan Standarisasi PT. PAL INDONESIA, sehingga kedepannya akan dimunculkan *check sheet* untuk seluruh area dari *Hull Construction* kapal tanker 17.500 LTDW. Disamping hal tersebut, hasil penelitian yang dilakukan oleh peneliti telah diminta oleh Kepala Jaminan Mutu PT. PAL INDONESIA untuk menjadi bahan evaluasi internal pada proses pembuatan kapal tanker 17.500 LTDW.

2. Penandaan area las

Dilakukan proses *tagging* atau penandaan pada daerah yang dilas berdasarkan komponennya. Jadi untuk melengkapi saran *check list* di atas maka sebelum pengelasan atau *fit up* dimulai, hendaknya *group leader* melakukan penandaan pada setiap komponen yang hendak dilas dengan menggunakan cat semprot atau kapur sehingga dapat meminimalisir terjadinya *missing* pada pengelasan atau *fit up* komponen.

3. Pengawasan terhadap mekanisme perekrutan *welder*

Berdasarkan hasil analisis menggunakan FMEA menunjukkan bahwa salah satu penyebab cacat yang sering terjadi adalah *travel speed* yang terlalu cepat ataupun terlalu lambat. Oleh karena itu diperlukan pengawasan yang lebih ketika PT. PAL INDONESIA hendak melakukan perekrutan *welder* yang baru. Adapun bentuk pengawasan yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan simulasi pengelasan, dimana simulasi pengelasan ini bertujuan untuk mengetahui kualitas dari *welder* tersebut, meskipun *welder* tersebut telah memenuhi standar sertifikasi yang telah ditentukan. Dengan dilakukan simulasi secara langsung ini diharapkan dapat mengetahui kondisi nyata dari kemampuan *welder* tersebut sehingga masalah *travel speed* pada pengelasan tidak akan terjadi di masa mendatang. Penentuan *travel speed* sangat tergantung dengan ukuran elektroda, dan panjang elektroda. Tabel 4.19 menunjukkan standar *travel speed* pada proses pengelasan.

Tabel 4.19 *Travel Speed*

Ukuran Elektroda (mm)	Panjang Elektroda (mm)	<i>Travel speed</i> (mm/min)	
		Minimum	Maksimum
4	350	175	300
3.2	350	125	225
2.5	350	100	225

Sumber: *World of Welding* (2007)

4. Pengaturan penggunaan arus pengelasan

Penggunaan arus pengelasan yang tepat merupakan faktor yang terpenting dalam proses pengelasan. Apabila arus yang digunakan terlalu rendah dapat dipastikan elektroda akan cenderung menempel pada pelat, dan penetrasi yang dihasilkan sangat buruk. Sedangkan apabila arus yang digunakan terlalu besar dapat dipastikan akan diiringi dengan elektroda yang terlalu panas (*overheat*). Hal ini dapat menyebabkan *undercut*, material yang terbakar, dan akan muncul *spatter* yang berlebihan. Oleh karena itu diperlukan sebuah standar terhadap arus pengelasan yang ideal berdasarkan pada ukuran dari elektroda yang digunakan, tabel 4.20 akan menunjukkan rekomendasi kuat arus yang dapat digunakan dalam proses pengelasan.

Tabel 4.20 Rekomendasi Kuat Arus

Ukuran elektroda (mm)	<i>Range Arus</i> (Amp)
2.5	60-95
3.2	110-130
4	140-165
5	170-260

Sumber: *World of Welding* (2007)

5. Penyimpanan elektroda

Elektroda yang lembab ataupun basah dapat dipastikan akan menjadi penyebab cacat. Hal ini dapat dibuktikan dari hasil FMEA yang menunjukkan bahwa salah satu penyebab terjadinya cacat pengelasan adalah elektroda yang lembab. Oleh karena itu ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penyimpanan elektroda menurut *world of welding* (2007), berikut ini adalah penjelasannya:

- a. Penyimpanan elektroda hendaknya jangan langsung bersentuhan dengan lantai. Sehingga pada umumnya dapat diletakkan di rak yang memiliki sirkulasi udara di bagian bawah.
- b. Temperatur udara tempat penyimpanan minimal 5 derajat di atas rata-rata suhu udara luar.

- c. Tempat penyimpanan elektroda harus kering dan terhindar dari benda-benda yang memungkinkan menjadi penyebab terjadinya kelembapan.
- d. Apabila elektroda tidak disimpan pada tempat yang memenuhi syarat, maka sebaiknya diberi bahan pengikat kelembapan, seperti *silica gel* pada tempat penyimpanan tersebut.

4.9 PEMBAHASAN

Pada tabel 2.1 menunjukkan perbedaan antara seluruh penelitian terdahulu dengan yang dilakukan oleh peneliti, dimana penelitian yang dilakukan oleh Hanliang *et al* (2013), dan Ocavia (2010) hanya menggunakan metode FMEA dalam penelitiannya. Sedangkan Gharahasanlou *et al* (2014) menggunakan metode FTA dan Setyadi (2013) menggunakan kombinasi metode FMEA dan FTA. Dari pemaparan di atas penelitian yang dilakukan oleh peneliti memiliki beberapa kelebihan apabila dibandingkan dengan penelitian terdahulu. Penelitian yang dilakukan oleh Gharahasanlou *et al* (2014) yang menggunakan metode FTA hanya menghasilkan *output* berupa probabilitas kemungkinan kemunculan kegagalan untuk mesin *crushing*. Hal ini sangat berbeda dengan yang dilakukan oleh peneliti dimana peneliti menggunakan FTA untuk dapat mengetahui penyebab dasar terjadi cacat berdasarkan nilai RPN paling berpengaruh. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Setyadi (2013) merupakan penelitian dengan kombinasi metode yang sama dengan peneliti, yaitu mengkombinasikan FMEA dan FTA. Namun, saran perbaikan yang dihasilkan oleh Setyadi (2013) masih bersifat normatif dan cenderung tidak fokus dalam memecahkan masalah yang ada. Hal ini tentu sangat berbeda dengan saran perbaikan yang dihasilkan oleh peneliti dimana setiap saran yang dihasilkan sudah melalui persetujuan dari perusahaan tempat dilakukannya penelitian. Sedangkan untuk penelitian yang dilakukan oleh Hanliang *et al* (2013) dan Ocavia (2010) menjadi gambaran dasar bagi peneliti dalam hal penggunaan FMEA untuk dapat memecahkan masalah yang ada secara efektif dan efisien.

Langkah awal yang dilakukan dalam penelitian ini adalah melakukan identifikasi terhadap data inspeksi dari *class/OS*, dimana dari data tersebut didapatkan bahwa jumlah cacat terbanyak terjadi pada bagian HC yaitu sebanyak 129 kali, kemudian diikuti dengan HO sebanyak 60 kali cacat, lalu MO 32 kali cacat dan terakhir adalah EO dengan 22 kali cacat. Berdasarkan hal tersebut penelitian ini difokuskan pada bagian HC untuk dapat melakukan analisis penyebab cacat yang terjadi dengan menggunakan metode FMEA dan FTA. Dimana *output* dari metode FMEA adalah berupa nilai RPN

untuk seluruh jenis cacat yang terjadi pada bagian HC KM. Pagerungan. Kemudian dilanjutkan dengan metode FTA yang bertujuan untuk mencari penyebab terjadinya cacat pada jenis cacat yang memiliki nilai RPN paling berpengaruh.

Berdasarkan hasil rekapitulasi dari data cacat *class/OS* untuk bagian HC, maka didapatkan beberapa macam cacat yang terjadi, jenis-jenis cacat yang terjadi dapat dilihat pada tabel 4.1. sebelum dilakukan pengolahan data perlu diketahui bahwa dalam pengujian hasil las di PT. PAL INDONESIA menggunakan tiga metode yaitu, *visual inspection*, *radiographic test* dan *ultrasonic test*. Dimana pada *visual inspection* PT. PAL INDONESIA menggunakan alat bantu berupa senter, *welding gauge*, dan palu. Sedangkan menurut Biro Klasifikasi Indonesia (2000) *radiographic test* adalah suatu metode yang berdasarkan pengamatan perbedaan tingkat penyerapan dari suatu penyinaran radiasi pada suatu bahan/objek, atau dengan kata lain bayangan yang dihasilkan oleh lewatnya sinar gamma/sinar x melalui benda uji ke film. Untuk cara kerja dari metode ini dapat dilihat pada gambar 4.12. Untuk *ultrasonic test* Menurut Biro Klasifikasi Indonesia (2000) merupakan sebuah uji yang memanfaatkan gelombang ultrasonik untuk mendeteksi kerusakan las di bagian dalam. Frekuensi gelombang ultrasonik yang digunakan untuk mendeteksi kerusakan pada logam secara umum adalah antara 0,5 sampai 10 MHz. Namun di lapangan frekuensi yang digunakan adalah 2 sampai 5 MHz. Cara kerja dari metode ini dapat dilihat pada gambar 4.13 dan 4.14.

Perancangan metode FMEA bertujuan untuk melihat jenis cacat mana yang akan menjadi prioritas untuk diolah dengan menggunakan metode FTA. Pada FMEA perlu dilakukan analisis efek cacat, penyebab cacat, dan proses kontrol diikuti dengan melakukan pembobotan pada nilai *severity*, *occurance*, dan *detection* untuk dapat menghasilkan nilai *Risk Priority Number* (RPN). Dari hasil metode FMEA didapatkan bahwa tiga jenis cacat tertinggi adalah *missing bracket* dengan nilai RPN 384, *missed weld* dengan nilai RPN 240, dan *Misalignment* dengan nilai RPN sebesar 224. Untuk lebih lengkapnya nilai RPN untuk seluruh jenis cacat dapat dilihat pada tabel 4.17. Dengan berdasarkan hasil FMEA tersebut maka ketiga cacat dengan nilai RPN tertinggi akan menjadi pusat utama dalam analisis penyebab cacat dengan menggunakan FTA.

Perancangan FTA pada jenis penyebab kegagalan *Misalignment* pada bagian HC di KM. Pagerungan disebabkan oleh tiga faktor yaitu, kesalahan *fit up* atau deformasi akibat pengelasan atau perbedaan tebal pelat. Faktor kesalahan *fit up* dapat terjadi

apabila terjadi kesalahan pemasangan yang disebabkan oleh kesalahan *marking* pada pelat yang hendak dilas. Kesalahan *marking* dapat terjadi karena *fitter* bekerja dengan ceroboh, dimana penyebab hal tersebut adalah kontrol dari *group leader* yang lemah. Sedangkan untuk faktor deformasi akibat pengelasan dapat terjadi karena adanya kesalahan pengelasan oleh *welder*, yang mana faktor ini dipengaruhi oleh dua penyebab. Penyebab pertama disebabkan karena *welder* tidak konsentrasi. Adapun penyebab hal tersebut karena terjadinya beban kerja berlebih (*overload*) pada *welder* tersebut. Untuk penyebab kedua disebabkan oleh penandaan daerah las yang tidak jelas. Untuk faktor perbedaan tebal pelat dapat menyebabkan *Misalignment* apabila peletakan pelat tidak tepat. Hal ini disebabkan karena *fitter* bekerja secara ceroboh, dimana penyebab hal tersebut adalah kontrol dari *group leader* yang lemah.

Sedangkan untuk *missing bracket*. Potensi penyebab kegagalan *missing bracket* adalah kesalahan *fitter* atau *controlling* dari *group leader* yang belum optimal. Penyebab *controlling group leader* yang belum optimal adalah tidak adanya *check sheet* yang dapat membantu proses pengawasan dan penyebab terjadinya kesalahan *fitter* dipengaruhi oleh dua penyebab. Dimana untuk penyebab pertama disebabkan oleh *fitter* tidak konsentrasi yang disebabkan karena beban kerja berlebih (*overload*). Untuk penyebab kedua disebabkan karena *fitter* tidak membaca gambar atau desain dari kapal KM. Pagerungan secara menyeluruh.

Untuk *missed weld* dapat diketahui bahwa penyebab kegagalan *missed weld* dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu kesalahan *welder* atau *controlling* dari *group leader* yang belum optimal. Penyebab *controlling group leader* yang belum optimal adalah tidak adanya *check sheet* yang dapat membantu proses pengawasan. Pada faktor kesalahan *welder* disebabkan oleh dua penyebab. Untuk penyebab pertama karena *welder* tidak konsentrasi yang disebabkan karena beban kerja berlebih (*overload*). Untuk penyebab kedua disebabkan karena *welder* tidak membaca gambar atau desain sebelum melakukan pengelasan pada bagian HC di KM. Pagerungan.

Berdasarkan hasil dari analisis penyebab cacat untuk ketiga jenis cacat dengan nilai RPN tertinggi dapat dihasilkan saran perbaikan yang bertujuan untuk meminimalisir timbulnya cacat yang sama di masa mendatang. Berikut ini adalah saran perbaikan yang telah dirancang:

1. Perbaiki *check sheet*

Dengan berlandaskan hasil analisis penyebab cacat dengan menggunakan FTA didapatkan bahwa ketiga jenis cacat dengan nilai RPN tertinggi memiliki penyebab yang hampir sama yaitu berkisar pada kesalahan manusia dan kontrol yang belum optimal. Kedua hal ini menunjukkan bahwa secara tidak langsung ada keterkaitan pada ketiga jenis cacat ini. Selama ini proses kontrol terhadap cacat yang dilakukan oleh PT. PAL INDONESIA adalah berupa *check sheet* yang berfokus pada jenis cacat pada *welding*/pengelasan dan pada proses *fit up*. Gambar 4.33 dan gambar 4.34 merupakan contoh *welding check sheet* dan *fit up check sheet* yang diterapkan di PT. PAL INDONESIA. Jika hanya mengandalkan kedua *check sheet* tersebut untuk mengontrol terjadinya cacat pada proses pembuatan kapal, dapat dipastikan proses kontrol yang dilakukan tidak akan berjalan dengan baik. Hal ini dapat dibuktikan dengan masih adanya cacat pada hasil inspeksi yang telah dilakukan oleh *class/OS*. Dimana proses inspeksi yang dilakukan oleh *class/OS* sendiri merupakan tahapan inspeksi terakhir setelah melalui inspeksi oleh bengkel dan departemen QA dan Standarisasi. Oleh karena itu dirancanglah sebuah *check sheet* untuk komponen yang terdapat di *double bottom construction* dan *wing tank construction*. Dimana pada *check sheet* ini dapat berperan sebagai tindakan preventif untuk mencegah terjadinya cacat dan dapat memudahkan *group leader* dalam melakukan pengecekan ulang terhadap hasil pengelasan yang telah dilakukan oleh *welder* ataupun hasil *fit up* yang telah dilakukan oleh *fitter*. Contoh rancangan *check sheet* dapat dilihat pada tabel 4.18. Disamping perancangan *check sheet* juga dilakukan perancangan SOP penggunaan *check sheet*.

2. Penandaan area las

Dilakukan proses *tagging* atau penandaan pada daerah yang dilas berdasarkan komponennya. Jadi untuk melengkapi saran *check list* di atas maka sebelum pengelasan atau *fit up* dimulai, hendaknya *group leader* melakukan penandaan pada setiap komponen yang hendak dilas dengan menggunakan cat semprot atau kapur sehingga dapat meminimalisir terjadinya *missing* pada pengelasan atau *fit up* komponen.

3. Pengawasan terhadap mekanisme perekrutan *welder*

Berdasarkan hasil analisis menggunakan FMEA menunjukkan bahwa salah satu penyebab cacat yang sering terjadi adalah *travel speed* yang terlalu cepat ataupun terlalu lambat. Oleh karena itu diperlukan pengawasan yang lebih ketika PT. PAL INDONESIA hendak melakukan perekrutan *welder* yang baru. Adapun bentuk pengawasan yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan simulasi pengelasan,

dimana simulasi pengelasan ini bertujuan untuk mengetahui kualitas dari *welder* tersebut, meskipun *welder* tersebut telah memenuhi standar sertifikasi yang telah ditentukan. Dengan dilakukan simulasi secara langsung ini diharapkan dapat mengetahui kondisi nyata dari kemampuan *welder* tersebut sehingga masalah *travel speed* pada pengelasan tidak akan terjadi di masa mendatang. Penentuan *travel speed* sangat tergantung dengan ukuran elektroda, dan panjang elektroda. Tabel 4.19 menunjukkan standar *travel speed* pada proses pengelasan.

4. Pengaturan penggunaan arus pengelasan

Penggunaan arus pengelasan yang tepat merupakan faktor yang terpenting dalam proses pengelasan. Apabila arus yang digunakan terlalu rendah dapat dipastikan elektroda akan cenderung menempel pada pelat, dan penetrasi yang dihasilkan sangat buruk. Sedangkan apabila arus yang digunakan terlalu besar dapat dipastikan akan diiringi dengan elektroda yang terlalu panas (*overheat*). Hal ini dapat menyebabkan *undercut*, material yang terbakar, dan akan muncul *spatter* yang berlebih. Oleh karena itu diperlukan sebuah standar terhadap arus pengelasan yang ideal berdasarkan pada ukuran dari elektroda yang digunakan, tabel 4.20 akan menunjukkan rekomendasi kuat arus yang dapat digunakan dalam proses pengelasan.

5. Penyimpanan elektroda

Elektroda yang lembab ataupun basah dapat dipastikan akan menjadi penyebab cacat. Hal ini dapat dibuktikan dari hasil FMEA yang menunjukkan bahwa salah satu penyebab terjadinya cacat pengelasan adalah elektroda yang lembab. Oleh karena itu ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penyimpanan elektroda menurut *world of welding* (2007), berikut ini adalah penjelasannya:

- a. Penyimpanan elektroda hendaknya jangan langsung bersentuhan dengan lantai. Sehingga pada umumnya dapat diletakkan di rak yang memiliki sirkulasi udara di bagian bawah.
- b. Temperatur udara tempat penyimpanan minimal 5 derajat di atas rata-rata suhu udara luar.
- c. Tempat penyimpanan elektroda harus kering dan terhindar dari benda-benda yang memungkinkan menjadi penyebab terjadinya kelembapan.
- d. Apabila elektroda tidak disimpan pada tempat yang memenuhi syarat, maka sebaiknya diberi bahan pengikat kelembapan, seperti *silica gel* pada tempat penyimpanan tersebut.