

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Cargo Tank*

Cargo tank atau ruang muat pada kapal yang dimana desain dari sistem muatan tidak boleh kurang dari desain bangunan kapal itu sendiri. Struktural ketahanan dari sistem tangki muatan harus bisa melawan kegagalan-kegagalan mode, tetapi tidak terbatas kepada deformasi *plastic*, *buckling*, dan *fatigue* (IMO-IGC, 2016).

Tipe tangki muatan untuk kapal muatan gas dibagi dalam beberapa tipe, yaitu:

2.1.1. *Independent Tank*

Independent tank merupakan jenis *cargo tank* yang tidak membentuk bagian dari lambung kapal (terpisah) dan juga tidak berpengaruh pada kekuatan lambung kapal (Eyres dan Bruce, 2012).

Independent tank itu sendiri dibagi menjadi 3 (tiga) sub-kategori antara lain:

- *Independent tank type-A*
- *Independent tank type-B*
- *Independent tank type-C*

Yang dimana kategori itu dibedakan karena *design pressure* yang berbeda-beda. *Cargo tank* tersebut pun dibedakan berdasarkan bentuknya, terdapat 4 (empat) bentuk utama tangki, yaitu:

- *Spherical tank*
- *Cylindrical tank*
- *Bi-lobe tank*
- *Prismatic tank*

Independent tank tersebut telah diatur untuk desain dan spesifikasinya pada *standard / rules* seperti salah satunya oleh DNV-GL (*Det Norske Veritas – Germanischer Lloyd*) pada *rules for classification-ships “DNVGL-RU-SHIP part 5 chapter 7 – 2017 edition”*.

2.1.2. Membrane Tank

Membrane tank adalah cargo tank yang terdiri dari lapisan tipis (*primary barrier*) yang ditunjang melalui isolasi oleh lambung yang berdekatan dengan struktur. Membran ini dirancang sedemikian rupa sehingga termal dan ekspansi lainnya atau pemuaiannya dikompensasikan tanpa harus menekankan dari membran (Mokhatab, 2014).

2.1.3. Semi-membrane Tank

Semi-membrane tank merupakan variasi dari *membrane tank* yang dimana lapisan (*primary barrier*) pada *semi-membrane tank* lebih tebal dibandingkan dengan *primary barrier* pada *membrane tank*. *Semi-membrane tank* ini bersifat *self-support* bila dalam keadaan kosong dan menjadi *non-self support* apabila *semi-membrane tank* dalam keadaan muat cairan atau gas (Marc E dan Enright Jr, 2015).

2.1.4. Integral Tank

Integral tank merupakan tangki yang bagian strukturalnya dari lambung kapal dipengaruhi dengan cara yang sama dan dengan beban yang sama pada struktur *stress*-nya pada lambung karena berada tepat di sebelahnya (SIGTTO, 2018).

2.2. Material Baja ASTM A 516 Grade 60

ASTM A 516 *grade 60* merupakan material baja yang biasa diaplikasikan untuk lingkungan dengan suhu rendah dari suhu normal, memiliki ketangguhan takik yang bagus serta cocok digunakan sebagai material dalam fabrikasi seperti bejana tekan (*pressure vessel*), *boiler*, dan juga tangki. Material baja ini memiliki tegangan luluh dan tegangan tarik yang baik (ASME, 2021).

2.3. Pengelasan (Welding)

Pengelasan menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) adalah proses, cara, perbuatan menyambung besi dengan membakar. Dalam referensi

lainnya, pengelasan menurut *American Welding Society* (AWS) pengelasan adalah penyambungan antara metal atau non-metal yang menghasilkan satu bagian yang menyatu, dengan atau tanpa penekanan, dan dengan atau tanpa logam pengisi. Meskipun dalam metode proses pengelasan tidak hanya berupa proses penyambungan, tetapi juga bisa berupa proses pemotongan dan *brazing*. Penjelasan tersebut dapat diartikan lebih lanjut bahwa pengelasan adalah sambungan setempat dari beberapa logam dengan menggunakan energi panas. Dan terdapat 3 (tiga) daerah atau area dari hasil pengelasan, yaitu daerah las-lasan, *heat affected zone* (HAZ) dan logam induk (*base metal*) (Wiryosumarto dan Okomura, 2004).

Ada banyak macam proses pengelasan las listrik di dalam dunia industri, diantaranya ialah:

2.3.1. Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

Shielded metal arc welding (SMAW) merupakan jenis las busur listrik dimana dalam pengelasan dengan mempergunakan busur nyala listrik sebagai sumber panas pencair logam. Jenis las ini paling banyak dipilih atau dipakai pada semua keperluan pengelasan (Widharto, 2006).

Pada prosesnya, pengelasan ini menggunakan kawat las (elektroda) logam yang terbungkus oleh *flux*, ujung kawat las dan logam induk (*base metal*) mencair karena panas yang dihasilkan dari busur tersebut, kemudian membeku bersama (Wiryosumarto dan Okomura, 2004).

2.3.2. Flux Core Arc Welding (FCAW)

Flux core arc welding (FCAW) merupakan jenis pengelasan busur listrik yang terbentuk antara kolam las dan elektroda terumpan dengan pelindung *flux* yang terdapat pada elektroda yang berongga, proses pengelasan ini dapat dilakukan tanpa tekanan dan dapat diberi tambahan gas CO₂ sebagai pelindung pada saat proses pengelasan. Elektroda FCAW menghasilkan busur listrik yang lebih stabil dalam proses pengelasan, garis bentuk lasan lebih baik dan menghasilkan sifat-sifat mekanik yang baik pada logam lasan (AWS, 2015).

2.3.3. *Gas Metal Arc Welding (GMAW)*

Gas metal arc welding (GMAW) merupakan jenis pengelasan yang dimana pada prosesnya menggunakan gas. Busur nyala listrik yang dipakai sebagai pencair metal yang dilas (*base metal*) dan metal penambah (*filler metal*). Gas kekal (*inert*) atau CO₂ digunakan sebagai pelindung dari oksidasi, oleh karena itu jenis las ini disebut juga dengan CO₂ *welding* (Widharto, 2006).

2.3.4. *Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)*

Gas tungsten arc welding (GTAW) atau *tungsten inert gas (TIG) welding* adalah proses las busur listrik yang menggunakan busur antara *tungsten* elektroda dan jalur yang mau dilas. Proses ini dilakukan dengan gas pelindung dan tanpa adanya penerapan tekanan. Jenis proses ini dapat dilakukan dengan atau tanpa logam pengisi (*filler metal*). Kelebihan dari jenis pengelasan ini yaitu tidak menghasilkan *slag* dan menimbulkan *spatter* yang membuat hasil pengelasannya bersih (Wirjosumarto dan Okomura, 2004).

2.3.5. *Submerged Arc Welding (SAW)*

Submerged arc welding merupakan pengelasan busur terbenam, yaitu suatu jenis pengelasan dimana menggunakan busur nyala listrik yang dimana pada prosesnya menggunakan butir-butir *flux* atau *slag* untuk mencegah oksidasi cairan *metal* dan *metal* tambahan, sehingga busur terpendam di dalam butir-butir tersebut (Widharto, 2006).

2.4. Pemanasan Awal (*Preheating*)

Pemanasan awal atau *preheat* adalah suatu kegiatan berupa pemanasan sebelum dimulainya pengelasan yang dilakukan pada suhu dibawah suhu rekristalisasi. *Preheat* dilakukan dengan menggunakan *gas burner*, *oxy-gas flame*, *electric blanket*, pemanasan induksi atau pemanasan dengan *furnace* (Yasfi, 2018).

Tujuan dilakukan *preheat* yaitu untuk memperlambat laju pendinginan pada logam las dan logam induk (*base metal*), yang memungkinkan hidrogen

dapat terdifusi keluar dan mengurangi potensi retak (*crack*) dan juga dapat meningkatkan ketangguhan logam (Meng, 2010).

2.5. Pemanasan Paska Las (*Post Weld Heat Treatment*)

Post weld heat treatment (PWHT) adalah suatu perlakuan panas setelah selesai proses pengelasan. Banyak sekali obyek metalurgis yang dapat dicapai melalui proses perlakuan panas paska las, misalnya pelepasan tegangan sisa (*stress relieve*), stabilitas dimensi, ketahanan terhadap retak karat regangan (*stress corrosion cracking*), peningkatan keuletan (*toughness*) dan kekuatan mekanis.

Pelepasan tegangan sisa atau *stress relieve* mungkin merupakan salah satu alasan dilakukannya perlakuan panas paska las, yang bertujuan untuk mengurangi tegangan sisa pengelasan pada sambungan las yang mengalami pengekangan berat (*heavy restrain*) atau yang peka terhadap keretakan (Purwaningsih, 2006).

2.6. Uji Tidak Merusak (*Non Destructive Test*)

Uji tidak merusak atau *non destructive test* (NDT) adalah aktivitas tes atau inspeksi pada suatu benda yang bertujuan untuk mengetahui adanya cacat, retak, atau *discontinuity* lain tanpa perlu merusak benda tersebut (Zahran dkk, 2013).

Non destructive test dilakukan selama dan diakhir proses fabrikasi atau *assembly*, untuk menentukan benda atau komponen dapat diterima setelah melewati tahap-tahap tersebut. Dan selanjutnya NDT ini dilakukan setelah benda atau komponen digunakan dalam jangka waktu tertentu, yang bertujuan untuk mengetahui kegagalan parsial sebelum melewati atau melampaui *damage tolerance* (Kasban dkk, 2011).

Ada berbagai macam jenis uji tidak merusak, yang banyak digunakan atau dilakukan pada dunia industri *metal* antara lain:

2.6.1. Inspeksi Visual

Inspeksi visual merupakan metode pengujian tidak merusak yang sangat sederhana. Metode ini digunakan untuk mendeteksi cacat atau

retak pada permukaan. Dalam hal itu cacat yang terdeteksi adalah cacat yang dapat dilihat oleh mata telanjang atau dengan bantuan lensa pembesar (Naryono dan Suharyadi, 2007).

2.6.2. Liquid Penetrant Test (PT)

Liquid penetrant test (PT) merupakan salah satu metode pengujian tidak merusak yang digunakan untuk mengetahui diskontinuitas halus pada permukaan benda uji seperti retak (*crack*), berlubang atau kebocoran. Prinsip pengujian ini yaitu dengan memanfaatkan daya kapilaritas.

Dengan metode ini, diskontinuitas yang terdeteksi tidak terbatas pada ukuran, bentuk, arah, struktur bahan maupun komposisinya. Cairan penetrant mampu meresap ke dalam celah kecil. Pengujian ini banyak digunakan untuk mengetahui keretakan permukaan (*surface cracks*), *porosity*, dan lain-lain (Faizal dan Umam, 2018).

2.6.3. Magnetic Particle Test (MT)

Magnetic particle test (MT) adalah metode uji tidak merusak yang digunakan untuk mendeteksi retakan (*crack*) dan diskontinuitas lain yang berada pada permukaan material ferromagnetik. Sensitivitas metode ini baik untuk diskontinuitas pada permukaan dan terus menurun dengan semakin dalamnya suatu diskontinuitas yang berada pada permukaan (Alexandri dan Sugandika, 2017).

2.6.4. Ultrasonic Test (UT)

Ultrasonic test (UT) adalah pengujian yang memanfaatkan media gelombang ultrasonik (gelombang suara) yang mempunyai frekuensi tinggi. Pengujian ini digunakan untuk mendeteksi adanya cacat pada benda dan juga untuk mengetahui ketebalan suatu benda atau material. Gelombang ultrasonik dapat ditimbulkan oleh perubahan energi listrik ke energi mekanik dari *transducer* yang disebut *probe* dengan melalui efek piezoelektrik yang merupakan suatu efek *reversible*.

Untuk memeriksa suatu ketebalan benda atau material dan adanya cacat di dalam benda tersebut dengan gelombang ultrasonik dapat dilakukan dengan 3 (tiga) cara yaitu teknik resonansi, teknik transmisi dan teknik gema (Debora, 2017).

2.6.5. Radiography Test (RT)

Radiography test (RT) merupakan salah satu jenis pengujian tidak merusak yang menggunakan sinar gamma atau biasa disebut dengan sinar-x, yang bertujuan untuk mengetahui kondisi dan kualitas benda atau komponen (Thornton dkk, 2012).

Sinar-x adalah bentuk dari radiasi ion yang sangat berbahaya, sinar-x atau sinar gamma merupakan bentuk dari radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang berkisar 10 nanometer hingga 100 pikometer (30 *petahertz* – 30 *exahertz*) dan memiliki energi dalam rentang 100 eV – 100 KeV (Zheng dkk, 2017).

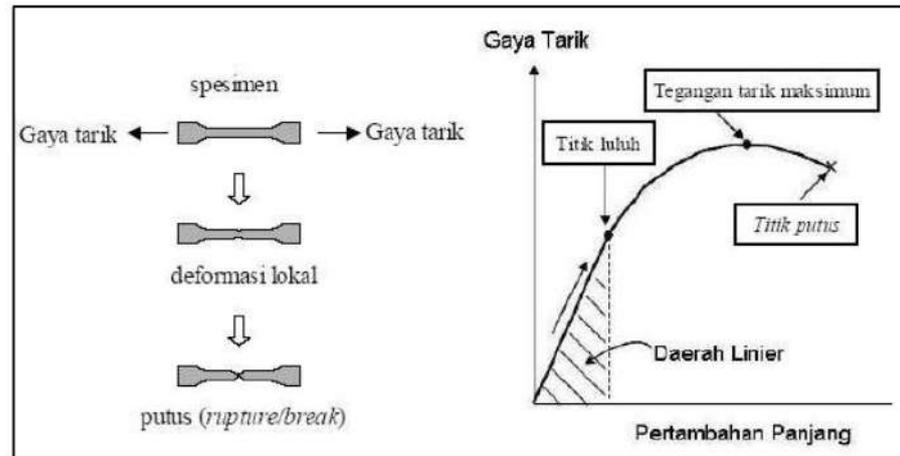
2.7. Uji Merusak (*Destructive Test*)

Destructive test atau pengujian dengan cara merusak adalah salah satu metode yang bertujuan untuk mengetahui kelayakan dan mutu suatu benda atau material sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Pengujian ini dilakukan dengan cara merusak material tersebut. Pengujian merusak seperti uji tekuk (*bending test*), uji tarik (*tensile test*), uji takik (*impact test*) dan uji kekerasan (*hardness test*) (Lailiyah, 2017).

2.7.1. Tensile Test

Uji tarik atau *tensile test* pada material logam bertujuan untuk mengetahui sifat dari kekuatan tarik dari logam tersebut. Prinsipnya adalah dengan pemberian beban tarik *uniaxial* yang besarnya terus meningkat secara kontinyu pada spesimen uji (Rahmatika dkk, 2021).

Pengujian tarik pada daerah las bermaksud untuk mengetahui apakah nilai kekuatan las lebih rendah, sama atau lebih tinggi dari nilai kekuatan *raw material* (Faizal dan Umam, 2018).



(Sumber: PPNS *handbook*)

Gambar 2.1. Kurva tegangan - regangan

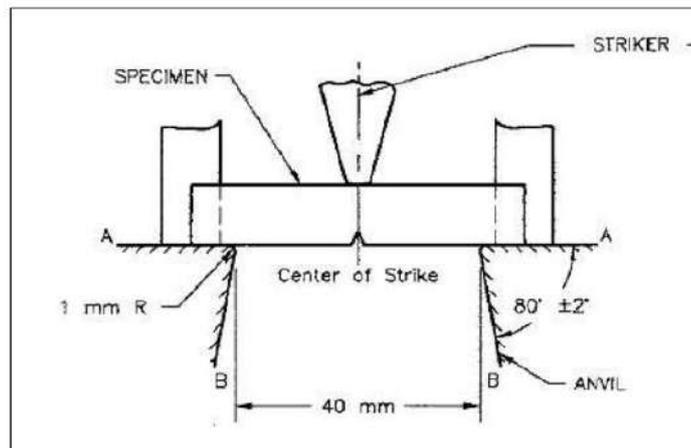
2.7.2. *Hardness Test*

Uji kekerasan atau *hardness test* merupakan kemampuan suatu material untuk menahan beban penetrasi atau penekanan. Ketika benda tersebut diberi gaya dengan mendapat pengaruh pembebanan, benda tersebut akan mengalami deformasi (Sudjana, 1999).

Untuk material yang dalam penggunaannya mengalami gesekan (*frictional force*) dan deformasi plastis, perlu diketahui nilai kekuatan material tersebut (Gurusinga, 2019).

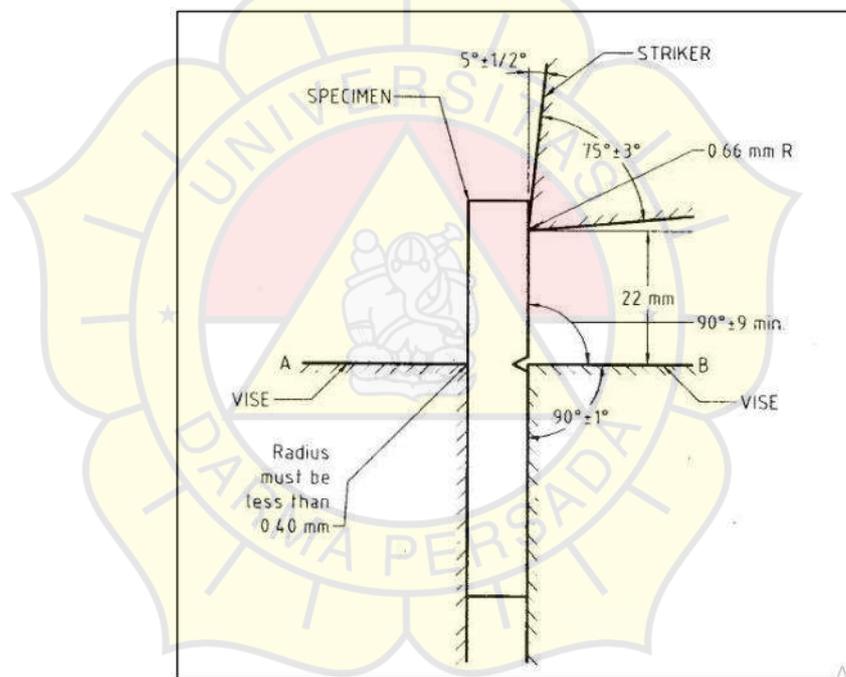
2.7.3. *Impact Test*

Uji takik atau *impact test* merupakan uji ketahanan suatu material dalam menerima beban kejut. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui ketangguhan suatu material. Prinsip pengujian ini adalah kemampuan material dalam menyerap energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian. Sebelum pengujiannya, spesimen uji diberi takikan terlebih dahulu pada area yang sejajar dengan pendulum beban. Fungsi takikan tersebut untuk melokalisasi peretakan yang nantinya patahan terjadi pada daerah takikan tersebut (Haryadi dkk, 2017).



(Sumber: ASTM E23 standard)

Gambar 2.2. Charpy v-notch



(Sumber: ASTM E23 standard)

Gambar 2.3. Izod

a. Charpy V-Notch

Metode ini merupakan cara pengujian dimana spesimen dipasang secara *horizontal* dengan kedua ujungnya berada pada tumpuan, sedangkan takikan pada spesimen diletakkan di tengah-tengah dengan arah pembebanan tepat diatas takikan (Manalu, 2014).

b. *Izod*

Metode ini merupakan cara dimana spesimen berada pada posisi *vertical* pada tumpuan dengan salah satu ujungnya dicekam dengan arah takikan pada arah gaya tumbukan. Tumbukan pada spesimen dilakukan tidak tepat pada pusat takikan melainkan pada posisi agak di atas dari takikan (Manalu, 2014).

2.7.4. *Bending Test*

Uji tekuk atau *bending test* bertujuan untuk mengetahui kekuatan lentur suatu material. Pengujian ini juga dapat digunakan untuk menentukan mutu dari hasil lasan secara visual akibat dari pembebanan tekuk yang terjadi.

Berdasarkan pada posisi pengambilan dalam pembuatan spesimen uji, pengujian tekuk dibedakan menjadi 2 (dua), yaitu uji tekuk melintang (*transversal bending test*) dan uji tekuk memanjang (*longitudinal bending test*). Sedangkan bila berdasarkan pada lokasi pengamatan dan pembebanan, uji tekuk melintang diklasifikasikan menjadi 3 (tiga), yaitu *face bend*, *root bend*, dan *side bend* (Herman, 2009).