

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tongkang (*Barge*)

Suatu jenis kapal memiliki badan kapal yang lebar dan rata serta bagian depan rata dan tajam yang mengapung. Biasanya kapal ini dilengkapi dengan kabel atau tali yang digunakan untuk menarik atau menghubungkan tongkang dengan kapal pengangkut atau *tugboat*. Tongkang ini berperan dalam transportasi material berat di perairan dangkal. Keunggulan sebuah tongkang tersebut terletak pada kemampuannya mengangkut barang-barang dengan kapasitas yang besar seperti batu bara, kayu, nikel, pasir, dan lain-lain. Kapal ini tidak memiliki sistem kelistrikan ataupun mesin yang mempengaruhi tongkang tersebut, dan karenanya harus ditarik oleh kapal lain yaitu kapal pengangkut atau kapal tunda (Riyanto, 2020).

Maka dari itu, tongkang dibangun khusus untuk tujuan – tujuan tertentu. Bergantung pada jenisnya yang dilihat dengan fungsi dari ponton tersebut. Desainnya mungkin berbeda dengan yang lain. Jenis konstruksi yang dipakai pada tongkang adalah sistem konstruksi memanjang, tetapi ada juga yang memakai konstruksi campuran yaitu memanjang dan melintang. Dimana konstruksi melintang dipakai pada daerah *After Peak Tank* dan *Fore Peak Tank* saja, sedangkan untuk konstruksi memanjang dipakai pada area muatan seperti *Side board*. Bagian tongkang yang berfungsi sebagai penahan beban muatan dan mempunyai tumpuan utama yaitu *stanchion* yang umumnya jarak antar *stanchion* sama dengan jarak satu *transverse*, yaitu 1.830 mm dinamakan *Side board*.



Sumber : ktushipyard

Gambar 2. 1 Kapal Tongkang

## 2.2 NDT (*Non Destructive Test*)

Pengujian ini dikenal juga sebagai pengujian *non-destruktif*. Sesuai namanya, metode ini dilakukan tanpa merusak material saat memeriksa objek. Tujuan pengujian NDT adalah untuk mengidentifikasi cacat pada suatu objek menggunakan prosedur tertentu yang dilakukan oleh seorang operator. Hasil dari pengujian ini akan menentukan apakah suatu komponen perlu diganti atau tidak, berdasarkan jumlah cacat yang ditemukan sesuai dengan standar yang berlaku. Pengujian *non-destruktif* (NDT) memiliki berbagai metode, dan tidak ada metode yang bisa dianggap paling unggul secara mutlak, karena setiap metode memiliki kelebihan yang unik dan tidak dimiliki oleh metode lainnya. Beberapa jenis NDT yang sering digunakan pada dunia perkapalan yaitu : *Visual Test, Radiography Test, Ultrasonic Test, Liquid Penetrant Test, Magnetic Particle Test, Thickness Measurement* (Endramawan, 2017).

### 2.2.1 *Liquid Penetrant Test*

Metode *Liquid Penetrant Test* adalah salah satu metode NDT yang paling dasar. Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi cacat pada permukaan terbuka dari komponen padat, baik yang terbuat dari logam maupun bahan non- logam seperti keramik dan plastik serat. Dengan menggunakan metode ini, cacat pada material akan terlihat lebih jelas.

Uji *penetrant* ini juga diterapkan dalam industri penerbangan untuk pemeliharaan rutin dalam pemeriksaan komponen-komponen pesawat. Proses ini mencakup prosedur pengujian, persiapan permukaan komponen, perlindungan komponen selama pengujian, serta semua aspek yang berkaitan dengan pelaksanaan uji *penetrant* (Endramawan, 2017).



Sumber : Dokumentasi Pribadi

Gambar 2. 2 Cairan *Penetrant Test*

### 2.2.2 *Visual Test*

Pemeriksaan *visual* adalah metode NDT yang paling sering digunakan. Jenis pengujian ini mudah dilakukan karena melibatkan inspeksi menyeluruh pada spesimen atau material untuk mendeteksi cacat yang dapat terlihat langsung dengan mata. Ini adalah proses melihat hasil pengelasan menggunakan mata telanjang atau secara kasat mata untuk mencari cacat las (Jokosisworo, 2021).

Hal ini tidak memerlukan peralatan khusus kecuali mata telanjang dan ketelitian dari seorang inspektur yang sudah berpengalaman atau terlatih di bidang inspeksi. Pengujian amatan (*Visual Examinations*) akan memberikan hasil yang optimal jika *Welding Inspector* memiliki pengetahuan tentang:

- Kode, standar, dan spesifikasi, termasuk kriteria penerimaan las.
- Standar ketenagakerjaan.
- Proses pengelasan yang digunakan.
- Pelatihan pengelasan yang baik.

### 2.2.3 *Magnetic Particle Test*

*Magnetic Particle Testing* (pengujian dengan partikel magnetik) adalah metode yang umumnya digunakan untuk mendeteksi diskontinuitas di permukaan las dan dekat permukaan material. Dengan prinsip memagnetisasi bahan yang akan diuji, adanya cacat yang tegak lurus terhadap arah medan magnet akan menyebabkan kebocoran medan magnet (Jokosisworo, 2021).

Kebocoran ini menunjukkan adanya cacat pada material. Untuk mendeteksi cacat, partikel magnetik ditaburkan di permukaan. Partikel-partikel ini akan berkumpul di area kebocoran medan magnet atau tempat di mana medan magnet berbelok, sehingga menghasilkan kebocoran *fluks* magnetik. Kebocoran *fluks* magnetik ini menarik partikel *ferromagnetic* di permukaan, sehingga lokasi cacat dapat diidentifikasi. Metode ini digunakan untuk pemeriksaan terhadap:

- Retak permukaan pada semua jenis logam, baik logam dasar maupun las
- Laminasi
- Fusi yang tidak lengkap
- *Undercut*
- Retak di bawah permukaan



Sumber : Dokumentasi Pribadi

Gambar 2. 3 *Magnetic Particle Test* pada area *welding*

#### 2.2.4 *Radiography Test*

Pengujian radiografi dapat diterapkan pada berbagai jenis bahan, namun penggunaannya tergantung pada lokasi sambungan, konfigurasi sambungan, dan ketebalan bahan. Metode ini menggunakan radiasi sinar X, dan hasilnya dapat dilihat pada film negatif. Pengujian ini efektif untuk mendeteksi keretakan, fusi yang tidak lengkap, atau porositas (Jokosisworo, 2021).

Untuk identifikasi radiografi, tanda identifikasi radiografi serta dua tanda identifikasi lokasi harus ditempatkan pada baja di setiap area yang akan diuji secara radiografi. Tanda-tanda ini harus mencakup nomor atau huruf, atau keduanya, yang akan terlihat pada radiografi untuk memungkinkan pencocokan antara radiografi yang dikembangkan dan sambungan las. Informasi identifikasi tambahan harus dicetak tidak kurang dari 3/4 inci (20 mm) dari tepi las atau harus ditandai pada radiograf dengan penempatan tokoh utama pada baja. Informasi yang diperlukan pada radiograf meliputi identifikasi kontrak pemilik, inisial perusahaan RT, inisial fabrikator, nomor pesanan pabrik, tanda identifikasi radiografi, tanggal, dan nomor perbaikan las jika ada.



Sumber : Dokumentasi Pribadi

Gambar 2. 4 *Radiography Test* menggunakan sinar gamma ray



Sumber : Dokumentasi Pribadi

Gambar 2. 5 Film hasil pengujian *Radiography Test*

### 2.2.5 *Ultrasonic Testing*

Pengujian ultrasonik dapat diterapkan pada hampir semua jenis bahan, menggunakan gelombang suara frekuensi tinggi yang tidak terdengar oleh manusia. Dengan menggunakan teknik *pulse echo*, sebuah *transduser* mentransmisikan gelombang suara frekuensi tinggi melalui bahan, dan pantulan suara tersebut kemudian ditangkap untuk mendeteksi *diskontinuitas* (Jokosisworo, 2021).

Gelombang *Ultrasonic* adalah gelombang mekanik seperti gelombang suara yang frekuensinya lebih besar dari 20 kHz. Gelombang ini dapat dihasilkan dari *probe* yang berdasarkan perubahan energi listrik menjadi energi mekanik. Sebaliknya *probe* juga dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Selama perambatannya di dalam material, gelombang ini dipengaruhi oleh sifat- sifat bahan yang dilalui, misalnya masa jenis, homogenitas, besar butiran, kekerasan dan sebagainya. Sehingga gelombang ini dapat dipakai untuk mengetahui jenis bahan, tebal dan ada tidaknya cacat di dalam bahan tersebut. Gelombang *Ultrasonic* dapat dipantulkan dan dibiaskan oleh permukaan batas antara dua bahan yang berbeda.



Sumber : Dokumentasi Pribadi

Gambar 2. 6 Alat *Ultrasonic Test*

### 2.2.6 *Vibration Test*

*Vibration Test* adalah metode perawatan mesin yang efektif dengan menganalisis karakteristik sinyal getaran horizontal dan vertikal untuk mengetahui kondisi atau kerusakan pada mesin tanpa perlu menghentikan atau melepasnya. Untuk melakukan *vibration test*, diperlukan alat analisis getaran yang dapat mengukur amplitudo dan frekuensi getaran (Prawira, 2019) . Dalam studi kasus mengenai getaran mesin, faktor utama yang dominan adalah getaran yang disebabkan oleh gaya eksitasi yang berasal dari mesin itu sendiri, meliputi:

- Ketidakseimbangan, baik statis maupun dinamis, pada mesin.
- Kerusakan atau cacat pada elemen-elemen rotasi, seperti *bearing* yang rusak atau *impeller* yang macet.
- Tidak sempurnaan pada bagian atau fungsi mesin.

Mesin idealnya tidak bergetar karena seluruh energi yang diterimanya digunakan sepenuhnya untuk operasional mesin tersebut. Mesin yang dirancang dengan baik akan memiliki getaran yang relatif rendah. Namun, seiring dengan waktu pemakaian, tingkat getaran bisa meningkat karena beberapa faktor, seperti:

- Keausan pada elemen mesin.
- Proses pemantapan pondasi (*base plate*) yang dapat menyebabkan deformasi dan mengakibatkan misalignment pada poros.

- Perubahan perilaku dinamis mesin yang menyebabkan perubahan frekuensi getaran.

Analisis ciri mekanik memungkinkan penggunaan sinyal getaran untuk mengevaluasi kondisi mesin tanpa perlu membongkarnya atau menghentikannya. Dengan melakukan analisis getaran secara berkala, kita dapat mendeteksi anomali sebelum kerusakan yang lebih besar terjadi, memungkinkan perbaikan yang lebih cepat dan efektif.



Sumber : Dokumentasi Pribadi

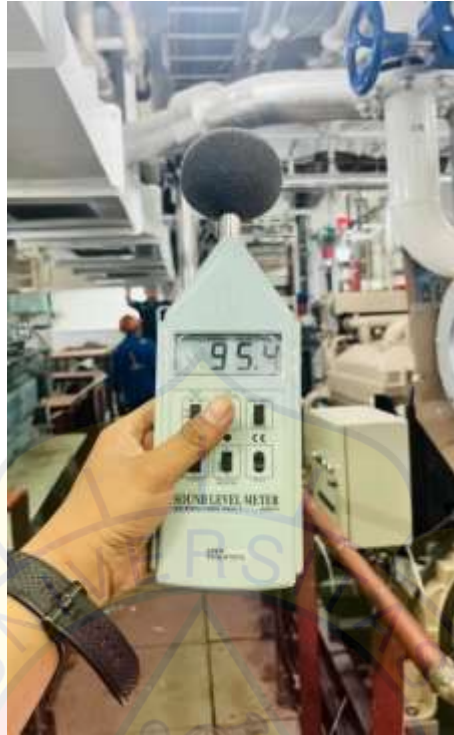
Gambar 2. 7 *Vibration Test*

### **2.2.7 *Sound Level Meter* atau *Noise Test***

*Sound Level Meter*, yang juga dikenal sebagai *decibel meter* atau *noise meter*, adalah alat yang digunakan untuk mengukur tingkat kebisingan di suatu lingkungan. Dalam kehidupan sehari-hari, kita sering terpapar berbagai suara, baik dari lingkungan sekitar maupun dari perangkat elektronik yang kita gunakan. Namun, paparan berlebihan terhadap suara yang keras dapat berdampak negatif pada kesehatan kita (Faisal, 2019).

*Sound Level Meter* adalah perangkat yang berfungsi untuk mengukur tingkat kebisingan suara dalam satuan *desibel* (dB). Alat ini beroperasi dengan mendeteksi tekanan suara dan mengubahnya menjadi angka *desibel* yang bisa dibaca dan dipahami. Secara teknis, *sound level meter* menggunakan mikrofon untuk mengubah getaran suara menjadi sinyal listrik, yang kemudian diolah untuk menghasilkan nilai *desibel*. Dengan menggunakan alat ini, kita

bisa mengetahui seberapa keras suara di berbagai lingkungan, seperti tempat kerja, rumah, atau area publik.



Sumber : Dokumentasi Pribadi

Gambar 2. 8 *Sound Meter* atau *Noise Test*

### 2.2.8 *Vacuum Test*

*Vacuum box leak testing* digunakan untuk memeriksa kualitas pengelasan dengan mendeteksi kemungkinan kebocoran. Ini adalah salah satu metode NDT (*Non-Destructive Testing*) yang aman dan sering digunakan, terutama berdasarkan rekomendasi standar pekerjaan terkait, seperti pada NDT dan *hydrostatic test*. Biasanya, metode ini diterapkan dalam pekerjaan di industri perkapalan dan industri pertambangan serta minyak dan gas.

Prinsip dasar uji vakum berlandaskan pada konsep tekanan *diferensial*. Dengan menciptakan vakum, tekanan di sekitar objek uji menjadi lebih rendah dibandingkan dengan tekanan di dalam objek tersebut. Jika terdapat kebocoran atau cacat pada material, perbedaan tekanan ini akan menyebabkan udara atau gas mengalir dari area dengan tekanan tinggi di dalam objek ke area dengan tekanan rendah di luar. Aliran udara atau gas ini dapat dideteksi secara visual menggunakan *penetrant* cair, yang mengungkapkan lokasi dan ukuran cacat.



Sumber : Dokumentasi Pribadi

Gambar 2. 9 *Vacuum Test*

### 2.3 DT (*Destructive Test*)

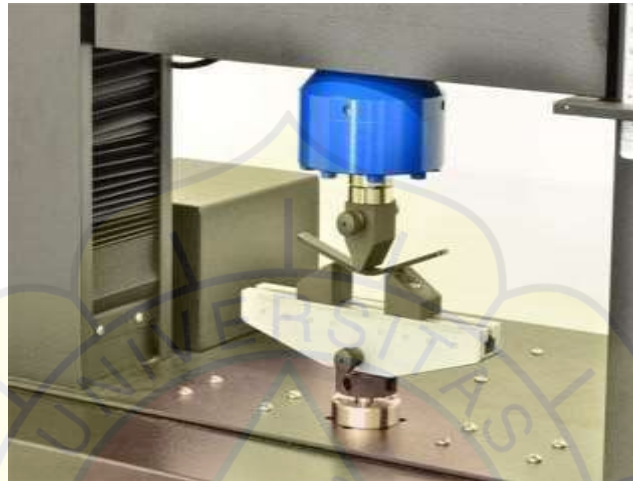
Pengujian merusak (*Destructive Test*) adalah metode yang melibatkan perubahan atau penghancuran material untuk menganalisis titik kegagalannya. Pengujian merusak, atau *destructive test*, dilakukan sebelum komponen diproduksi dalam jumlah besar atau digunakan secara nyata, untuk memahami bagaimana komponen tersebut akan bereaksi terhadap berbagai jenis tekanan. Metode ini membantu dalam mengetahui sifat-sifat bahan atau material yang akan digunakan, seperti besi, *stainless steel*, beton, *aluminium*, baja, kayu, serta berbagai bahan paduan lainnya (Gusthia, 2023).

#### 2.3.1 *Bending Test* (Pengujian Bengkok)

Pengujian tekuk pada material logam bertujuan untuk menilai kekuatan lentur bahan tersebut. Metode ini dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas sambungan las secara visual setelah dilakukan pembebanan tekuk. Berdasarkan posisi pengambilan spesimen, pengujian tekuk dibagi menjadi dua jenis: uji tekuk melintang (*transversal bending test*) dan uji tekuk memanjang (*longitudinal bending test*).

Spesimen yang digunakan untuk uji tekuk melintang adalah bagian dari spesimen yang tegak lurus terhadap arah pengelasan. Berdasarkan lokasi pengamatan dan pembebanan, uji tekuk melintang dibagi menjadi tiga kategori, yaitu :

- *Face Bend* yaitu uji tekuk di mana permukaan hasil las mengalami tegangan tarik dan akar las mengalami tegangan tekan.
- *Root Bend* yaitu uji tekuk di mana permukaan hasil las mengalami tegangan tekan dan akar las mengalami tegangan tarik.
- *Side Bend* yaitu uji tekuk yang dilakukan pada material dengan ketebalan lebih dari 3/8 inci.



Sumber : Sunlabtech

Gambar 2. 10 *Bending Test*

### 2.3.2 *Impact Test (Pengujian Takik)*

Uji *impact* dilakukan untuk mengukur kekuatan material dengan menggunakan metode uji *impact* yang umum digunakan di industri, seperti uji *impact Charpy* dan uji *impact Izod*. Prinsip dasar pengujian ini melibatkan penyerapan energi potensial dari beban yang diayunkan dari ketinggian tertentu untuk menumbuk material uji, sehingga menyebabkan deformasi (Hakim, 2020).

- Uji *Charpy* berupa benda uji yang diletakkan secara mendatar dan ditahan pada sisi kiri dan kanan. Kemudian, benda tersebut dipukul di bagian belakang takikan yang terletak di tengah, dengan takikan menghadap ke arah pukulan.
- Uji *Izod* berupa benda uji yang dijepit pada satu ujungnya dalam posisi tegak. Selanjutnya, benda tersebut dipukul dari sisi depan pada ujung yang berlawanan.

Macam-Macam Patahan :

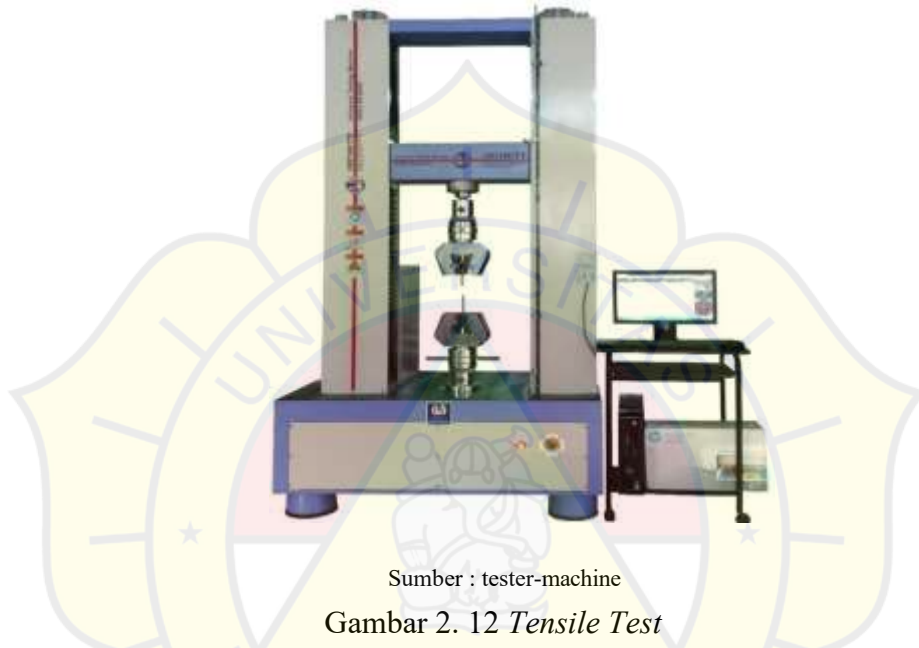
- Patahan Getas yaitu patahan yang terjadi pada bahan yang bersifat getas, seperti besi tuang.
- Patahan Liat yaitu patahan yang terjadi pada bahan yang lunak, seperti baja lunak atau tembaga.
- Patahan Campuran yaitu patahan yang terjadi pada bahan yang cukup kuat namun masih ulet.



### 2.3.3 *Tensile Test* (Pengujian Tarik)

Pengujian kekuatan pada sambungan logam yang terbentuk dari proses pengelasan dapat dilakukan dengan menggunakan metode pengujian yang merusak dan non-merusak. Pengujian merusak dilakukan melalui pengujian mekanik untuk mengevaluasi kekuatan sambungan logam hasil pengelasan. Salah satu metode yang umum digunakan adalah uji tarik yang sesuai dengan standar yang berlaku. Faktor-faktor seperti sifat-sifat logam dasar, daerah *Heat Affected Zone* (HAZ), sifat logam cairan, serta geometri dan distribusi tegangan dalam sambungan, semuanya mempengaruhi kekuatan tarik dari sambungan las tersebut. (Hakim, 2020). HAZ adalah area di antara sambungan las atau area yang telah dipotong dengan logam induk yang tidak terpengaruh oleh panas. Untuk melakukan pengujian tarik, diperlukan spesimen uji yang dibuat menjadi batang tarik dengan ukuran standar. Pengujian tarik adalah salah

satu metode yang umum digunakan untuk memahami sifat mekanik suatu material. Secara praktis, pengujian tarik dilakukan dengan memasang kedua ujung spesimen uji pada rangka beban uji tarik. Mesin uji tarik (*Universal Testing Machine*) kemudian memberikan gaya tarik pada spesimen uji, yang menyebabkan pemanjangan hingga terjadi patah. Selama proses pengujian, beban diterapkan secara bertahap pada spesimen uji hingga mencapai titik patah (Zakki, 2017).



Sumber : tester-machine

Gambar 2. 12 *Tensile Test*

Mesin *universal testing machine* dapat digunakan untuk melakukan pengujian tarik pada material. Spesimen uji dijepit pada mesin uji tarik, kemudian beban statis ditingkatkan secara bertahap sampai spesimen pecah. *Plotter* digunakan untuk merekam hubungan langsung antara beban yang diterapkan dan perpanjangan spesimen, menghasilkan grafik tegangan-regangan. Data yang diperoleh termasuk nilai tegangan luluh, *ultimate*, dan modulus *elastisitas*, yang penting untuk mengevaluasi kekuatan sambungan las dalam pengujian tarik.

### 2.3.4 *Compressed Test* (Pengujian Tekan)

Dalam uji tekan, umumnya kekuatan tekan material lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan tariknya. Selama pengujian, material akan mengalami kerusakan saat ditekan. Proses pengujian dilakukan dengan meletakkan material di atas landasan dan kemudian memberikan tekanan dari atas. Baru-baru ini, bahan keramik yang terbuat dari silica telah ditemukan sebagai landasan yang efektif dan memberikan hasil yang baik (Hakim, 2020).



Sumber : alat uji

Gambar 2. 13 Pengujian Tekan

### 2.3.5 *Hardness Test* (Pengujian Kekerasan)

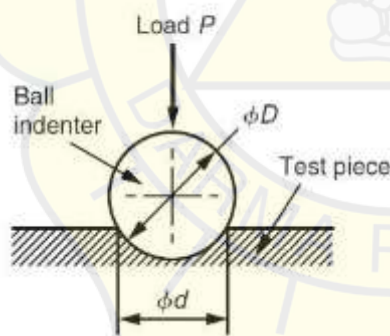
Pengujian *hardness* merupakan suatu bahan merujuk pada kemampuan material untuk menanggung beban tanpa mendapati *deformasi plastis*, yang melibatkan ketahanan terhadap indentasi, *resistensi* terhadap penggoresan, ketahanan terhadap aus, serta daya tahan terhadap pengikisan (abrasi). Sifat mekanik yang paling signifikan adalah kekerasan suatu bahan, karena kekerasan dapat memberikan informasi tentang sifat-sifat mekanik lainnya, termasuk kekuatan (*strenght*). Bahkan, informasi tentang kekerasan suatu material dapat digunakan untuk menentukan nilai kekuatan tariknya. Beberapa teknik pengujian kekerasan yang dilakukan guna mengevaluasi kekerasan pada logam (Hakim, 2020).

### 2.3.5.1 Metode Pengujian Kekerasan *Brinell*

Kekerasan *Brinell* memiliki pengertian yakni unit pengukuran yang dapat mengidentifikasi kekerasan pada suatu material. Cara pengukuran ini yakni bola logam keras akan diletakkan pada sebuah material, untuk dapat menentukan kekerasan. Beban ini dilakukan selama retan waktu 30 detik serta diameter lekukan akan diukur menggunakan mikroskop, saat beban akan dihilangkan. Pada permukaan logam akan diuji harus bersih, rata, dan halus dari debu dan karat.

Metode pengujian ini memiliki rentang beban uji hingga 3000 kgf, yang berarti dapat digunakan untuk pengujian kekerasan pada beban rendah hingga rentang makro (rentang konvensional). Indentor yang digunakan berbentuk bola dari *tungsten karbida* dengan diameter 1, 2,5, 5, atau 10 mm. Keunggulan dari pengujian kekerasan *Brinell* ini termasuk kemampuannya untuk menguji bahan-bahan *non-homogen*, fleksibilitas dalam memilih berbagai gaya uji dan diameter bola untuk berbagai aplikasi, serta kesederhanaan dalam proses pengujian (Filho, 2020).

#### Brinell Hardness



Sumber : yanthrist & Dokumentasi Pribadi

Gambar 2. 14 Pengujian Kekerasan *Brinell*

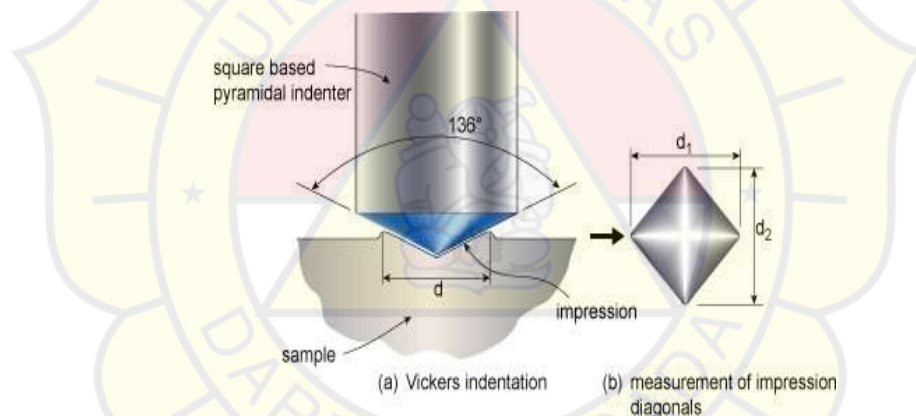
### 2.3.5.2 Metode Pengujian Kekerasan *Vickers*

Metode *Vickers* untuk menguji kekerasan material dilakukan dengan cara mendorong sebuah indentor berbentuk piramida dengan alas segi empat dan sudut besar 136 derajat ke permukaan material atau spesimen uji. Tekanan indentor ini menghasilkan jejak atau lekukan pada material uji. Untuk menentukan kekerasan material, diagonal rata-rata dari jejak ini

diukur menggunakan mikroskop. Semakin besar lekukan yang dihasilkan oleh indentor pada permukaan benda uji menunjukkan bahwa bahan tersebut lebih lembut.

Angka kekerasan *Vickers* dihitung dengan membagi beban uji yang diterapkan dengan luas permukaan jejak yang dihasilkan. Salah satu kekurangan dari metode kekerasan *Vickers* adalah perlunya kualitas permukaan bahan uji yang baik, karena jejaknya diukur secara optik. Karena evaluasinya memerlukan sistem optik, peralatan untuk pengujian kekerasan *Vickers* cenderung mahal.

Namun, kelebihan dari metode kekerasan *Vickers* adalah kemampuannya untuk digunakan pada berbagai jenis bahan dan benda uji, baik yang lunak maupun yang keras, karena prosedurnya mencakup seluruh rentang kekerasan material (Filho, 2020).



Sumber : yanthrist

Gambar 2. 15 Pengujian Kekerasan *Vickers*

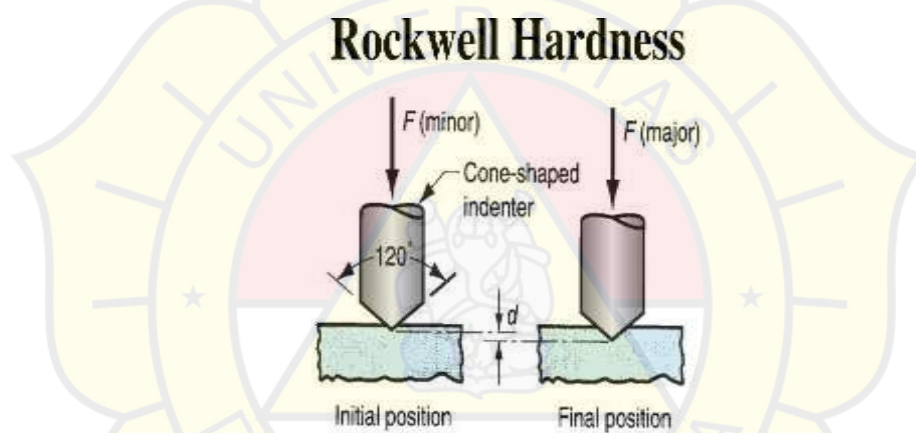
### 2.3.5.3 Metode Pengujian Kekerasan *Rockwell*

Pengujian kekerasan *Rockwell* dilakukan dengan cara menekan permukaan benda uji menggunakan indentor. Indentor ini menerapkan beban pendahuluan (beban *minor*), kemudian dilanjutkan dengan beban utama (beban *major*). Setelah itu, beban *major* dilepaskan sementara beban *minor* tetap dipertahankan. Pengujian ini telah berkembang dengan penggunaan teknologi digital di alat-alat pengujian *Rockwell Hardness*.

Metode ini banyak digunakan karena sederhana, cepat, tidak memerlukan mikroskop untuk mengukur jejak perubahan, dan tidak merusak

benda uji. Dalam pengujian *Rockwell*, kekerasan diukur berdasarkan kedalaman *diferensial*, yaitu kedalaman sisa indentasi yang dibuat oleh indenter. Semakin dalam indenter menembus permukaan benda uji pada gaya uji yang ditentukan, semakin lembut bahan yang diuji.

Dalam pengujian kekerasan *Rockwell*, kedalaman sisa indentasi yang dibuat oleh indenter diukur untuk menentukan kekerasan material. Semakin dalam indenter menembus permukaan benda uji pada beban uji tertentu, semakin lembut bahan yang diuji. Indenter yang digunakan dapat berupa kerucut berlian dengan sudut 120 derajat atau bola logam keras dengan diameter yang bervariasi tergantung pada metode *Rockwell* yang digunakan (Filho, 2020).



Sumber : yanthrist

Gambar 2. 16 Pengujian Kekerasan *Rockwell*

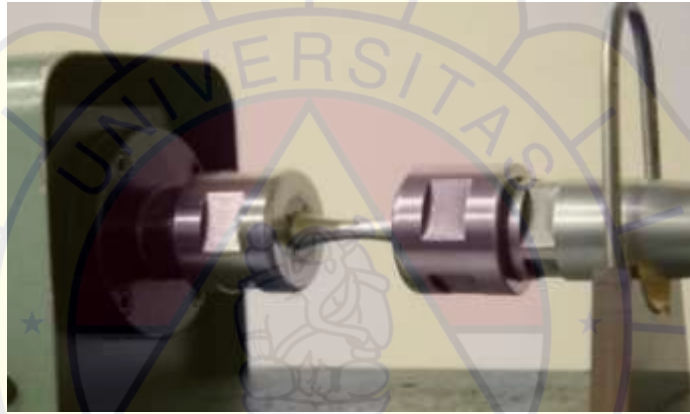
### 2.3.6 *Fatigue* (Pengujian Kelelahan)

Proses ini melibatkan material atau komponen yang mengalami beban yang berulang atau siklus beban, yang dapat menyebabkan perubahan pada struktur atau kegagalan material tersebut. Tujuannya adalah untuk mengetahui sejauh mana material tersebut mampu bertahan dalam kondisi penggunaan yang berulang (Gusthia, 2023).

*Fatigue* adalah jenis kegagalan yang terjadi pada struktur material akibat beban berulang yang *fluktuatif*, meskipun tetap berada di bawah batas kekuatan material (*yield strength*). Kegagalan ini berkembang secara bertahap, dimulai dari area permukaan material yang lemah dan kemudian menyebar ke bagian dalam hingga merusak keseluruhan material seiring waktu.

Kegagalan *fatigue* bisa terjadi secara mendadak atau *catastrofik* tanpa adanya deformasi plastis yang tampak. Oleh karena itu, uji *fatigue* digunakan untuk menilai ketahanan material terhadap kerusakan akibat kelelahan. Proses pengujian ini umumnya terdiri dari dua tahap: memulai retakan dan memantau perkembangan retakan hingga terjadi kerusakan total.

Durasi kelelahan dapat dipantau dari munculnya retakan pertama hingga proses kelelahan sepenuhnya terdeteksi melalui pemeriksaan. Contoh aplikasi uji *fatigue* termasuk poros mesin, roda gigi, atau poros sumbu yang berputar. Sementara itu, struktur berukuran besar seperti kapal, jembatan, atau pesawat terbang sering mengalami kerusakan sebelum retakan menjadi jelas terlihat (Hakim, 2020).



Sumber : alatuji

Gambar 2. 17 Pengujian *Fatigue*

## 2.4 Pengelasan

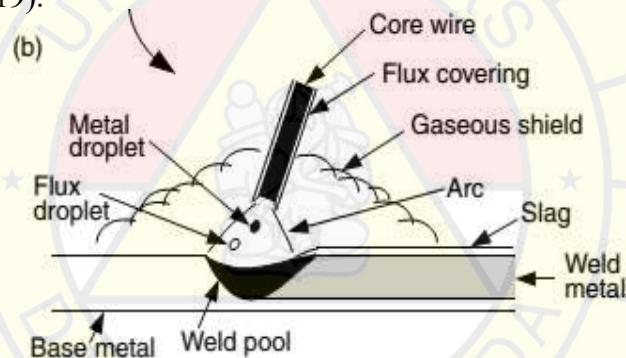
Pada tindakan ini merupakan teknik penyambungan pelat melalui meleburkan logam pengisi dan induk logam tanpa tambahan logam agar dapat membentuk secara kontinyu. Saat pengelasan, teori juga tetap digunakan agar saat melakukannya tidak terjadi kesalahan dan harus memahami cara pengelasan dengan baik. Saat melakukan pengelasan, terdapat tiga area yang signifikan, yaitu zona yang terpengaruh panas (*Heat Affected Zone/HAZ*), dan logam yang dilebur selama proses pengelasan disebut sebagai logam lasan (Suwahyo, 2020).

*Heat Affected Zone* merupakan logam dasar dimana posisinya terletak di sebelah logam las, saat melakukan pengelasan logam akan mengalami siklus yang dinamakan siklus termal dan cepat mengalami pendinginan. Logam yang tidak terpengaruh yaitu bagian dasar dikarenakan bagian tersebut tidak terkena panas

yang tidak menyebabkan terjadinya perubahan sifat maupun struktur. Dalam siklus ini akan mengalami proses pemanasan maupun pendinginan pada daerah tertentu yang terkena lasan. Siklus ini juga mempengaruhi kualitas pada sambungan bergantung lama pendinginan (Nursyahid, 2019).

#### 2.4.1 Proses Pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

SMAW merupakan metode las dari busur listrik untuk menyambungkan pelat yang terpisah dengan membakar elektroda yang telah dilindungi oleh *flux*. Bagian ujung logam las cair, elektroda, busur, serta daerah yang saling berdekatan akan dilindungi dari atmosfer melalui gas udara dari pembakaran pelindung lapisan elektroda. Logam cair *flux* atau *slag* yang terbentuk melindungi cairan logam las dengan memberikan perlindungan tambahan. Serbuk besi yang dihasilkan berasal dari kawat elektroda yang telah dibakar saat proses pengelasan dimana serbuk tersebut merupakan pelindung dari elektroda (Ahmadi, 2019).



Sumber : (Budiarto, 2022)

Gambar 2. 18 Proses Pengelasan SMAW

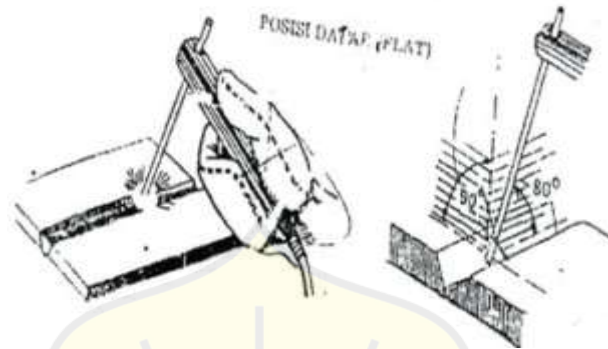
#### 2.4.2 Posisi Pengelasan

Posisi pengelasan, atau juga dikenal sebagai sikap pengelasan, adalah penyesuaian posisi dan arah gerakan elektroda saat melakukan pengelasan. Terdapat empat macam posisi pengelasan yang umum digunakan, yaitu sebagai berikut:

##### A. Posisi Pengelasan (1G)

Posisi 1G merupakan posisi datar yang mudah dan mengelasnya dengan mudah. Saat melakukan pengelasan terdapat bagian akar las yang ketika dilas menggunakan kawat yang berdiameter 2,6 mm menggunakan arus sekitar 50 - 65 *Ampere*. Jika ingin mendapatkan hasil sambungan yang baik, maka

bersihkan dulu bagian ujung las dengan menggunakan gerinda setiap selesai satu elektroda. Pada pengelasan kedua menggunakan kawat las 3,2 mm, namun untuk sudutnya menggunakan 55 – 70 derajat dengan arus sekitar 90 – 110 *Ampere* (Budiarto, 2022).

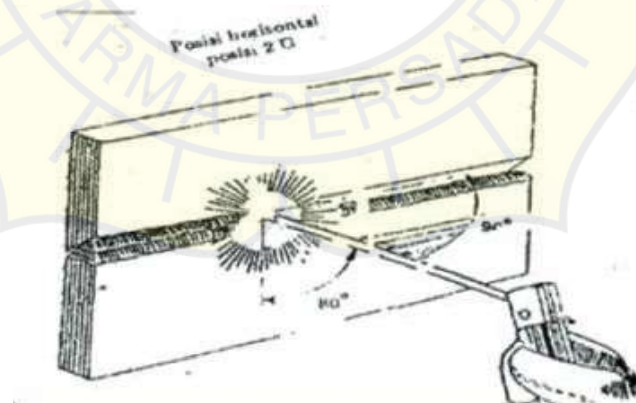


Sumber : (Budiarto, 2022)

Gambar 2. 19 Posisi 1G

#### B. Posisi Pengelasan (2G)

Posisi 2G yaitu material tegak dan pengelasannya secara *horizontal*. ukuran pada elektroda sangat berpengaruh pada pengelasan sama dengan posisi pengelasan 1G, yang mempengaruhi perbedaan yaitu pada saat melakukan pengisian dan *finishing*. Posisi juga dapat mempengaruhi kecepatan yang bertujuan agar logam las tidak meluber (Budiarto, 2022).

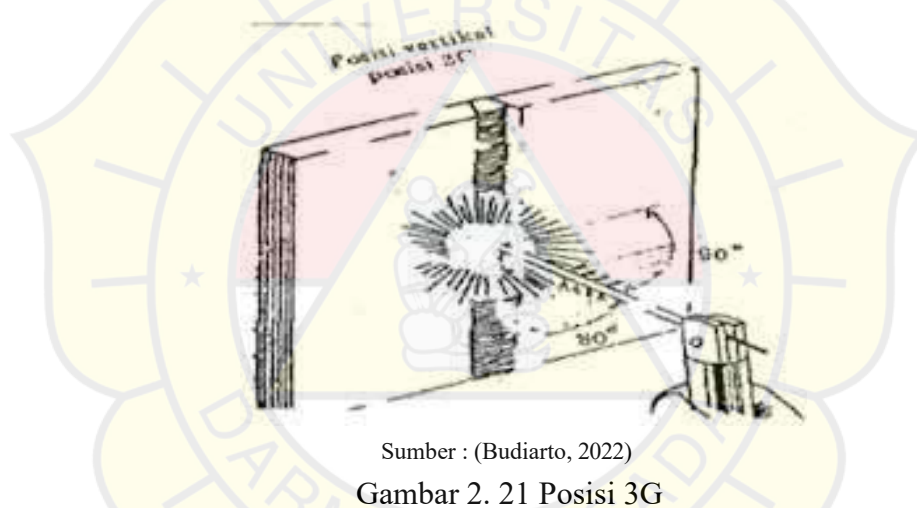


Sumber : (Budiarto, 2022)

Gambar 2. 20 Posisi 2G

### C. Posisi Pengelasan (3G)

Posisi 3G dilakukan dengan posisi material tegak dan pengelasannya secara *vertical*. Posisi ini lebih sering digunakan oleh *welder* yang sedang melakukan sertifikasi, para *welder* yang telah memiliki sertifikasi maka terbiasa dengan pengelasan posisi 1G dan 2G. Cara melakukan posisi 3G dengan mencodongkan kebawah elektroda dengan posisi 70 – 80 derajat, untuk posisi tangan gunakan ayunan zig-zag seperti huruf U agar penetrasi mendapatkan hasil yang maksimal. Saat selesai proses pengelasan lebih baik bersihkan permukaan las menggunakan gerinda agar bagian ujung lebih landai, sehingga saat dilakukan kembali pengelasan penyambungan hasilnya tidak terlalu tinggi dan lebih baik (Budiarto, 2022).

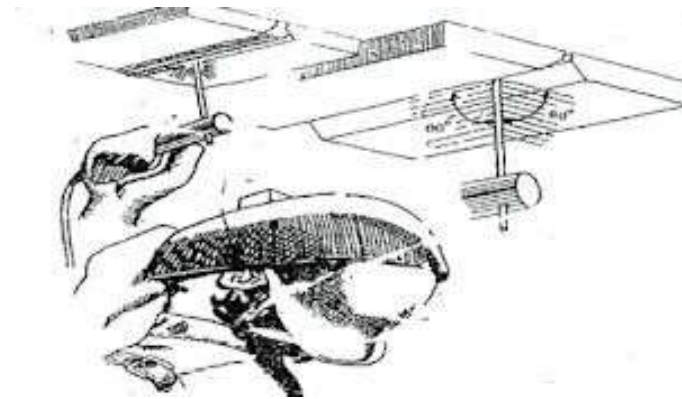


Sumber : (Budiarto, 2022)

Gambar 2. 21 Posisi 3G

### D. Posisi Pengelasan (4G)

Posisi 4G cara mengelasnya berbeda dengan posisi sebelumnya dimana posisi tersebut berada diatas kepala. Ketika melakukan pengelasan, anda harus sudah menggunakan helm dan kaca mata las. Dalam pengelasan di posisi ini tetap harus memperhatikan pergerakan tangan dengan menggoyangkan maupun tangan memutar secara perlahan, yang bertujuan agar cairan tersebut dapat menutup bagian yang telah dilas, jika ingin mendapatkan hasil yang baik maka lebih baik bersihkan dengan palu serta sikat baja (Budiarto, 2022).



Sumber : (Budiarto, 2022)

Gambar 2. 22 Posisi 4G

### 2.4.3 Kodefikasi Elektroda

Menurut standar AWS (Spesifikasi untuk Elektroda Baja Karbon untuk Pengelasan dengan Metode Pelindung Logam dengan Busur Listrik), terdapat beberapa jenis elektroda yang digunakan untuk pengelasan. Tabel berikut menggambarkan spesifikasi elektroda baja karbon berdasarkan jenis lapisan fluksnya, jenis arus listrik yang digunakan, posisi pengelasan yang direkomendasikan, dan polaritas pengelasan (Society, 2020) :

Tabel 2. 1 Kodefikasi Elektroda

Klasifikasi AWS-ASTM	Jenis Fluks	Posisi Pengelasan	Jenis Listrik	Kekuatan Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )
Kekuatan Tarik Terendah Kelompok E7014 Setelah Dilaksanakan Adalah 70.000 Psi Atau 49.2 Kg/Mm2				
E7014	Serbuk besi, titanium	F,V,OH,H	AC atau DC polaritas ganda	50.6
E7015	Natrium hidrogen rendah	F,V,OH,H	DC polaritas balik	50.6
E7016	Kalium hidrogen rendah	F,V,OH,H	AC atau DC polaritas balik	50.6
E7018	Serbuk besi, hidrogen rendah	F,V,OH,H	AC atau DC polaritas balik	50.6

E7024	Serbuk besi, titanium	H-S,F	AC atau DC polaritas ganda	50.6
E7028	Serbuk besi, hidrogen rendah	H-S,F	AC atau DC polaritas balik	50.6

Klasifikasi elektroda yang digunakan dalam pengelasan sesuai dengan tabel di atas adalah E7014, sesuai dengan standar AWS D1.1 tahun 2020.

- E : Elektroda busur listrik
- 70 : Kekuatan tarik minimumnya sebesar 70.000 Psi (*Pound Square Inch*)
- 1 : Posisi pengelasan untuk semua posisi
- 4 : Dapat dipakai pada arus bolak – balik (AC) dan arus searah (DC)

Berikut adalah arti simbol dalam posisi pengelasan pada tabel diatas,

- F : Datar (*Flat*)
- V : Menurun (*Vertical*)
- OH : Di atas Kepala (*Over Head*)
- H : Mendatar (*Horizontal*)
- H-S : *Horizontal* las Sudut

Penggunaan elektroda E7016 memungkinkan kontrol yang baik dalam proses pengelasan, menghasilkan bentuk kampuh yang baik, meskipun menggunakan arus las yang tinggi.

E7014 merupakan standarisasi yang ditetapkan oleh AWS yang dimana menjelaskan tentang spesifikasi penggunaan elektroda pengelasan. Dalam hal ini dikatakan sesuai apabila hasil las memiliki rigi yang cembung serta mengeluarkan percikan (Society, 2020).

#### 2.4.4 Mesin Las Listrik

Mesin ini digunakan oleh para *welder* maupun tukang las dalam melakukan pengelasan maupun menyambungkan material dengan bahan yang berbeda, fungsi dari mesin las ini dapat menghasilkan panas sehingga dapat melelehkan material untuk menyambungkan plat. Prinsip kerja mesin ini adalah

mengubah tegangan listrik menjadi arus listrik yang menghasilkan panas pada tingkat tertentu. Mesin ini ideal digunakan untuk proses pengelasan pada benda dengan ketebalan lebih dari 2 mm (Bhirawa, 2019).

Kelebihan mesin ini dapat mengatur penggunaan listrik sesuai dengan ketebalan objek lasnya. Selain itu juga memiliki teknologi *inverter* sehingga membuat alat ini menjadi hemat listrik. Untuk sumber listriknya bisa menggunakan genset. Namun, mesin ini memiliki kelemahan, yaitu tidak dapat digunakan di daerah yang tidak memiliki pasokan listrik tanpa menggunakan genset.



Sumber : (Suwahyo, 2020)

Gambar 2. 23 Mesin Las Listrik

#### 2.4.5 Alat Pelindung Diri untuk Pengelasan

Pada saat melakukan proses pengelasan *welder* wajib memperhatikan APD yang dipakai, dikarenakan resiko bahaya saat pengelasan sangat tinggi, salah satu bahaya proses pengelasan yakni cahaya pengelasan yang dapat merusak mata dan percikan pengelasan. Saat menggunakan APD dengan baik maka dapat meminimalisir terjadinya kecelakaan kerja (Kondo, 2020).

Berikut merupakan jenis – jenis dan pengertian APD yang digunakan saat pengelasan:

1. *Apron* atau pakaian las merupakan pakaian wajib yang digunakan *welder* saat melakukan pengelasan agar terhindar dari percikan api.
2. *Welding gloves* atau sarung tangan las yaitu sarung tangan yang ditujukan kepada *welder* saat melakukan pengelasan yang di rancang dengan kelenturan yang agar *welder* nyaman menggunakan. Tujuan menggunakan ini yakni untuk melindungi kedua tangan dari panasnya material setelah di las, dan percikan las.

3. Helm las merupakan salah satu APD yang wajib digunakan oleh para *welder* dikarenakan memiliki banyak fungsi yang melindungi mata dari cahaya saat melakukan pengelasan, kemudian helm di desain dari bahan plastik yang tahan panas serta melindungi wajah dari percikan saat melakukan semua posisi pengelasan.
4. *Safety Shoes* (sepatu las) dimana digunakan dalam melindungi kaki dari benda tajam maupun berat, seperti contohnya material jatuh dari tempatnya sehingga mengenai kaki dengan menggunakan sepatu maka kaki akan terlindungi. Selain itu, sepatu ini dapat melindungi diri dari sengatan listrik.
5. Masker las digunakan *welder* untuk melindungi pernapasan dari asap saat mengelas. Tidak hanya asap masker juga dapat melindungi dari serbuk las yang disebabkan dari material yang sudah dilas, jika tidak menggunakan masker las bias berakibat fatal yang dapat merusak paru- paru.



Sumber : (Kondo, 2020)

Gambar 2. 24 Alat Pelindung Diri Pengelasan

## 2.5 Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) – Edisi Konsolidasi 2022

Melalui peraturan pemerintah Nomor 28/1964, Biro Klasifikasi Indonesia (juga dikenal sebagai "BKI") didirikan pada tahun 1964. sebagai Badan Usaha Milik Negara (BUMN) dengan maksud yaitu untuk menghasilkan data kapal dengan akurat serta tepat, desain yang sesuai, survei, laporan masalah kapal, dan sertifikasi inspektor serta semua lingkup klasifikasi sesuai standar yang dijelaskan.

Pengukuran ketebalan dilakukan bertujuan guna menilai tingkat korosi, yang mungkin memengaruhi kekuatan penopang lambung. Pengukuran ini perlu dilaksanakan dengan teratur pada semua elemen struktural memanjang yang perlu diukur. BKI akan memberikan informasi mengenai ketebalan lambung kapal yang dibutuhkan dengan mengacu pada ketebalan pelat dan/atau bilah sesuai yang diatur dalam Peraturan Konstruksi. Sebelum proses pengukuran ketebalan dimulai, surveyor harus memastikan bahwa pemilik dan master kapal dapat mengakses informasi ini (Indonesia, 2022).

Jika pengukuran ketebalan menunjukkan adanya korosi atau pengurangan ketebalan yang melebihi batas yang diizinkan, surveyor akan menunjukkan lokasi untuk melakukan pengukuran tambahan. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi area korosi yang signifikan dan menemukan bagian struktural yang perlu diperbaiki atau diperbarui.

Terdapat standar ketetapan tebal pelat maksimum yang digunakan, antara lain: Sebagaimana diatur dalam peraturan konstruksi. Untuk ketebalan kurang dari atau sama dengan 11,5 mm, ketebalan minimum yang diizinkan adalah 1,5 mm. Sedangkan untuk ketebalan yang lebih dari 11,5 mm, ketebalan minimum yang diizinkan dihitung sebagai  $0,09 \times t + 0,45$  mm, tetapi tidak melebihi 3,0 mm. Ini merupakan batasan maksimum dari pengurangan ketebalan lokal yang diizinkan, yaitu 0,2 dari tebal original (Indonesia, 2022).

## 2.6 Material lama

Material lama adalah bahan yang telah mengalami korosi sebagai akibat dari faktor lingkungan. Ini terjadi karena korosi air laut atau faktor pengoperasian. Oleh karena itu, kapal BG. Maju Lancar 3002 ini harus diperbaiki terutama bagian *bottom* kapal dikarenakan faktor korosi pada *Frame 2 - Frame 5*. Kerusakan pada dasarnya adalah penurunan mutu sebagian atau keseluruhan kapal dibandingkan dengan kondisi awal maka dari itu harus dilaksanakan pemeliharaan dan perbaikan. Untuk mengetahui seberapa tebal pelat lama yang terkena korosi dan seberapa besar luasan pelat yang akan di *replating*, maka dilakukan UT sesuai rekomendasi dari *class*. Kemudian dilakukan *marking* pada area yang tipis dan area yang akan dipotong. Dilihat dari hasil UT (*Ultrasonic Test*) alat pengukur ketebalan pelat, berikut adalah gambar dimana pelat telah mengalami korosi dari pelat aslinya

dikarenakan pelat tidak dilapisi dengan *coating* (Budiarto, 2022).

Berdasarkan kadar karbonnya, baja dikategorikan menjadi :

- Baja karbon rendah memiliki kandungan karbon antara 0,1% hingga 0,3%.
- Baja medium memiliki kandungan karbon antara 0,3% hingga 0,85%.
- Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon antara 0,85% hingga 1,3%.

Struktur baja umumnya dipengaruhi oleh kadar karbon yang terkandung di dalamnya. Pada baja dengan karbon rendah, struktur utamanya adalah *ferit* dengan sedikit *perlit*. Sebaliknya, pada baja dengan kadar karbon tinggi, perlit menjadi komponen dominan, dengan sedikit *cementite*. Untuk baja dengan kadar karbon sedang, strukturnya terdiri dari *ferit* dan *perlit*, dengan proporsi masing-masing bergantung pada kadar karbonnya. Semakin tinggi kandungan karbon, semakin banyak *perlit* yang terdapat dalam struktur baja tersebut (Budiarto, 2022).



Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 2. 25 Pelat lama yang mengalami korosi

## 2.7 ASTM A36

Material yang dipakai dalam penelitian untuk proposal tugas akhir ini yaitu jenis bahan A36. Material ini mempunyai komposisi kimia serta karakteristik mekanik yang tertera pada tabel dibawah ini :

Tabel 2. 2 Sifat Kimia Material ASTM A36

Grade	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
A36	0,17	0,197	1.097	0.0160	0.0024	0.20	0.005	0.006

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai *Carbon Equivalent* (CE) untuk pelat ASTM A36 berketebalan 10 mm adalah 0,265%. Perhitungan *CE* (*Carbon Equivalent*) adalah metode yang digunakan untuk memprediksi kecenderungan baja untuk mengalami retak lambung atau kegagalan yang disebabkan oleh *presipitasi karbida* (Budiarto, 2022).

Tabel 2. 3 Sifat Mekanik material ASTM A36

Properties	A36
<i>Tensile strength</i> (Mpa)	400-552
<i>Yield strength</i> (Mpa)	281-301
<i>Elongation</i> (%)	31
<i>Young's modulus</i> (Gpa)	200
<i>Poisson's ratio</i>	0,32
<i>Density</i> (kg/m <sup>3</sup> )	7800
<i>Hardness, brinell</i> (HB)	119-159

Keterangan :

- *Tensile strength* merupakan uji tarik dimana beban maksimal pada material dapat ditahan hingga berakhir rusak atau patah.
- *Yield strength* adalah tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh suatu material sebelum mengalami deformasi permanen atau patah sehingga bahan tersebut akan mengalami deformasi permanen dan tidak dapat kembali ke dimensi aslinya.
- *Elongation* adalah sebuah pengujian mekanikal pemanjangan suatu benda dan bukan elastisitas.
- *Young's modulus* adalah ukuran kemampuan suatu material untuk menahan perubahan panjangnya saat diberi tegangan atau kompresi.
- *Poisson's ratio* adalah rasio perbandingan antara regangan lateral terhadap regangan *longitudinal* dalam suatu material yang terjadi seiring dengan pemberian gaya.
- *Density* adalah pengukuran massa tiap satuan volume benda.
- *Hardness brinell* merupakan pengujian NDT yang memiliki fungsi untuk menentukan kekerasan pada sebuah material yang akan diuji.

## 2.8 Sifat Mekanik

Sifat mekanik merupakan aspek terpenting, karena mengindikasikan keahlian suatu bahan atau komponen mengalami tekanan, gaya, atau energi tanpa menyebabkan kerusakan terhadap bahan atau komponen tersebut. Sifat logam didapati melalui pelaksanaan uji pada material logam tersebut. Pengujian umumnya dilaksanakan pada spesimen atau batang uji yang memiliki bentuk serta ukuran standar, begitu pula dengan prosedur pengujian yang diterapkan. Seringkali, ketika suatu materi memiliki keunggulan dalam sifat mekanik namun kurang memadai dalam aspek lain, langkah diambil guna mengatasi kekurangan tersebut melalui berbagai metode (Sholeh, 2020). Terdapat sifat mekanik yang signifikan termasuk dalam hal ini antara lain.

- A. Kekuatan adalah kemampuan suatu bahan guna menahan tegangan tanpa membuatnya patah atau rusak. Terdapat berbagai jenis kekuatan ini, yang bergantung pada tipe bahan yang sedang beraksi, seperti kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan torsi, dan kekuatan lengkung (Naharuddin, 2019).
- B. Kekerasan (*hardness test*) merupakan uji kekerasan yang memiliki kemampuan dalam menahan goresan, indentasi, pengikisan (abrasi), dan penetrasi. Uji kekerasan ini memiliki sifat *wear resistance* (tahan aus) (Hakim, 2020).