

ANALISIS KEKUATAN SAMBUNGAN LAS SMAW (*SHIELDED METAL ARC WELDING*) PADA MARINE PLATE ST 42 AKIBAT FAKTOR CACAT POROSITAS DAN INCOMPLETE PENETRATION

Ir. Imam Pujo M, Ir. Sarjito J.S

Program Studi Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

ABSTRACT

At this moment, weld engineering is applied widely in tacking on joints at construction of steel building, especially at ship building. All important in weld engineering is when process tacking on weld metal with steel metal to be one unities. It mean, the strength of metal result by welded must equal to the original metal. Generally, that thing is inaccessible cause by weld defect formed. Result of survey in JMI indicates that often happened problem at weld joint part of construction of hull causing existence of fraction or crack at the division. Because, hull is main part which received many forces, in water compressive force (hydrostatic) and ship attractive force on top of wave (sagging) and or in trough of wave (hogging). Even, at the moment of ship in full cargo condition or when at dock, ship must can maintain the selfish strength.

In the research, will be checked weld defect influence incomplete penetration and porosity formed at SMAW method, evaluated from tensile and compressive strength as the application of force received by ship. from the result, indicates that tensile strength is optimum happened at the normal joint plate without heat treatment about 464, 50 Mpa, while tensile strength is lowest at joint plate condition of heat treatment 600⁰ C about 351,23 Mpa. for optimal of compressive strength happened at normal joint of plate without heat treatment about 872, 17 N/mm², while compressive strength is lowest at joint plate condition of heat treatment 300⁰ C about 684 N/mm². In this experiment, weld defect of incomplete penetration and porosity is not too effect a weld joint strength caused all to fracture happen in base metal is not it in weld joint or weld metal, however for all weld defect must be minimizes.

Keyword : SMAW method, porosity, incomplete penetration, yield strength, yield bent.

I. PENDAHULUAN

Dalam pengelasan hal yang memang menjadi perhatian lebih adalah ketika proses penyambungan logam las

dengan logam baja menjadi satu kesatuan. Yang artinya, kekuatan logam hasil las harus sama dengan logam baja yang digunakan. Umumnya, kekuatan hasil las tidak sesuai dengan yang

ditargetkan karena rentan dengan cacat las yang terbentuk. Walaupun, cacat las memang tidak direncanakan dalam proses pengelasan, aktualnya sering terjadi ketika pengelasan. Hasil survey lapangan di PT. Jasa Marina Indah Semarang menunjukkan bahwa, umumnya sering terjadi masalah pada sambungan las bagian konstruksi badan kapal, hal ini mengakibatkan adanya retakan atau pecahan pada sambungan las di bagian badan kapal. Karena memang bagian badan kapal bekerja dengan menerima banyak gaya, baik itu gaya tekan air (hidrostatis) dan gaya tarik silih berganti akibat kapal di kondisi puncak gelombang (sagging) ataupun pada kondisi dilembah gelombang (hogging). Bahkan pada saat kapal bermuatan penuh atau pada saat di dok, kapal harus dapat mempertahankan kekuatannya.

Dalam penelitian ini penulis ingin mengamati sifat fisis dan mekanis hasil sambungan las pada baja karbon rendah jenis ST 42 akibat cacat porositas dan incomplete penetration yang terbentuk dari pengelasan metode SMAW (Shield Metal Arc Welding) dengan sarana pengujian radiografi, ultrasonic test, dan pemotretan struktur mikro (metallografi), karena memang cacat porositas dan incomplete penetration sering ada pada hasil las-lasan dengan metode SMAW. Bahan baja yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah jenis ST 42, karena 90% di galangan, khususnya di PT. Jasa Marina Indah Semarang menggunakan baja karbon rendah untuk konstruksi umum.

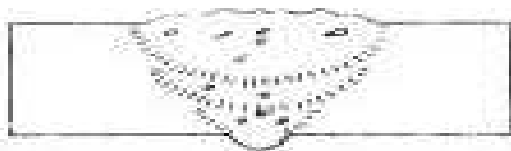
Dari pengujian tersebut akan diketahui secara fisis ukuran cacat porositas dan incomplete penetration yang terbentuk dan sifat komponen baja, sehingga dapat ditentukan mekanis besarnya pengaruh cacat porositas dan incomplete penetration terhadap kekuatan sambungan las. Penelitian ini juga dimaksudkan untuk mencari kondisi hasil sambungan las paduan baja karbon rendah ST 42 yang optimal secara mekanis dengan menentukan variabel nilai kekuatan tarik / tekuk pada sambungan las yang terindikasi cacat porositas dan incomplete penetration dengan kekuatan tarik / tekuk pada sambungan las yang normal, baik sebelum ataupun sesudah diberikan perlakuan panas (heat treatment) pada sampel uji pengelasan sebagai acuan akhir pengerjaan penelitian. Dari penelitian ini memungkinkan terwujudnya standar-standar teknik dalam pengelasan sesuai perkembangan teknologi dan menjadi bagian penting dalam masyarakat industri modern, khususnya teknologi perkapalan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Penggunaan las dalam konstruksi kapal sangat penting dan saat ini semua kapal baja menggunakan pengelasan dalam penyambungan bagian – bagiannya. Oleh karena itu, perlu adanya pengkajian dan penelitian secara terus menerus untuk memperbaiki dan mengembangkan teknik – teknik pengelasan.

A. Cacat Las

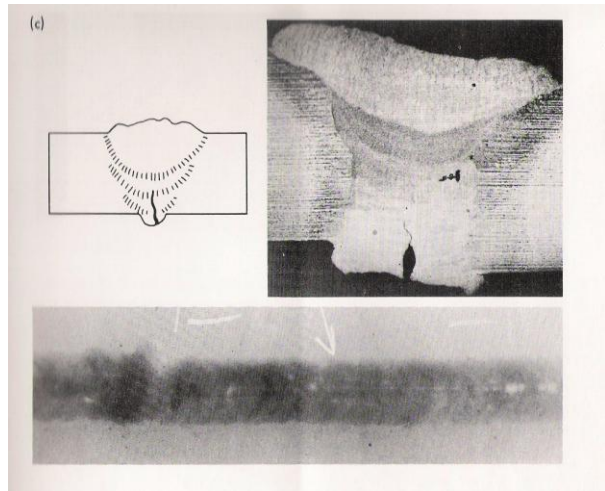
Cacat las secara aktual sering kali terjadi dalam penyambungan las, diantaranya adalah : crack (retak) yaitu cacat las yang disebabkan oleh guncangan pada waktu proses pengelasan sehingga terjadi retak pada daerah las-lasan. Crater yaitu cacat las yang disebabkan karena mengkerutnya metal las pada akhir perjalanan proses pengelasan (akibat panas las berkurang). Porosity yaitu cacat las yang disebabkan oleh udara atau gas yang terkurung oleh las, sehingga dalam las terjadi rongga-rongga besar ataupun kecil. Slag yaitu cacat las yang disebabkan karena tertinggalnya slag atau metal lain dalam las. Incomplete penetration yaitu cacat las yang disebabkan karena ketidaksempurnaan pengisian las pada kaki las. Undercut yaitu cacat las yang disebabkan karena termakannya metal induk pada waktu proses pengelasan sehingga menjadi lekukan pada kaki pinggiran metal induk. Worm hole yaitu cacat las yang disebabkan karena tertangkapnya gas pada proses pengelasan, sehingga berbentuk rongga memanjang seperti tabung. (handbook Quality control PT. JMI). Gambar cacat las dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Jenis cacat porositas



Jenis cacat incomplete penetration



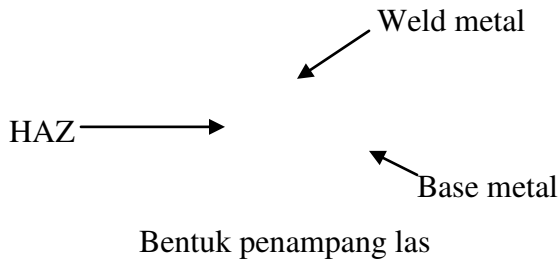
Jenis cacat crack (retak pada las)

B. Las SMAW

Pengelasan metode SMAW merupakan pengelasan dengan elektroda terbungkus, metode ini sangat banyak digunakan dalam pembangunan kapal dan reparasi kapal, disamping harga yang terjangkau, juga dikarenakan pengelasan dengan metode SMAW sangat fleksibel dalam penggunaannya. Baik itu pengelasan dengan posisi datar, horizontal, tegak (vertikal), ataupun posisi diatas kepala (overhead).

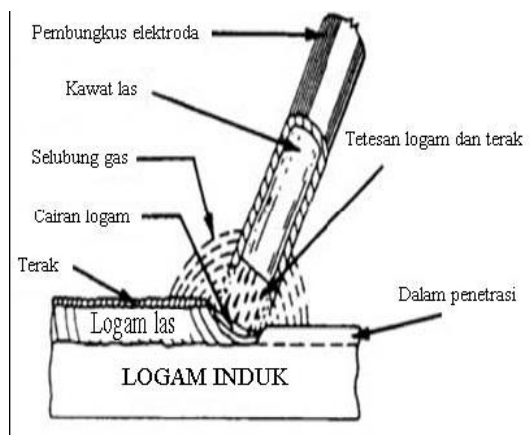
Dalam pengelasan, ada beberapa bagian bahan yang mempunyai sifat kekuatan bahan akibat proses pengelasan, diantaranya adalah : (1). Base metal (logam induk) merupakan bagian logam yang tidak mengalami perubahan struktur akibat pengelasan, (2). HAZ (Heat Affected Zone) merupakan daerah terpengaruh panas, daerah ini adalah yang paling lemah baik kekerasannya, keuletan dan tegangannya, karena struktur kristalnya banyak berubah, (3) Weld metal

(logam las) merupakan logam las yang mencair dan melebur bersama logam induk, daerah ini adalah yang paling baik kekerasan dan tegangan tarik jika dalam pelaksanaan pengelasan memenuhi standard.



Bentuk penampang las

Prinsip kerja las busur listrik elektrode terbungkus (SMAW) yaitu dimulai ketika nyala api elektrik menyentuh ujung elektrode dengan benda kerja. Dua logam yang konduktif jika dialiri listrik dengan tegangan yang relatif rendah akan menghasilkan loncatan elektron yang menimbulkan panas yang sangat tinggi, dapat mencapai 5000°C yang dapat mencairkan kedua logam tersebut. Ilustrasi pengelasan dengan elektrode terbungkus (SMAW) dapat dilihat pada gambar berikut.



Las busur elektrode terbungkus

Menurut Ir. Soeweify, M.Eng. pengelasan dengan metode SMAW (Shield Metal Arc Welding) mempunyai beberapa keuntungan, sehingga penggunaannya cukup luas, diantaranya adalah :

- Cara pengelasan ini dapat dikatakan cukup fleksibel, dapat menyambung logam yang mempunyai ketebalan tipis hingga tebal dengan bermacam – macam posisi pengelasan.
- Lebih ekonomis karena modal yang diperlukan relatif kecil serta biaya pemeliharannya lebih murah.
- Penggunaannya lebih mudah, sehingga tidak terlalu sukar untuk melatih calon welder yang belum biasa.

C. Bentuk patahan material

Baja yang lunak biasanya juga liat atau ulet, kalau ditarik maka patahnya baru terjadi setelah penampangnya mengecil dan akhirnya meninggalkan bentuk patahan yang berserat, bergaris, membentuk corong (cup – cone). Hal yang mirip masih terjadi pada baja dengan kriteria sedang (mild steel), yang menunjukkan corong juga, tapi sering tidak utuh (partial cup cone). Bila permukaan rata, tanpa corong, mendekati tegak lurus arah tarikan, agak berbutir , kadang berkelip karena tersebarnya bidang – bidang pantul yang kecil – kecil dipermukaan patah, maka bisa dipastikan bahannya getas. Bahan yang pernah

mengalami tempa, diroll atau ekstrusi melewati lubang yang lebih kecil, biasanya penampang patahnya tegak lurus juga seperti gelas, tapi ada garis –garis radial dari tengah ketepi (Star Fraktur).

D. Perlakuan panas pada material

Heat treatment atau perlakuan panas pada material pelat ST 42 sangat erat hubungannya dengan pengetahuan tentang bahan tersebut, karena pada proses pembuatan material tersebut mengalami perlakuan panas. Perlakuan panas pada material pelat ST 42 yang telah mengalami pemanasan tinggi akibat proses penyambungan dengan pengelasan adalah suatu proses untuk merubah sifat mekanis logam tersebut dengan memberikan kombinasi pemanasan dan pendinginan dengan tujuan untuk melunakan, meliatkan, melepas tegangan sisa, serta menambah kekuatan bahan. Temperatur pemanasan dan penahanan suhu pemanasan serta pendinginan sangat tergantung dari sifat bahan yang diinginkan.

E. Kekuatan sambungan las

Kekuatan sambungan las dihitung berdasarkan tegangan boleh dengan anggapan bahwa hubungan antara tegangan dengan regangan mengikuti hukum Hooke dengan syarat bahwa tegangan terbesar yang terjadi tidak melebihi tegangan boleh yang telah ditentukan.

Sebagian besar bahan mengalami perubahan sifat dari elastis menjadi plastis

yang berlangsung sedikit demi sedikit, dan dimana deformasi plastis mulai terjadi dan sukar ditentukan secara teliti. Tegangan luluh, biasanya didefinisikan sebagai tegangan luluh offset, adalah tegangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah kecil deformasi plastis yang ditetapkan. Tegangan luluh offset ditentukan dengan mengukur perpotongan antara kurva tegangan – regangan dengan garis sejajar dengan elastis offset regangan tertentu, pada umumnya garis offset diambil sebesar 0,2 % atau 0,1 % (Dieter, 1996).

F. Pengujian mutu hasil las

Ada 2 cara dalam pengujian mutu hasil las :

1. Pengujian tanpa merusak
2. Pengujian dengan merusak

1. Pengujian tanpa merusak

Pengujian dengan cara ini, bahan atau specimen tidak mengalami kerusakan. Peralatan yang digunakan adalah menggunakan komponen gelombang elektromagnetik, gelombang suara, penyinaran dengan sinar tertentu dan cairan tertentu. Pengujian ini untuk mengetahui cacat luar maupun cacat dalam.

2. Pengujian dengan merusak

Pengujian dengan cara ini, bahan atau specimen dirusak dengan alat tertentu untuk mendapatkan data yang dikehendaki. Pengujian ini terdiri dari pengujian tarik, tekuk, charpy, hardness.

III. METODOLOGI PENELITIAN

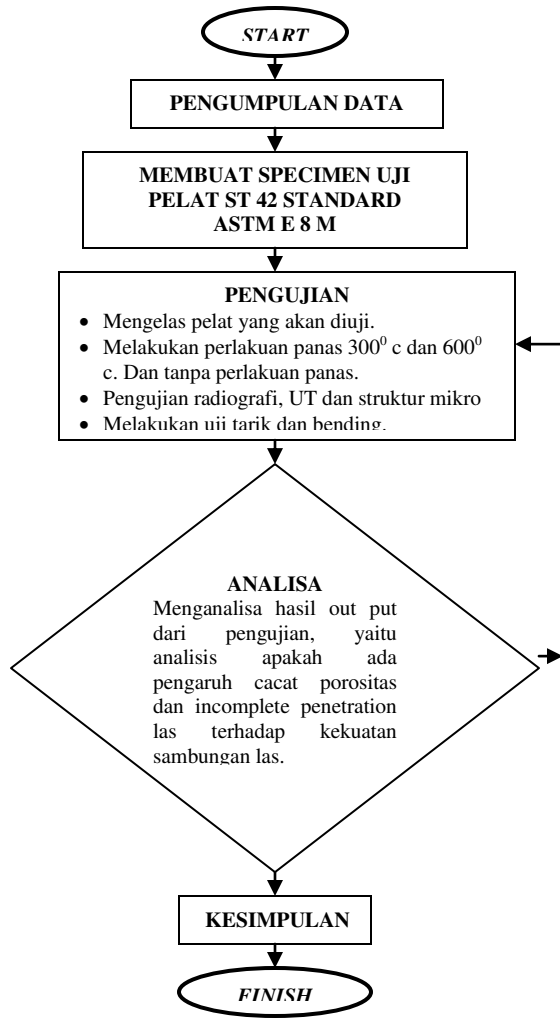
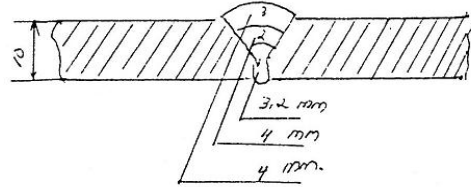


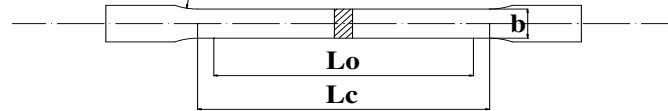
Diagram Alir Penelitian

Persiapan dan pelaksanaan pengelasan dilakukan dibengkel tertutup pada galangan kapal PT. Jasa Marina Indah Semarang, dengan metode pengelasan SMAW secara manual. Menggunakan trafo merk Panasonic, arus bolak balik dengan polaritas lurus. Dalam pengelasan ini menggunakan metode dan

prosedur pengelasan yang sudah digunakan oleh pihak galangan dengan personel / operator las galangan dengan sertifikat BKI.



Gambar rencana sambungan las Speciment yang digunakan dalam pengujian berjumlah 60, dengan ketentuan standar pengujian ASTM E 8M



Dimension	Specimen proportional test
b	12,5 mm
Lo	50 mm
Lc	57 mm
r	12,5 mm
t	10 mm

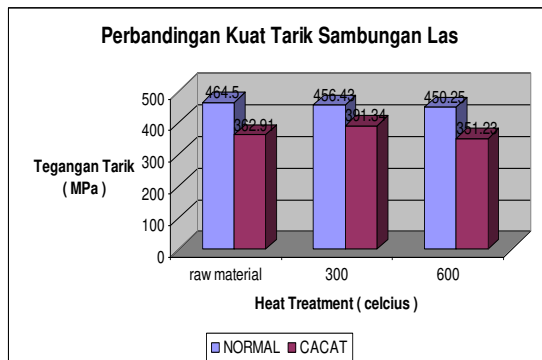
IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Batas izin cacat las berdasarkan ASME SEC. IX

Jenis Cacat Las	Ketentuan Umum
Incomplete Penetration	Tidak mengizinkan atau ditolak berapa pun besarnya.

Porositas	Ukuran total porositas maksimal 20 % dari ketebalan material di tiap 6 in panjang pengelasan, atau ukuran total porositas maksimal 1/8 in di tiap 6 in panjang pengelasan.
-----------	--

A. Analisis hasil kekuatan tarik

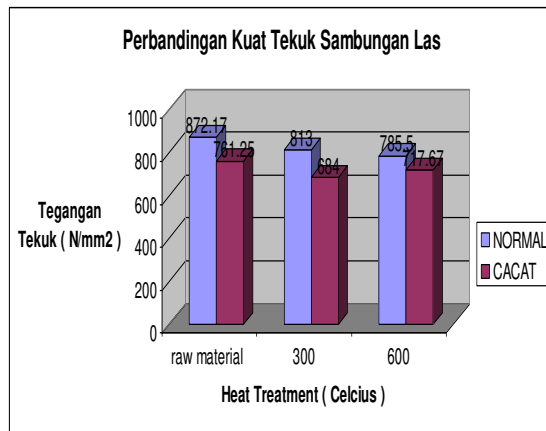


Hasil uji tarik sambungan las, bahan pelat ST 42 grade A dalam kondisi normal (tidak cacat) dan tanpa perlakuan panas (raw), kekuatan tarik rata –ratanya adalah 464,50 Mpa dengan simpangannya $\pm 1,91$ dari rata – rata kuat tarik raw material. Hasil uji tarik sambungan las, bahan pelat ST 42 grade A dalam kondisi normal (tidak cacat) dengan perlakuan panas 300⁰ C, kekuatan tarik rata – ratanya adalah 456,43 Mpa dengan simpangannya $\pm 1,04$ dari rata – rata kuat tarik heat treatment 300⁰ C . Sedangkan hasil uji tarik sambungan las, bahan pelat ST 42 grade A dalam kondisi normal (tidak cacat) dengan perlakuan panas 600⁰ C, kekuatan tarik rata – ratanya adalah 450,25 Mpa dengan simpangannya $\pm 2,22$ dari kuat tarik rata – rata heat treatment 600⁰ C .

Hasil uji tarik sambungan las pada pelat ST 42 grade A dalam kondisi cacat incomplete penetration dan porositas tanpa perlakuan panas (raw material) kekuatan tarik rata – ratanya adalah 362,91 Mpa dengan simpangannya $\pm 6,60$ dari rata – rata kuat tarik raw material. Hasil uji tarik sambungan las pada pelat ST 42 grade A dalam kondisi cacat incomplete penetration dan porositas dengan perlakuan panas 300⁰ C kekuatan tarik rata – ratanya adalah 391,34 Mpa dengan simpangannya $\pm 25,12$ dari rata – rata kuat tarik heat treatment 300⁰ C dalam kondisi cacat . Sedangkan hasil uji tarik sambungan las pada pelat ST 42 grade A dalam kondisi cacat incomplete penetration dan porositas dengan perlakuan panas 600⁰ C kekuatan tarik rata –ratanya adalah 351,23 Mpa dengan simpangannya $\pm 6,57$ dari kuat tarik rata – rata heat treatment 600⁰ C dalam kondisi cacat.

Dari hasil perbandingan dua kondisi pelat tersebut yaitu, pelat dalam kondisi normal (tidak cacat) dengan pelat dalam kondisi cacat, baik itu cacat incomplete penetration maupun cacat porositas, maka didapatkan suatu kesimpulan bahwa kekuatan tarik pelat normal lebih baik (lebih besar) daripada pelat dalam kondisi cacat. Dan dari pemberian perbedaaan perlakuan panas pun pelat normal lebih unggul dari pada pelat dalam kondisi cacat.

B. Analisis hasil kekuatan tekuk



Hasil uji tekuk sambungan las, bahan pelat ST 42 grade A dalam kondisi normal (tidak cacat) dan tanpa perlakuan panas (raw), kekuatan tekuk rata –ratanya adalah 872,17 N/mm² dengan simpangannya $\pm 1,75$ dari rata – rata kuat tekuknya. Hasil uji tekuk sambungan las, bahan pelat ST 42 grade A dalam kondisi normal (tidak cacat) dengan perlakuan panas 300⁰ C, kekuatan tekuk rata –ratanya adalah 813 N/mm² dengan simpangannya $\pm 2,59$ dari rata – rata kuat tekuknya. Sedangkan hasil uji tekuk sambungan las, bahan pelat ST 42 grade A dalam kondisi normal (tidak cacat) dengan perlakuan panas 600⁰ C, kekuatan tekuk rata –ratanya adalah 785,5 N/mm² dengan simpangannya $\pm 1,82$ dari rata – rata kuat tekuknya.

Hasil uji tekuk sambungan las pada pelat ST 42 grade A dalam kondisi cacat incomplete penetration dan porositas tanpa perlakuan panas kekuatan tekuk rata –ratanya adalah 761,25 N/mm² dengan simpangannya $\pm 14,29$ dari rata – rata kuat tekuknya. Hasil uji tekuk sambungan

las pada pelat ST 42 grade A dalam kondisi cacat incomplete penetration dan porositas dengan perlakuan panas 300⁰ C kekuatan tekuk rata –ratanya adalah 684 N/mm². Sedangkan hasil uji tekuk sambungan las pada pelat ST 42 grade A dalam kondisi cacat incomplete penetration dan porositas dengan perlakuan panas 600⁰ C kekuatan tekuk rata –ratanya adalah 717,67 N/mm² dengan simpangannya $\pm 11,44$ dari rata – rata kuat tekuknya.

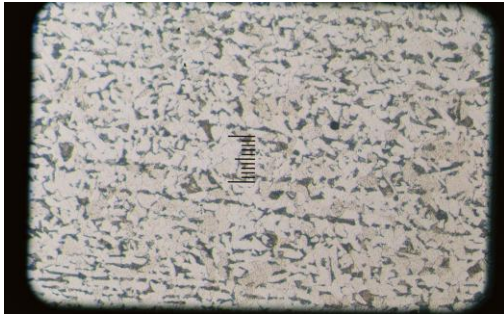
Dari hasil perbandingan dua kondisi pelat tersebut yaitu, pelat dalam kondisi normal (tidak cacat) dengan pelat dalam kondisi cacat, baik itu cacat incomplete penetration maupun cacat porositas, maka didapatkan suatu kesimpulan bahwa kekuatan tekuk pelat normal lebih baik (lebih besar) daripada pelat dalam kondisi cacat. Dan dari pemberian perbedaan perlakuan panas pun pelat normal lebih unggul dari pada pelat dalam kondisi cacat.

C. Analisis Metallografi

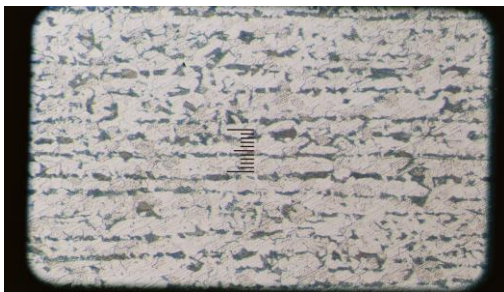
1. Struktur mikro logam induk

Pada daerah ini temperatur yang digunakan untuk sampel pengujian adalah tanpa perlakuan panas (raw), heat treatment 300⁰ C dan heat treatment 600⁰ C. Struktur mikro pada daerah ini yang terbentuk tanpa perlakuan panas dan perlakuan panas adalah martensit. Hal ini terjadi karena logam induk mempunyai dasar bahan dengan butiran halus, dan bagian ini jika diberi perlakuan panas

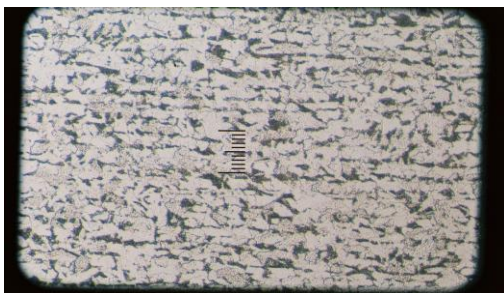
ataupun tidak diberi perlakuan panas, sedikit mempengaruhi bentuk fisis struktur mikro bahan, hal itu juga dipengaruhi dengan adanya laju pendinginan yang diterima oleh daerah ini begitu cepat.



Struktur mikro bahan tanpa perlakuan panas



Struktur mikro bahan dengan heat treatment 300⁰ C

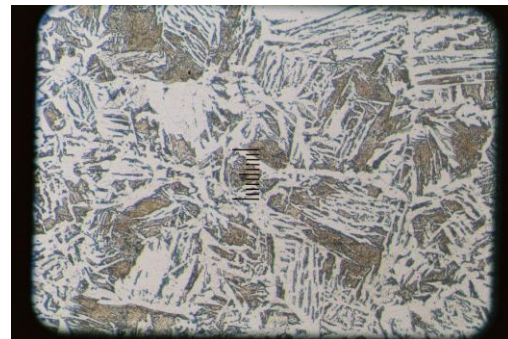


Struktur mikro bahan dengan heat treatment 600⁰ C

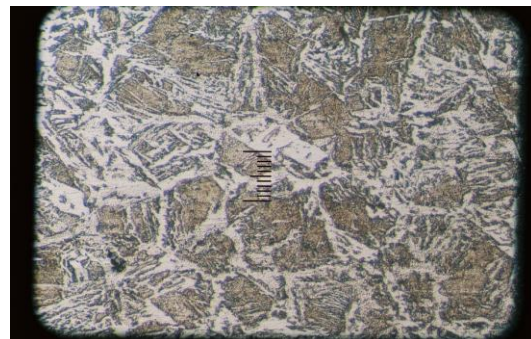
2. Struktur mikro pada HAZ

Pada daerah ini temperatur yang digunakan untuk sampel pengujian adalah tanpa perlakuan panas (raw), heat

treatment 300⁰ C dan heat treatment 600⁰ C. Struktur mikro yang terjadi pada daerah ini adalah perlit dan bainit. Hal ini terjadi karena bentuk struktur mikro bahan yang terjadi berbentuk pecahan padat. Pecahan padat ini juga terbentuk karena daerah ini menerima panas cukup besar dan daerah ini sangat berdekatan dengan daerah lebur yang mempunyai temperatur sangat tinggi serta proses pendinginannya sedikit lambat. Perbedaan perlakuan panas yang dilakukan sedikit begitu berpengaruh pada bentuk struktur mikro bahan. Alternatif kemungkinan adalah range perlakuan panas tidak begitu besar, sehingga struktur mikro yang terjadi tidak begitu mengalami banyak perubahan.



Struktur mikro bahan tanpa perlakuan panas (raw)



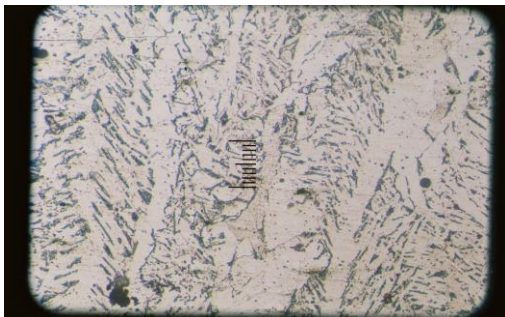
Struktur mikro bahan dengan heat treatment 300⁰ C



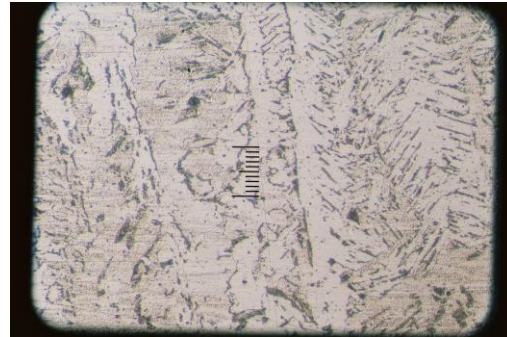
Struktur mikro bahan dengan heat treatment 600⁰ C

3. Struktur mikro logam las

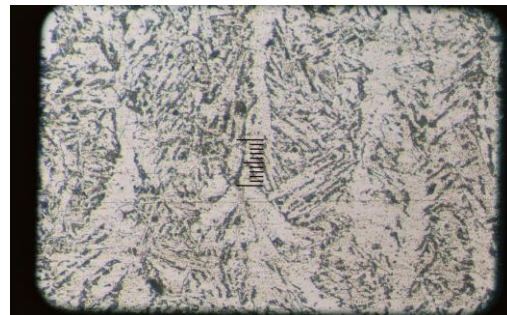
Pada daerah ini temperatur yang digunakan untuk sampel pengujian adalah tanpa perlakuan panas (raw), heat treatment 300⁰ C dan heat treatment 600⁰ C. Struktur mikro yang terjadi pada daerah ini adalah ferit dalam bentuk kolumnar (pilar – pilar). Hal ini terjadi karena tingginya masukan panas dari pengelasan dan penambahan perlakuan panas bahan, sehingga menyebabkan struktur pilar semakin besar dan kasar. Dan disebabkan pula oleh proses pendinginan pada daerah ini begitu lambat, sehingga daerah ini rentan getas. Sama halnya dengan daerah HAZ dan logam induk, proses perlakuan panas dan tanpa perlakuan panas yang tidak begitu besar range-nya pada daerah logam las tidak terjadi perubahan yang signifikan terhadap struktur mikro yang terjadi.



Struktur mikro bahan tanpa perlakuan panas



Struktur mikro bahan dengan heat treatment 300⁰ C



Struktur mikro bahan dengan heat treatment 600⁰ C

V. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan, eksperimen dan analisis data – data pengujian maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil pengujian non – destructive test (NDT) dengan menggunakan radiografi dan ultrasonic test, jumlah specimen yang terindikasi cacat berjumlah 16 specimen dari 60 specimen. Semua yang terindikasi cacat tidak memenuhi standar ASME SEC. IX. Hal tersebut dikarenakan range ukuran

- total cacat porositas dan incomplete penetration tidak memenuhi ukuran yang di ijinan. Akan tetapi, dalam pengujian tarik semua sambungan las terputus di logam induk dan hal tersebut tidak membuktikan adanya pengaruh cacat incomplete penetration dan cacat porositas dalam pengujian ini.
2. Hasil uji kekuatan tarik sambungan las rata – rata optimum adalah pada sambungan normal dengan kondisi tanpa perlakuan panas dengan kuat tarik rata – rata sebesar 464,50 N / mm². Kekuatan tarik terendah pada sambungan las tidak normal dengan kondisi heat treatment 600⁰ C harga kekuatan tarik rata – ratanya sebesar 351, 23 N / mm². Dan hasil uji kekuatan tekuk sambungan las rata – rata optimum adalah pada sambungan normal dengan kondisi tanpa perlakuan panas dengan kuat tekuk rata – rata sebesar 872,17 N / mm². Kekuatan tekuk terendah pada sambungan las tidak normal dengan kondisi heat treatment 300⁰ C harga kekuatan tekuk rata – ratanya sebesar 684 N / mm².
 3. Untuk pengujian metallografi (struktur mikro bahan) di bagian logam induk, logam pengaruh panas las (HAZ), dan bagian logam las. Di dapatkan hasil struktur mikro yang berbeda – beda di setiap bagiannya. Akan tetapi, untuk pemberian perlakuan panas pada bahan tidak menghasilkan perbedaan struktur mikro yang signifikan dikarenakan perbedaan temperatur yang diberikan tidak terlalu besar. Pada logam induk terbentuk struktur mikro martensit, di bagian logam terpengaruh panas las (HAZ) terbentuk struktur mikro perlit dan bainit, sedangkan pada logam las terbentuk struktur mikro ferit.

DAFTAR PUSTAKA

1. Rosyid, D.M dan Setyawan, Dony., ” *Kekuatan Struktur Kapal*”.Pradnya Paramita; 1999
2. Rudolph Szilard, Dr. –ing, PE, “*Teori dan Analisis Pelat*”, Erlangga, Jakarta, 1989.
3. Van Vlack H., Lawrence; Djaprie, Sriati., “*Ilmu dan Teknologi Bahan* “, Erlangga, Jakarta, 1995

4. Wiryosumarto, Harsono Prof, Dr, Ir dan Okumura, Toshie, Prof, Dr, *Teknologi Pengelasan Logam*, Pradnya Paramita. Jakarta. 2000
5. Ananto, Hari Drs, dan Daryanto Drs, ” *Ilmu Bahan* ”. Bumi Aksara, Jakarta, 1999.
6. ASME Sec IX, ” *Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators* ”, ASME, New York, 1995.
7. Smallman R. E, dan Bishop R. J, ” *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material* ”. Erlangga, Jakarta; 2000
8. Honeycombe, RWK, ” *Steels Microstructure and Properties*”, Edward Arnold, London; 1982.
9. Hanson, Albert dan Parr, Gordon, J, ” *The Engineer’s Guide to Steel* ”, Addison Wesley, Amerika; 1965.
10. Handbook Quality Control PT. JMI