

Analisa Kegagalan Sambungan Las Pada Tiang Penyangga Dermaga

(Welded Join Failure Analysis Of Broken Jetty Head Strut)

KOKO NUSYI SYAHPUTRA, ARIS WIDYO NUGROHO

ABSTRACT

Welded joint failure analysis of broken jetty head strut has been carried out to find out the root cause of the failure which was observed at the ring welding. Specimens being made of unbroken and broken struts were characterized and analyzed. The results show that the chemical composition of the based metal and the strut welded joints especially their phosphorus content were close to that of the ASTM A 252 grade 2 standard. A common phenomenon was noted on the hardness testing result where the hardness numbers of the weld metal zone were found being higher than those of the base metal. The Widmanstans structure was noticed on both the weld metal and the coarse grain zone. Further examination of the macrostructures revealed that blow holes and incomplete fusions were detected on the weld metal of the broken struts. These flaws may be the root cause of the failure because they acted as an initial crack that may propagate until fracture.

Keywords: Failure analysis, welding, crack

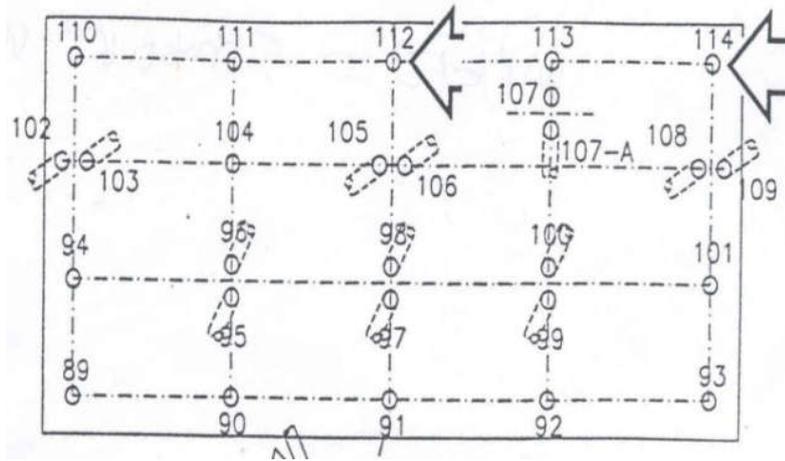
METODE EKSPERIMEN

PENDAHULUAN

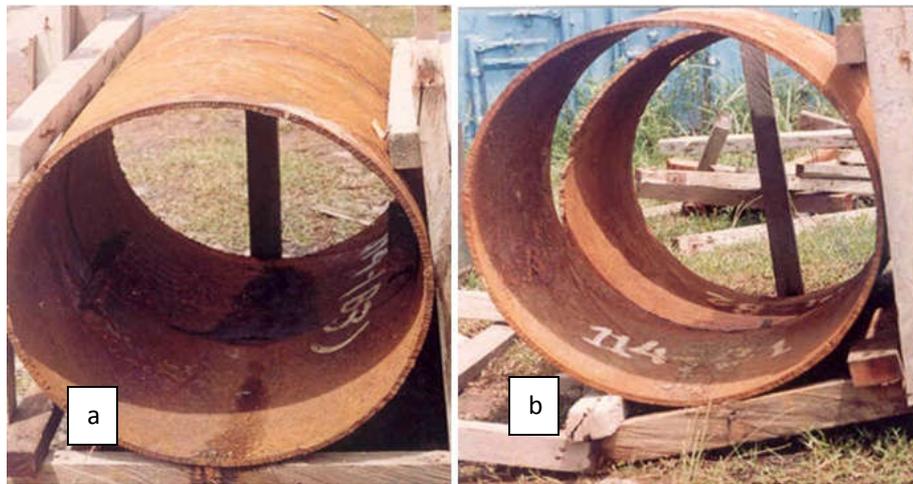
Telah terjadi kegagalan patah di salah satu tiang pancang dermaga yang baru berusia 3 bulan. Kegagalan tiang pancang diduga dipicu oleh adanya benturan tongkang ke tiang pancang tersebut dan kegagalan teramati terjadi di daerah sambungan las. Sebagai keterangan tambahan kondisi dari tiang pancang yang mengalami kegagalan adalah tiang pancang yang belum terikat dengan tiang pancang yang lain-belum ada dek landasan di atasnya. Tiang pancang ditancapkan dengan cara *hammering* dan tiang pancang tersebut digunakan untuk bersandarnya kapal tongkang dengan ketinggian maksimum gelombang air laut mencapai 2,5 m. Tiang pancang yang terbuat dari pipa baja karbon ASTM A252 grade 2 disambung dengan proses pengelasan jenis las SMAW. Artikel ini membahas tentang analisis kegagalan sambungan las pada tiang pancang dermaga melalui verifikasi bahan dan fraktografi.

Jetty head terdiri dari beberapa tiang pancang yang terbuat dari pipa yang disambung dengan pengelasan. Posisi tiang pancang yang mengalami kegagalan ditunjukkan pada gambar 1. Sampel tiang pancang yang tidak mengalami kegagalan dan yang mengalami kegagalan diperiksa di laboratorium untuk dianalisis. Kondisi kedua tiang pancang tersebut ditunjukkan pada gambar 2.

Analisis kegagalan pada tiang pancang dermaga dibagi menjadi dua kelompok kegiatan yaitu verifikasi bahan dan analisis kegagalan. Kelompok pengujian verifikasi bahan terdiri dari analisis komposisi kimia, uji tarik, uji kekerasan, uji impact, dan uji struktur makro dan struktur mikro, sedangkan kelompok analisis kegagalan pada lasan terdiri dari uji visual dan uji fraktografi. Uji komposisi kimia dilakukan terhadap logam induk bebas cacat dan bebas logam lasan dari tiang pancang. Preparasi diawali dengan pemotongan benda uji menjadi ukuran 3 cm x 3 cm x 1 cm. Benda uji dihaluskan permukaannya dengan



GAMBAR 1. Posisi tiang pancang yang mengalami kegagalan (tanda panah)



GAMBAR 2. (a) Sampel tiang pancang yang tidak rusak, (b) sampel tiang pancang yang patah

kertas amplas SiC dari kekasaran 80 # hingga 400 # dengan bantuan mesin poles yang dilengkapi pendingin air. Benda uji kemudian dibersihkan dan dikeringkan. Analisis komposisi kimia benda uji dilakukan dengan alat uji ARL Spark Spectrometer yang menggunakan prinsip kerja penguapan unsur-unsur logam. Pengujian struktur mikro dilakukan pada benda uji yang dipotong dengan ukuran 2 cm x 1 cm x 1 cm yang mencakup daerah logam induk, daerah HAZ dan daerah logam las. Benda uji dihaluskan permukaannya dengan kertas amplas kekasaran 80 # hingga 1500 #. Selanjutnya dipoles dengan media poles alumina dari kekasaran 5 μm hingga 0.05 μm . Benda uji kemudian dibersihkan dan dikeringkan. Pengetsaan dengan larutan nital 2% selama 20-60 detik dilakukan untuk menampilkan

struktur mikro yang diamati dengan mikroskop optik merk Olympus di laboratorium Metalurgi PUSPITEK dengan perbesaran sama yaitu 200x.

Benda uji tarik dipotong dari bagian pipa baja yang mencakup logam induk daerah HAZ dan daerah lasan sebanyak 5 buah untuk setiap daerahnya, menggunakan standar ASTM A 370. Pengujian tarik dilakukan dengan alat uji tarik Merek Trebel 25 T di BKI (Badan Klasifikasi Indonesia), Tanjung Priok Jakarta Utara. Alat uji dampak merk Trebel di laboratorium Metalurgi Puspipstek digunakan untuk mengukur keuletan bahan terhadap beban dampak. Benda uji dampak dari bahan logam induk sebanyak dua buah dibuat menurut standard JIS Z2202-1968 dengan ukuran 10x 10 x 55 mm kedalaman takikan 2 mm dan sudut takikan 45°. Sedangkan benda

uji dengan sambungan las dibuat sebanyak 5 buah. Posisi titik pengujian kekerasan Vickers dengan beban penekanan 200 gram pada tiga daerah meliputi daerah las, HAZ dan logam induk ditunjukkan pada gambar 3. Uji visual dan uji fraktografi dilakukan dengan menggunakan kamera dengan perbesaran 10 x untuk menganalisis kegagalan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Komposisi Kimia

Hasil analisis komposisi kimia dari logam induk dan logam hasil lasan ditunjukkan pada Tabel 1.

TABEL 1. Komposisi kimia logam induk dan logam lasan

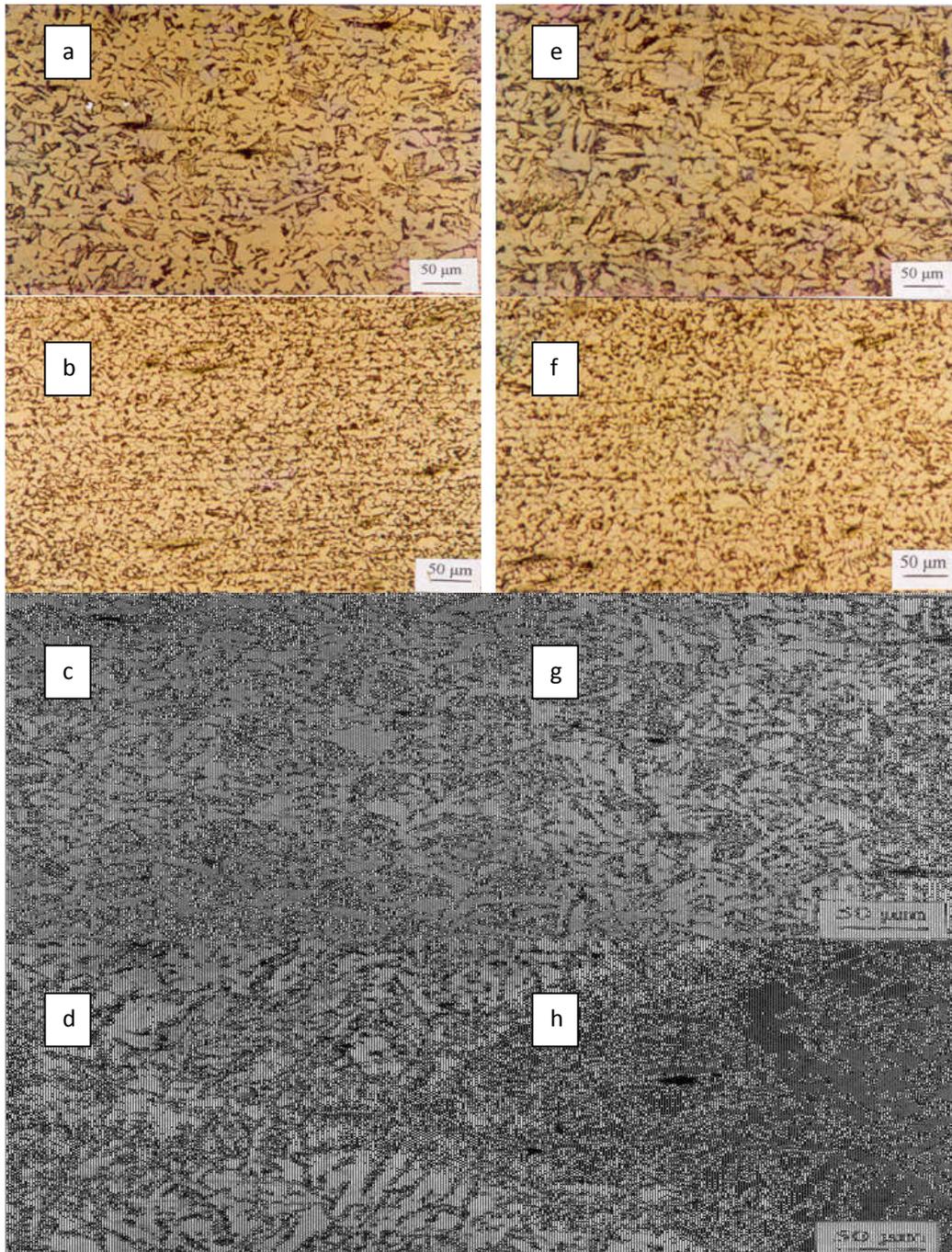
No	Unsur	Rerata % berat	
		Logam induk	Logam lasan
1	C	0.0386	0.0370
2	Si	1.1133	1.2033
3	Mn	1.0700	1.4600
4	S	0.0643	0.0686
5	P	0.0186	0.0173

Baja ASTM A 252 grade 2 merupakan baja karbon rendah dengan kandungan komposisi kimia unsur fosfor (P) maksimum sebesar 0.05 wt%. Dari hasil analisis komposisi kimia terhadap logam induk, diperoleh kadar kandungan unsur fosfor (P) sebesar 0.0186 wt%. Besarnya angka kandungan unsur fosfor pada logam induk sesuai dengan standar pada baja ASTM A 252 grade 2. Pada logam las didapat kadar kandungan unsur fosfor (P) sebesar 0.0173 wt%, dimana kadar ini tidak berbeda jauh dengan kadar fosfor pada logam induk (Tabel 1). Walaupun

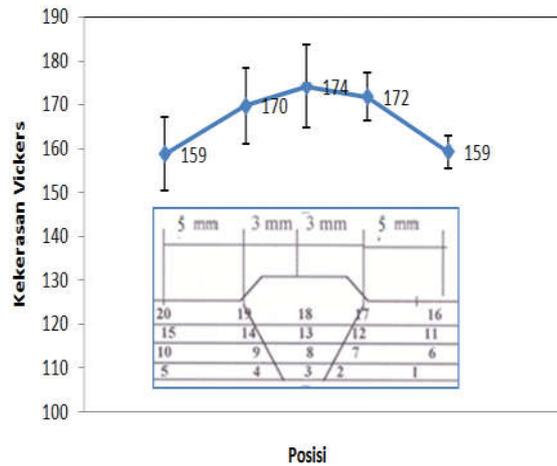
teramati adanya peningkatan kadar kandungan Si dan Mn yang diduga berasal dari elektroda las, dengan adanya kedekatan kadar kandungan unsur Fosfor di *base metal* dan di logam lasan, menunjukkan bahwa pemilihan kawat las (elektroda las) telah sesuai dengan yang disarankan.

Pengujian Struktur Mikro

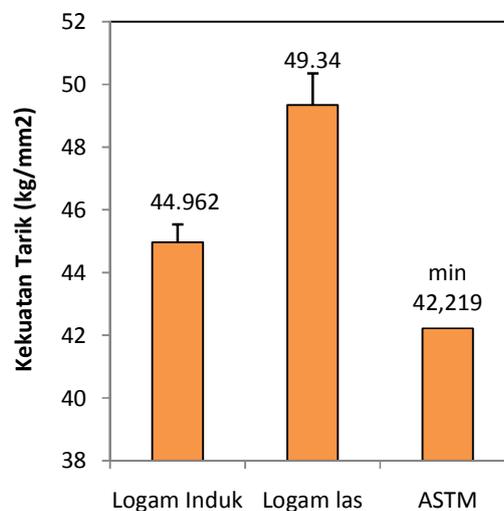
Hasil pengujian struktur mikro daerah *Heat Affected Zone*, logam induk dan logam las pipa normal disajikan pada Gambar 3 (a)-(d), dan struktur mikro empat daerah tersebut pada pipa yang mengalami kegagalan ditunjukkan pada gambar 3 (e)-(h). Struktur mikro logam induk dari bagian pipa normal (Gambar 3 (a)) dan dari bagian pipa yang mengalami kegagalan (Gambar 3(e)) menunjukkan adanya keseragaman baik bentuk, ukuran dan formasi butir-butir kristalnya. Butiran cenderung berbentuk lempengan dengan sudut-sudut yang meruncing. Struktur mikro bagian pipa yang mengalami kegagalan cenderung menunjukkan ukuran butir lebih besar. Fasa-fasa yang ada pada struktur mikro yang ditampilkan pada Gambar 3(a) dan (e) memperlihatkan adanya fasa perlit (warna gelap) fasa ferit (warna terang) dimana fasa perlit teramati lebih mendominasi yang menunjukkan bahwa baja ini termasuk dalam baja karbon rendah. Ditinjau dari bentuk, ukuran dan formasi butir kristal yang ada, struktur mikro ini memperlihatkan ukuran yang halus atau lembut. Perubahan struktur mikro dari ukuran kasar pada logam induk menjadi ukuran lembut pada daerah HAZ disebabkan oleh terjadinya proses rekristalisasi yang diikuti dengan proses pendinginan yang cepat karena sentuhan udara permukaan laut yang bertuip kencang dan permukaan logam induk yang luas. Foto struktur mikro pada daerah logam lasan menunjukkan struktur mikro martensit (keras tapi getas), yang lebih kasar dan besar dibandingkan pada butiran struktur mikro pipa yang normal (tidak mengalami kegagalan), selain itu struktur *Widmanstaten* juga teramati lebih jelas.



GAMBAR 3. Struktur mikro pada beberapa daerah sambungan las, (a) daerah sambungan las tiang normal, (b) daerah *base metal*, (c) daerah rekristalisasi, (d) daerah HAZ berbutir kasar, dan (d) daerah logam las, daerah sambungan las tiang yang patah (e) daerah *base metal*, (f) daerah rekristalisasi, (g) daerah HAZ berbutir kasar, dan (h) daerah logam las



GAMBAR 4. Hasil uji kekerasan dan posisi titik pengukuran



GAMBAR 5. Kekutan tarik logam induk, logam las dan standard ASTM A 252 grade 2

Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan Vickers Hardness Tester pada titik-titik seperti ditunjukkan pada gambar 4.

Dari gambar 4 dapat diketahui bahwa kekerasan benda uji hasil pengelasan mempunyai angka yang bervariasi antara 168 hingga 188. Angka kekerasan rata-rata pada logam las sebesar 174,25 VHN. Sedangkan pada logam induk angka kekerasan rata-rata adalah 159 VHN. Logam induk yang tidak terpengaruh panas lasan tidak akan mengalami perubahan struktur mikro maupun sifat-sifat mekaniknya. Sebaliknya pada logam yang dilas terjadi perubahan struktur mikro maupun sifat mekanisnya. Angka kekerasan daerah

logam las mengalami kenaikan yang cukup 8,62 %. Hal ini erat hubungannya dengan perubahan yang terjadi di daerah terpengaruh panas (HAZ). Daerah HAZ merupakan bagian logam yang berbatasan dengan logam dasar dengan logam las, yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal. Akibat adanya siklus termal tersebut daerah HAZ terjadi perubahan butiran logam secara perlahan-lahan dari struktur logam induk ke struktur logam las dimana terjadi pengecilan ukuran butir dan perubahan struktur mikro dimana struktur perlit lebih berkembang. Angka kekerasan rata-rata di daerah HAZ adalah 170 VHN. Nilai ini mempunyai perbedaan sebesar 9,38 VHN atau terjadi kenaikan sebesar 5,81 % dari nilai rata-rata kekerasan logam induk. Apabila diamati dari

foto struktur mikro pada gambar 3.d jumlah ferit dan perlit yang terlihat di daerah HAZ mempunyai jumlah perlit yang lebih banyak dibandingkan dengan logam induk sehingga nilai kekerasan logam induk memiliki angka kekerasan terendah.

Pengujian Tarik

Hasil pengujian tarik dan standar baja karbon ASTM A 252 grade 2 ditunjukkan oleh gambar 5.

Hasil uji tarik menunjukkan bahwa tegangan tarik rata-rata dari logam induk dan logam lasan berturut-turut adalah 44,942 kg/mm² dan 49,34 kg/mm². Kekuatan logam induk ini lebih tinggi dari nilai standar ASTM yaitu sebesar 42,219 kg/mm² karena diduga akibat benda uji telah mengalami pengerjaan dingin akibat pembebanan tekan selama konstruksi. Adanya selisih hasil uji tarik rata-rata antara logam induk dengan logam lasan yang sebesar 4.42 kg/mm², persentase perbedaannya sebesar 8.96 %, menunjukkan tegangan tarik logam lasan lebih tinggi dari tegangan tarik rata-rata logam induk. Hal ini sudah sesuai dengan yang diharapkan, untuk mendapatkan hasil pengelasan yang baik maka tegangan tarik setelah pengelasan tidak boleh lebih kecil dari tegangan logam induk. Perubahan struktur mikro pada daerah HAZ

yang berakibat pada peningkatan kekerasan juga bertanggung jawab terhadap kenaikan kekuatan dari sambungan lasan. Dari hasil percobaan diperoleh bahwa peningkatan kekerasan 8.62 % dapat meningkatkan kekuatan sebesar 8.96 %. Menurut Callister (2007), angka kekerasan yang rendah akan menurunkan kekuatan tarik.

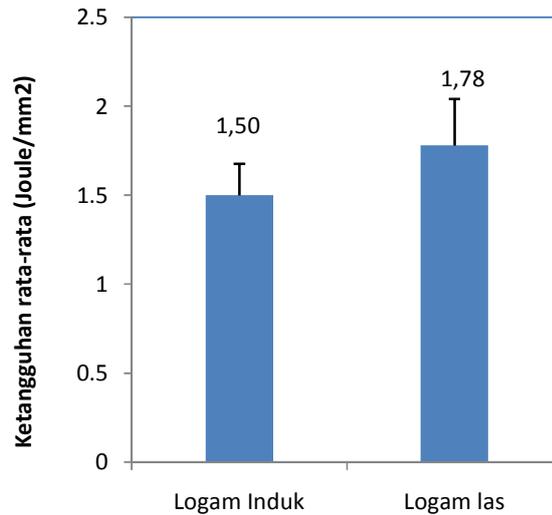
Hasil pengujian tarik menunjukkan semua patahan dari 5 benda uji terjadi pada daerah sambungan las (gambar 6) dengan menunjukkan karakter patah getas dimana necking dan deformasi plastis yang besar tidak terjadi, sedangkan benda uji logam induk menunjukkan terjadinya patah ulet. Menurut ASME (Section I, 1986) apabila benda uji patah di logam lasan, maka tegangan tariknya tidak boleh 5% lebih kecil dari bahan logam induk. Dengan adanya ketentuan di atas menunjukkan bahwa logam las mempunyai kekuatan tarik yang baik.

Pengujian tumbuk (Impact)

Pengujian impact ini menggunakan metode Charpy yang pada pengujiannya diambil dua buah benda uji dari logam induk dan lima buah benda uji dari logam lasan. Pembuatan benda uji untuk logam lasan tidak diacukan pada standar dan dibuat sesuai dengan aslinya.



GAMBAR 6. Patahan Hasil pengujian tarik



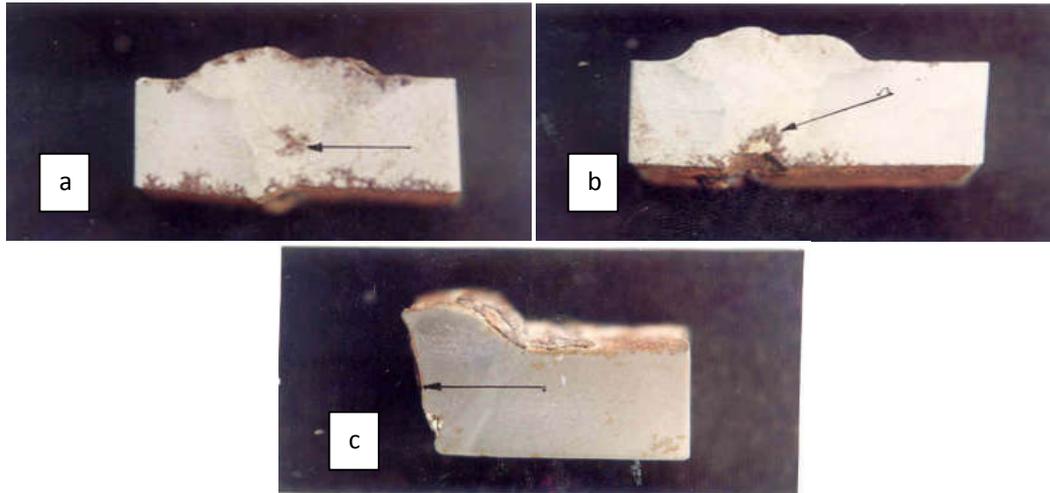
GAMBAR 7. Ketangguhan rata-rata dari logam induk dan logam sambungan las



GAMBAR 8. Patahan hasil pengujian impak

Hal ini dilakukan untuk membandingkan antara bentuk dan tampilan bidang patahan di lokasi "*ring welding*" dengan patahan hasil uji impak, dengan sampel uji logam lasan diambil dari bagian lasan yang mempunyai cacat yang relatif tinggi. Di lapangan, tiang pancang yang mengalami tumbukan dari kapal tongkang akan menyisakan tegangan sisa dan di air laut tiang pancang sebagai anodik yang terkorosi. Dari hasil uji impak, yang ditunjukkan pada gambar 7, dapat diketahui bahwa sampel

logam induk yang sesuai dengan standart JIS Z 2202-1968 mempunyai ketangguhan rata-rata 1,5 joule/mm² dan ketangguhan rata-rata logam lasan 1,779 joule/mm². Adanya rekristalisasi pada waktu pengelasan mengakibatkan logam las lebih ulet. Dari hasil uji impak dapat diketahui bahwa dua jenis sampel tersebut menunjukkan bahwa ketangguhan logam lasan dapat dikatakan normal dan baik dan juga pada patahan terlihat patahan ulet (gambar 8).



GAMBAR 9. (a) Cacat las di akar las, (b) cacat las adanya blowhole dan (c) patahan disambungan las

Pengujian foto makro daerah sambungan las

Hasil uji foto makro daerah sambungan las ditunjukkan pada gambar 9. Gambar tersebut menunjukkan adanya cacat akar las yang disebabkan oleh adanya peleburan yang tidak sempurna. Selain itu juga ditemukan adanya cacat *blowhole* di dalam logam lasan. Cacat akar las dan atau *blowhole* pada lasan ini diduga sebagai pemicu utama proses peretakan dan perpatahan. Dan dari hasil foto makro ini patahan sambungan las terjadi pada daerah *interface* yang merupakan kelanjutan dari cacat akar las.

Dari pengujian-pengujian yang telah dilakukan diperoleh hasil sebagai berikut: dalam pengujian tarik patahan juga terjadi di sambungan las (daerah las), sedangkan pada pengujian kekerasan, harga kekerasan daerah sambungan las (daerah las) merupakan angka yang tertinggi bila dibandingkan dengan daerah HAZ dan logam induk mempunyai angka kekerasan yang terendah, seharusnya pada pengujian tarik patahan terjadi di daerah logam induk. Ini sejalan dengan angka kekerasan yang rendah akan menurunkan kekuatan tarik. Hal ini tidak sesuai dengan hasil dari pengujian impak dimana ketangguhan /keuletan dari logam lasan lebih tinggi dari logam induknya. Ditambah ditemukannya cacat las pada tiang yang mengalami kegagalan. Oleh karena itu dapat dinyatakan bahwa adanya ketidak konsistenan proses pengelasan dan kurangnya ketatnya inspeksi hasil pengelasan yang mengakibatkan

terjadinya karakteristik sifat mekanik yang berbeda-beda dan memungkinkan terjadinya cacat pengelasan yang tidak terdeteksi. Cacat las tersebut yang mengakibatkan terjadinya penurunan mutu dari lasan dan mengakibatkan kegagalan..

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil pengujian dan pembahasan verifikasi bahan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pengujian tarik: Tegangan tarik rata-rata logam las sebesar $49,34 \text{ kg/mm}^2$, sedangkan tegangan tarik dari logam induk adalah $44,94 \text{ kg/mm}^2$ dengan perbedaan sebesar 8.62%.
2. Pengujian kekerasan : Kekerasan pada logam las 174,25 VHN, daerah HAZ 170,75 VHN dan logam induk adalah 161,37 VHN. Ketangguhan logam induk sebesar $1,5 \text{ Joule/mm}^2$ sedangkan logam las adalah $1,78 \text{ Joule/mm}^2$, dengan bentuk patahan ulet.
3. Pengujian struktur mikro: terdapat empat daerah dengan bentuk butir yang berbeda, untuk sambungan las yang gagal struktur mikro cenderung memiliki butiran yang lebih besar.
4. Pengujian struktur makro: teramati adanya cacat akar las dan cacat karena peleburan tidak sempurna, Pengujian fraktografi teramati patahan ada di *interface* logam lasan dengan daerah HAZ.

5. Dari hasil pengujian tarik patahan terjadi di daerah las, sedangkan pada uji kekerasan daerah las mempunyai angka kekerasan yang tertinggi, patahan yang terjadi di sambungan las pada uji tarik disebabkan adanya cacat las yang tidak merata, hal ini diperkuat dengan hasil uji struktur makro daerah las yang mempunyai cacat akar las dan cacat dalam sambungan las.

DAFTAR PUSTAKA

- ASME Code for Boilers and Pressure Vessels
Section I ,1986
- ASTM A252 grade 2 standard, Standard
specification for Carbon Steel,2010
- ASTM A 370 standard. 1977 Standard for
Tensile testing,
- Callister, W., D., 2007, *Materials Science and
Engineering An Introduction* 7 ed, John
Willey and Son, Inc, New York, USA
- JIS Z2202 standard, Standard for Impact
Testing, JIS, edisi 1968.

PENULIS:

Koko Nusyi Syahputra

Alumni Jurusan Teknik Mesin, Fakultas
Teknik, Universitas Muhammadiyah
Yogyakarta, Jalan Lingkar Selatan Tamantirto
Kasihani Bantul, Yogyakarta, 55183

Aris Widyo Nugroho

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan
Lingkar Selatan Tamantirto Kasihan Bantul,
Yogyakarta, 55183

Email : nugrohoaris@gmail.com