

ANALISA KEGAGALAN PADA POROS BAJA KARBON S45C APLIKASI KOMPONEN *AS SINK ROLL*

Cahya Sutowo¹

csutowo@yahoo.com

Pusat Penelitian Metalurgi dan Material -LIPI
Kawasan Puspiptek Serpong, Gedung 470,
Tangerang 15314

Budi Priyono²

Pusat Penelitian Metalurgi dan Material -LIPI
Kawasan Puspiptek Serpong, Gedung 470,
Tangerang 15314

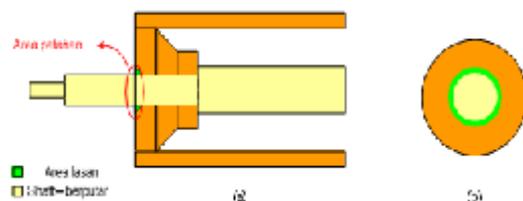
ABSTRAK

Telah terjadi kegagalan pada komponen poros baja karbon, kegagalan terjadi pada saat komponen dioperasikan. Poros untuk aplikasi *as sink roll* berfungsi untuk memutar drum, poros atau as disambungkan dengan drum melalui pengelasan, pada area lasan tersebut terjadinya kegagalan. Untuk mengetahui penyebab terjadinya kegagalan, dilakukan serangkaian pengujian terhadap komponen *as sink roll* antara lain : pengamatan visual (fraktografi), pengujian komposisi kimia, pengamatan metalografi, pengujian kekerasan dan pengujian SEM/EDS pada bagian komponen yang mengalami kegagalan. Hasil pengujian menunjukkan material komponen *as sink roll* sesuai dengan standar JIS G4051 S45C untuk kategori *Carbon Steels for Machine Structural Use*. Kegagalan yang dialami adalah kegagalan *fatigue* dengan daerah awal retakan berasal dari bagian tepi komponen. Kegagalan ini terjadi disebabkan oleh konsentrasi tegangan pada daerah logam las selama komponen dioperasikan, adanya mikroporositas di permukaan logam las dan adanya inklusi.

Kata Kunci: *poros, baja karbon, S45C, fatigue, mikroporositas, inklusi*

I. Pendahuluan

Telah terjadi kegagalan pada komponen *as sink roll* pada saat komponen dioperasikan. *As* (warna kuning pada Gambar 1) memiliki fungsi untuk memutar drum (warna oranye pada Gambar 1). *As* disambungkan dengan drum yang terendam didalam larutan kimia melalui metode pengelasan (warna hijau pada Gambar 1) , dimana merupakan area terjadinya kegagalan.



Gambar 1. Skematik komponen *as sink roll* yang mengalami kegagalan (a) tampak samping (b) tampak atas/penampang melintang

Dari skematik sesuai Gambar 1 daerah logam las memiliki konsentrasi tegangan yang besar, hal ini dikarenakan area tersebut merupakan satu-satunya daerah kontak dari *as sink roll* untuk dapat memutar drum. Sudut yang terbentuk antara logam las dengan *as sink roll* pada bagian luar dapat juga menjadi daerah konsentrasi tegangan selama komponen beroperasi dan memungkinkan munculnya retak mikro.

Untuk mengetahui penyebab terjadinya kegagalan, dilakukan serangkaian pengujian terhadap komponen *as sink roll*, antara lain pengamatan visual dari permukaan komponen yang mengalami kegagalan (fraktografi), pengujian komposisi kimia pada bagian *as* dan logam las, pengujian metalografi pada daerah las, pengujian kekerasan pada daerah las, pengujian SEM/EDS terhadap permukaan dan penampang melintang dari bagian komponen yang mengalami kegagalan.

II. Metodologi Penelitian

Tahapan analisa kegagalan dimulai dari preparasi sampel, pengamatan visual, pengujian dan evaluasi hasil pengujian. Pengamatan visual dilakukan pada permukaan komponen yang mengalami kegagalan, pengamatan ini dilakukan untuk mencari pola-pola khusus yang mungkin terbentuk dari jenis pembebanan dan patahan tertentu. Daerah awal terjadinya kegagalan dapat diperkirakan melalui proses pengamatan visual.

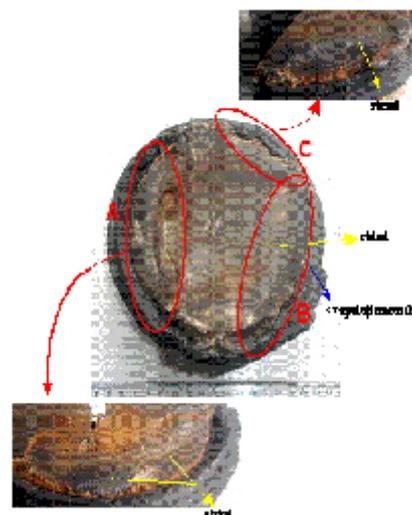
Pengujian komposisi kimia menggunakan metode *Optical Emmission Spectrometer* (OES). Pengujian ini dilakukan di dua titik, yaitu pada daerah *as sink roll* dan logam las denan tujuan untuk mengetahui jenis material komponen *sink roll* dan logam las. Pengujian kekerasan dilakukan pada penampang melintang komponen *as sink roll* pada daerah pengelasan, pengujian ini menggunakan alat uji *micro vickers* beban 200 gf dengan waktu pembebanan 30 detik. Standar pengujian yang digunakan adalah ASTM E-384-85.

Pengamatan metalografi dilakukan pada posisi melintang dari komponen *as sink roll* yang patah / rusak, terutama pada daerah pengelasan, pengamatan dilakukan untuk melihat struktur mikro komponen *as sink roll*, *filler* dan logam las. Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan untuk melihat jenis patahan pada material dalam pembesaran yang lebih besar sehingga diketahui jenis dan penyebab patahan pada komponen tersebut. Posisi pengujian SEM pada komponen *as sink roll* adalah pada permukaan dan penampang melintang area patahan. Sedangkan pengujian *Energy Dispersive X-Ray* (EDX) pada komponen *as sink roll* dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia pada daerah tertentu.

III. Hasil dan Pembahasan

Pada hasil pengamatan visual permukaan patahan *as sink roll* Gambar 2, permukaan patahan halus menunjukkan komponen mengalami patah tanpa adanya pembebanan berlebih. Daerah A, B dan C menunjukkan adanya garis-garis halus striasi yang timbul karena adanya pembebanan berulang (*cyclic*) yang dialami oleh komponen sebelum patah. Adanya striasi lebih dari satu area dengan pola

dan arah menunjukkan bahwa komponen berotasi selama operasi.



Gambar 2. Permukaan patahan dari *as sink roll*

Dari hasil pengamatan visual pada Gambar 2 pada permukaan patahan komponen *as sink roll* dapat dikategorikan sebagai patah lelah (*fatigue*), jenis patah ini ditandai dengan adanya area awal retakan (*crack initiation*), perambatan retak (*crack propagation*) dan *final fracture* yang ditandai dengan garis-garis striasi halus pada area tengah permukaan patahan. Permukaan patahan menunjukkan adanya tiga area berbeda dengan titik pusat lengkungan striasi masing-masing mengarah pada bagian tepi komponen. Adanya area yang berbeda ini disebabkan karena jenis pembebanan torsi yang dialami komponen selama pengoperasian, sedangkan arah dari titik pusat lengkungan striasi menunjukkan area awal atau origin dari retakan, yaitu pada daerah logam las.

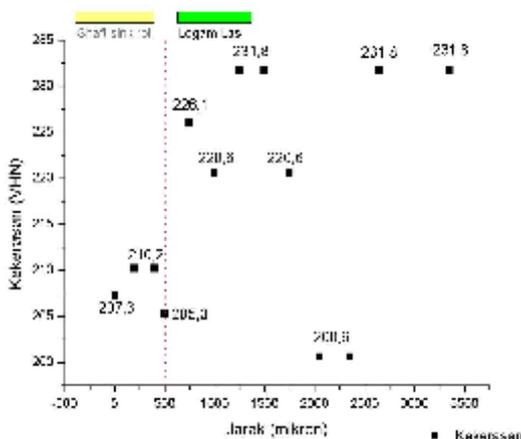
Posisi pengujian komposisi kimia pada sampel komponen *as sink roll* sebagaimana gambar dibawah, hasil pengujian komposisi kimia pada titik-titik tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian komposisi kimia *as sink roll* dan logam las

Material	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Fe
1. Logam Las (Tipe 11% wt)	0,203	0,446	0,079	0,079	0,817	0,075	0,040	Bal
2. As sink roll (Tipe 21% wt)	0,448	0,272	-	0,036	0,716	0,036	0,028	Bal
STD. BS 6801	0,43 - 0,48	0,15 - 0,32	Maks.	Maks.	0,6 - 0,9	-	-	Bal
STD. AWS A5.1 E70E	Maks.	Maks.	Maks.	Maks.	Maks.	-	-	Bal

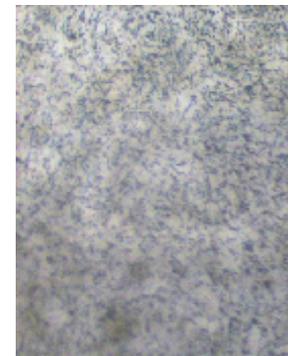
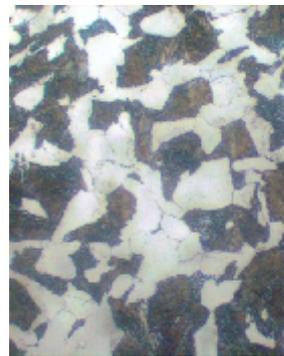
Sesuai dengan Tabel 1 diatas, material dari *as sink roll* analog dengan standar JIS G4051 S45C yang merupakan standar material untuk *Carbon Steels for Machine Structural Use*. Proses pengelasan untuk material S45C memerlukan perhatian khusus terutama bila komponen nantinya mengalami pembebanan lelah pada saat dioperasikan. Material elektroda untuk proses pengelasan S45C dengan metode SMAW sesuai dengan standar AWS adalah A5.1 E7018-1, akan tetapi hasil pengujian pada Tabel 1 komposisi kimia logam las memiliki perbedaan kandungan C.

Posisi pengujian kekerasan Vicker's pada daerah pengelasan *as sink roll* pada area penampang melintang dimulai dari area permukaan (*as sink roll*) sampai ke dalam (logam lasan) sebagaimana pada tabel 2.



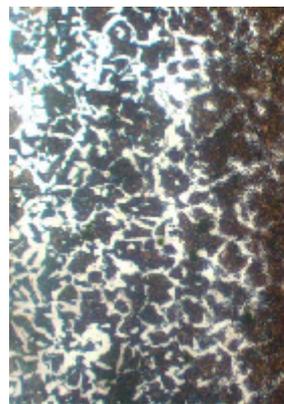
Gambar 3. Grafik hasil pengujian kekerasan terhadap jarak dari permukaan

Hasil pengujian metalografi pada penampang melintang daerah pengelasan komponen *as sink roll* dapat dilihat pada Gambar 4 – Gambar 7. Struktur mikro dari *as sink roll (base metal)* menunjukkan fasa perlit (warna gelap) dan ferit (warna terang) sebagai matriksnya. Ferit yang terkandung dalam material ini termasuk dalam *blocky ferit* dan sebagian merupakan *Widmanstatten ferit*. Sedangkan struktur mikro pada logam las menunjukkan fasa ferite dengan bentuk *acicular*, fasa perlit dan sedikit partikel sementit.



Gambar 4. Struktur mikro *as sink roll (base metal)*, fasa perlit - ferit. Etsa Nital 2%.

Gambar 5. Struktur mikro logam las, fasa ferite dengan bentuk acicular, perlit dan sedikit partikel sementit. Etsa Nital 2%.



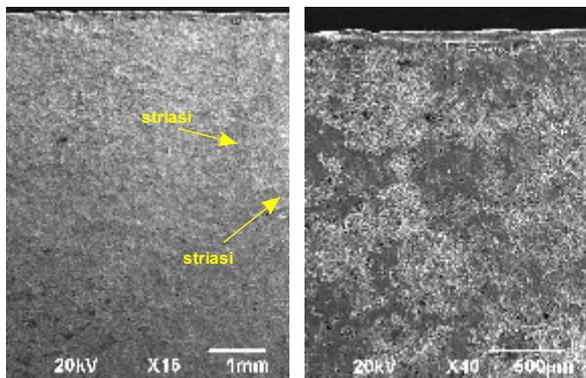
Gambar 6. Struktur mikro *base metal*, area HAZ (warna kekuningan) dan sedikit logam las. Etsa Nital 2%.

Gambar 7. Struktur mikro area HAZ (warna kekuningan) dan logam las (warna putih). Etsa Nital 2%.

Dari hasil pengujian kekerasan sesuai grafik pada Gambar 3 terlihat adanya perbedaan kekerasan antara material *as sink roll (base metal)* dengan logam las. Material logam las lebih keras dibandingkan material *as sink roll*. Perbedaan kekerasan pada kedua material ini selain karena komposisi kimia yang berbeda, juga karena perbedaan fasa, kandungan fasa sementit pada logam las memberikan kekuatan yang lebih tinggi dibanding *base metal* material *as sink roll*.

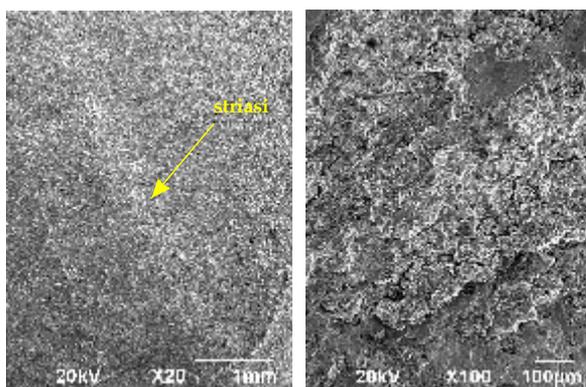
Hasil pengamatan permukaan retak dan penampang melintang *as sink roll* pada daerah las dengan menggunakan SEM dapat dilihat pada Gambar 8 – 13. Gambar 8 menunjukkan hasil fraktografi pada permukaan *as sink roll*

hasil SEM, menunjukkan adanya garis striasi yang menandakan telah terjadi pembebanan berulang. Sedangkan pada Gambar 9 menunjukkan hasil fraktografi pada bagian tepi permukaan terlihat adanya morfologi *cleveagelike fracture* (pada area lingkaran).



Gambar 8. Fraktografi pada permukaan *as sink roll*.

Gambar 9. Fraktografi bagian tepi permukaan patahan logam las.



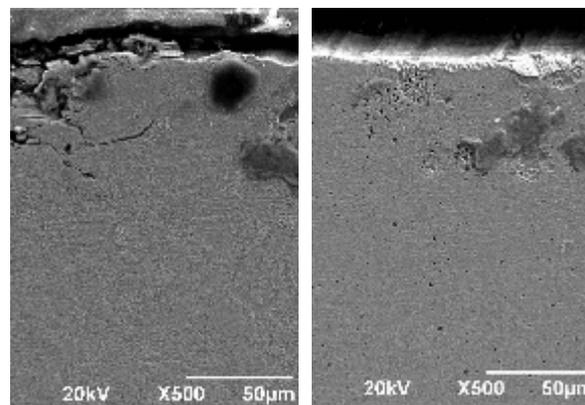
Gambar 10. Fraktografi pada daerah tepi permukaan patahan hasil SEM, terlihat adanya striasi yang sangat halus.

Gambar 11. Perbesaran dari area lingkaran warna merah, terlihat adanya retakan-retakan memanjang pada bagian tepi permukaan patahan.

Adanya bentuk *cleveagelike fracture* atau menyerupai tangga pada Gambar 9 dan 10 merupakan tahap awal dari retak *fatigue*, dimana biasanya bentuk tersebut muncul jika tegangan yang dialami komponen rendah dengan siklus perulangan yang tinggi.

Retakan mikro juga teramati pada daerah tepi retakan pada Gambar 11, retakan mikro tersebut akan mengawali terjadinya *fatigue*

pada komponen *as sink roll*. Pembebanan berulang yang dialami komponen selama operasi menyebabkan retak mikro yang telah terbentuk menjalar dan akhirnya mencapai dimensi yang cukup signifikan untuk menyebabkan terjadinya patah atau gagal.

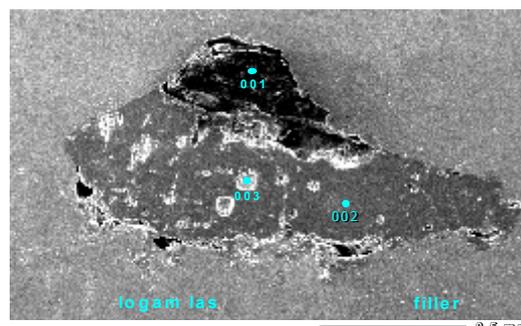


Gambar 12. Penampang melintang *as sink roll* pada area retak.

Gambar 13. Penampang melintang logam las pada area retak, tampak adanya mikroporositas.

Gambar 12 dan Gambar 13 menunjukkan hasil pengujian SEM pada penampang melintang material *as sink roll* dan logam las pada daerah permukaannya terlihat adanya daerah hitam (inklusi) dan lubang-lubang hitam atau mikroporositas. Mikroporositas dan inklusi yang terdapat di dalam material memungkinkan munculnya retak mikro dikarenakan adanya ketidaksinambungan (diskontinuitas) penyebaran tegangan yang dialami komponen selama operasi.

Hasil pengujian SEM dan EDS pada penampang melintang disekitar daerah logam las dan HAZ dapat dilihat pada Gambar 14 dan tabel data EDS untuk Titik 1, Titik 2 dan Titik 3.



Gambar 14. Titik pengujian EDS pada inklusi yang ditemukan pada penampang melintang logam las dan HAZ.

Hasil pengujian EDS pada Titik 1 :

```
EDS Method Standardless Quantitative Analysis
Fitting Coefficient : 0.8725
Element      (Wt%)  Mass%  Ratio%  Abund Compound  Mass%  Cation  Z
O  K      0.077  75.35  0.25  48.22
O  K      0.025  27.35  0.27  21.22
Total          100.00          100.00
35.7187
14.7327
```

Hasil pengujian EDS pada Titik 2 :

```
EDS Method Standardless Quantitative Analysis
Fitting Coefficient : 0.8854
Element      (Wt%)  Mass%  Ratio%  Abund Compound  Mass%  Cation  Z
O  K      0.525  56.14  0.51  50.01
Al  K      1.436  1.32  0.14  4.17
Si  K      1.736  17.32  0.14  11.17
Mn  K      3.512  3.32  0.14  2.13
Ca  K      4.437  4.25  0.12  3.50
Ti  K      4.535  25.31  0.21  17.21
Fe  F      5.734  17.38  0.33  3.02
Fe  F      5.735  17.37  0.33  3.01
Total          100.22          100.00
14.6626
3.0238
11.6852
4.1685
7.3741
16.5750
15.7336
5.7037
```

Hasil pengujian EDS pada Titik 3 :

```
EDS Method Standardless Quantitative Analysis
Fitting Coefficient : 0.8205
Element      (Wt%)  Mass%  Ratio%  Abund Compound  Mass%  Cation  Z
O  K      0.525  22.35  0.61  45.28
Al  K      1.436  1.25  0.13  1.55
Si  K      1.734  3.29  0.17  3.75
Mn  K      3.512  1.37  0.12  0.80
Ca  K      3.650  0.37  0.10  0.75
Ti  K      4.530  22.42  0.24  35.37
Fe  F      5.834  5.14  0.17  4.50
Fe  F      6.368  0.37  0.13  5.42
Total          100.00          100.00
5.8254
1.5025
1.4074
1.5510
1.4553
64.5184
4.5057
1.4260
```

Selain itu dari penampang melintang daerah logam las dan HAZ, ditemukan adanya inklusi yang merupakan persenyawaan oksida antara unsur-unsur Al, Si, K, Ca, Ti, Mn dan Fe. Inklusi ini dapat terbentuk pada saat proses pengelasan dilakukan. Hal ini dapat terjadi karena proses pengelasan yang kurang bersih, atau adanya slag yang dihasilkan dari proses pengelasan, dsb.

IV. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini memberikan kesimpulan sebagai berikut:

1. Material komponen *as sink roll* sesuai dengan standar JIS G4051 S45C untuk kategori *Carbon Steels for Machine Structural Use*.
2. Elektroda pengelasan SMAW yang sesuai untuk S45C adalah A5.1 E7018-1 sesuai standard AWS.
3. Material logam las tidak sesuai dengan standar AWS A5.1 E7018-1.

4. Kegagalan yang dialami komponen *as sink roll* merupakan kegagalan *fatigue* (lelah) dengan daerah awal retakan (*crack initiation*) berasal dari bagian tepi komponen.
5. Kegagalan ini terjadi disebabkan oleh konsentrasi tegangan pada daerah logam las selama komponen dioperasikan, adanya mikroporositas di permukaan logam las dan adanya inklusi.

Daftar Pustaka

1. ASM. Metals Hand Book Volume 11. Failure Analysis and Its Prevention.
2. JIS Standard. Handbook. Ferrous Materials and Metallurgy. Japanese Standard Association.
3. Donald J. Wulpi. Understanding How Components Fail. American Society for Metals. Ohio. 1990.
4. Kobelco Welding Handbook 2009. Welding Consumables and Processes. Kobe Steel, Ltd. Japan.