

Failure Analysis on Shaft of Circulating Water Pump at Power Plant

Gunawan Dwi Haryadi^{1,*}, Suluh Pertiwanda¹ dan Rifky Ismail¹

¹Departemen Teknik Mesin, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

*Korespondensi: gunawan_dh@ft.undip.ac.id

Abstract. This paper will discuss the probability of failure on the circulating water pump shaft that is use at power plant. Shaft is being used at normal condition to pump salt water. the material is austenite stainless steel AU 79 TY 316. 2 part of shaft is being studied, upper shaft and shaft that have failed. Upper shaft is use as comparison for shaft that failed. Composition test, Vickers hardness test, metallography and Scanning electron microscope (SEM) conducted. From testing can be concluded that failure at shaft on pump started because porosity and indication from excessive vibration caused by bearing damage. Crack begin at the center with indication of porosity. There's no alteration in chemical properties. The value of hardness on shaft that have failed fluctuate. From failed shaft it is found theres new pearlite phase. From SEM testing is is known that the conture of failed shaft is rough. Further testing to support this paper is hardness test, composition test and metallography.

Abstrak. Penelitian ini membahas kemungkinan penyebab terjadinya kegagalan pada poros *circulating water pump* yang digunakan pada pembangkit listrik. Poros tersebut digunakan dalam kondisi normal untuk memompa air garam. Material poros adalah *austenit stainless steel* AU 79 TY 316. Dua bagian poros dipelajari, poros bagian atas dan poros yang mengalami kegagalan. Poros bagian atas digunakan sebagai pembandingan poros yang mengalami kegagalan. Pengujian komposisi, pengujian kekerasan *vickers*, pengujian metalografi, dan *scanning electron microscopy (SEM)* dilakukan. Dapat disimpulkan bahwa kegagalan poros pompa terjadi karena porositas dan indikasi dari getaras yang berlebih akibat kerusakan pada bearing. Retakan utama dimulai di tengah poros yang terindikasi ada porositas. Tidak ada perubahan komposisi kimia pada obyek poros. Nilai kekerasan poros yang mengalami kegagalan sangat berfluktuasi. Terdapat fase perlit baru pada poros yang mengalami kegagalan. Kemudian kontur poros yang mengalami kegagalan pada uji SEM terlihat kasar. Pengujian tambahan untuk mendukung analisa ini adalah uji kekerasan, uji komposisi, dan uji metalografi.

Kata kunci: analisa kegagalan, poros, circulating water pump, austenit stainless steel, SEM

© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Sistem *circulating water* adalah fasilitas penting pada unit pembangkit daya termal, yang digunakan untuk memompa air laut dan kemudian memberikannya ke kondensator untuk mendinginkan uap buangan dari penukar panas. Salah satu komponen pembangun *circulating water pump (CWP)* adalah poros [1]. Poros seperti poros operator rusak yang dipelajari di sini digunakan dalam berbagai jenis mesin-mesin dan peralatan mekanis. Kebanyakan poros mengalami beban yang berfluktuasi dari gabungan bending dan torsi pada konsentrasi tegangan yang bervariasi. Material yang digunakan untuk poros ini menurut pengerjaannya adalah baja karbon, paduan baja dan baja tahan karat. Namun, beberapa masalah, seperti SCC (stres korosi retak), korosi *pitting*, korosi IG (intergranular), korosi celah, dan kelelahan kegagalan dalam poros ini kadang-kadang terjadi [2-5]. Efek utama kegagalan adalah kerja poros yang melebihi batas kelelahan dan kombinasi dari lingkungan, geometri dan tekanan bisa menjadi salah satu penyebab inisiasi

retak di lokasi kegagalan. Tahap propagasi mungkin akibat kelelahan korosi. Tahap akhir akibat tekanan mekanis [6]. Diperkirakan bahwa sekitar 90% dari semua kegagalan logam adalah karena kelelahan yang mungkin bencana dan/atau berbahaya, karena itu sering terjadi tiba-tiba dan tanpa peringatan lebih jelas [7]. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui penyebab terjadinya kegagalan pada poros CWP dengan material austenitic stainless steel AU 79 TY 316.

Metode Penelitian

Spesimen uji yang digunakan merupakan bagian dari poros CWP dengan material austenitic stainless steel AU 79 TY 316 yang telah patah. Pada gambar 1 terlihat poros CWP yang selanjutnya akan dipotong untuk dilakukan pengujian komposisi kimia, pengujian struktur mikro, pengujian kekerasan dan pengujian *scanning electron microscope (SEM)*.

Pengujian komposisi kimia ini digunakan untuk mengetahui persentase unsur kimia yang terkandung di dalam spesimen. Setiap spesimen dari poros

tersebut dilakukan pengujian menggunakan alat uji *spectrotest* TXC03 dengan standar uji ASTM E1086-14. Gambar 2 menunjukkan alat uji yang digunakan pada proses ini. Pengujian komposisi kimia dilakukan di UPTD Laboratorium Perindustrian Kabupaten Tegal.



Gambar 1. (a) Bagian poros yang patah (b) Bagian poros bagian atas

Sebelum dilakukan pengujian foto mikro, material terlebih dahulu dipotong untuk dibuat spesimen kecil dengan ukuran 1 cm × 1 cm. Selanjutnya specimen tersebut dihaluskan dengan ampelas grade 180, 240, 400, 600, 800, 1000 1200, 1500 dan 2000. Setelah spesimen dihaluskan sampai grade 2000 langkah selanjutnya adalah menghaluskan spesimen dengan menggunakan wool sehingga pada permukaan material sudah tidak tampak goresan.

Pengujian struktur mikro mengacu pada standar pengujian ASTM E407 dan dilakukan setelah spesimen uji mengalami proses *polishing* dan *etching*, hingga spesimen uji tampak mengkilap serta tidak ada goresan pada permukaan spesimen uji. Pengujian struktur mikro spesimen uji dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Universitas Diponegoro Semarang dengan menggunakan alat mikroskop OLYMPUS BX41M. Foto spesimen pengujian struktur mikro dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. (a) Spesimen poros yang patah (b) Spesimen poros bagian atas

Metode pengujian kekerasan yang digunakan adalah metode mikro *Vickers*. Pada uji vickers gaya diberikan dengan perlahan tanpa tubrukan, dan ditahan selama lima sampai lima belas detik, pada penelitian ini saya menggunakan penekanan selama 12 detik. Sesuai dengan ASTM E384, gaya yang diberikan berkisar 1-1000 gf, untuk penelitian ini saya menggunakan 0,3 Kgf. Setelah gaya dilepas, kedua diagonal diukur dan rata-ratanya digunakan untuk menghitung HV.

Sebelum dilakukan pengujian kekerasan, bagian terlebih dahulu dipotong dan di *mounting*. Selanjutnya spesimen tersebut dihaluskan dengan ampelas *grade* 180, 240, 400, 600, 800, 1000, 1200, dan 1500. Setelah permukaan benda uji rata pada, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian dengan alat *Vickers hardness tester*. Foto spesimen pengujian strukturmikro tampak pada gambar 4.



Gambar 4. (a) Spesimen poros yang patah (b) Spesimen poros bagian atas

Alat uji SEM pada gambar 5 digunakan untuk mengetahui topografi material uji. Pengujian ini dilakukan dengan alat *scanning electron microscope* (SEM) JEOL JSM 6510-LA di UPT Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro. Pengujian dilakukan hanya pada daerah awal terjadinya keretakan dari bagian poros yang patah.



Gambar 5. Spesimen pengujian SEM

Hasil dan Pembahasan

Dari pengujian komposisi kita mendapatkan persentase kandungan kimia untuk poros yang patah & poros bagian atas. Dari data pengujian tersebut kita dapat membandingkannya dengan persentase kandungan kimia poros yang normal berdasarkan referensi. Pengujian komposisi kimia ini menggunakan standar ASTM E1086-14. Tabel 1 dan 2 menampilkan hasil pengujian komposisi kimia pada poros bagian atas dan poros yang patah.

Tabel 1. Hasil pengujian komposisi kimia material poros bagian atas.

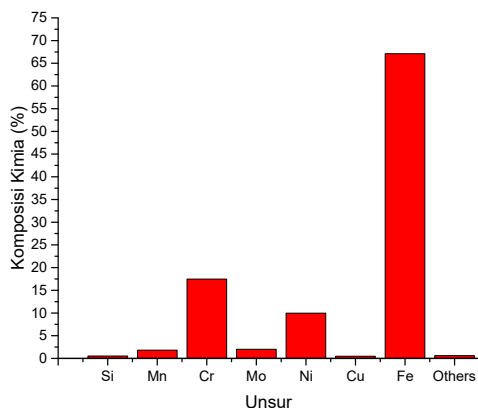
Unsur	Chemical Composition (%)
Cr	17,47
Ni	9,97
Mo	2,01
Mn	1,82
Si	0,53
Cu	0,49

C	0,02
---	------

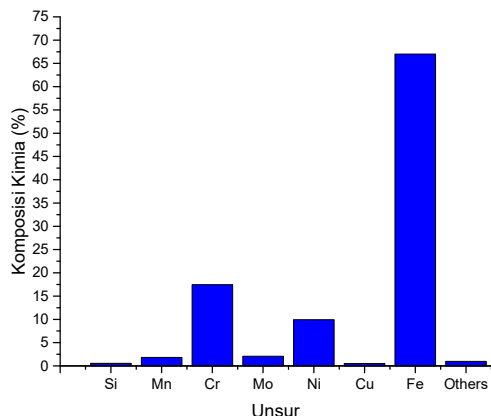
Tabel 2. Hasil pengujian komposisi kimia material poros yang patah.

Unsur	Chemical Composition (%)
Cr	17,45
Ni	9,93
Mo	2,08
Mn	1,82
Si	0,55
Cu	0,5
C	0,02

Dari data pengujian kedua spesimen diatas, jika kita bandingkan dengan komposisi kimia baja tahan karat austenit tipe 316 normal yang berdasarkan Data Sheet AK Steel Corporation tahun 2007 [9] memiliki syarat prosentase C, Mn, dan Si maksimal 0.08%, 2%, 0,75%, dan Ni, Mo, dan Cr diantara 10-14%, 2-3%, 16-18% maka kedua spesimen baja tersebut termasuk ke dalam baja tahan karat austenit tipe 316.



Gambar 6. Komposisi kimia poros bagian atas.

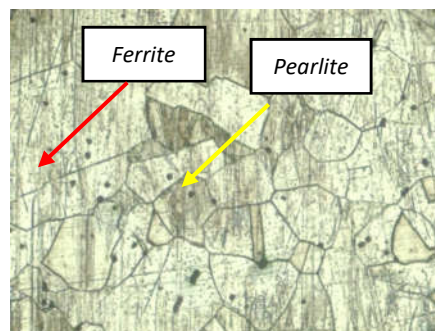


Gambar 7. Komposisi kimia poros yang patah.

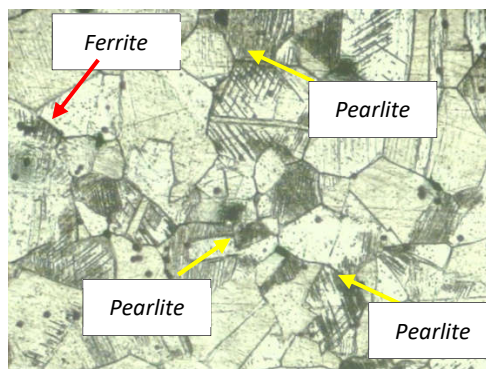
Gambar 6 dan 7 menunjukkan hasil uji komposisi kimia poros bagian atas dan poros yang patah. Hasil pengujian tersebut menjelaskan perbedaan prosentase untuk beberapa unsur pada kedua poros yang telah diuji. Prosentase terbesar dari unsur

poros bagian atas adalah Fe (67,1%), unsur-unsur yang lain juga dapat dilihat pada grafik dibawah ini masing-masing untuk Cr, Ni, Mo, Mn, Si, dan Cu adalah 17,56%, 9,97%, 2,01%, 1,82%, 0,53% dan 0,49%. Disisi lain hasil pengujian komposisi poros yang sudah patah adalah Fe (67%), unsur-unsur yang lain juga dapat dilihat pada grafik dibawah ini masing-masing untuk Cr, Ni, Mo, Mn, Si, dan Cu adalah 17,45%, 9,93%, 2,08%, 1,82%, 0,55% dan 0,5%. Hasil tersebut menjelaskan bahwa poros bagian atas dan poros yang patah mempunyai komposisi yang hampir sama. Jadi dilihat dari pengujian diatas standar pemilihan material yang didasarkan dari komposisi unsur sudah sama.

Analisa foto mikro didasarkan pada fenomena perbedaan-perbedaan yang terlihat pada masing-masing material uji atau spesimen seperti kandungan *ferrite/pearlite* dan ukuran butir dari struktur mikro yang terbentuk, dimana kedua komponen ini berpengaruh terhadap sifat-sifat mekanik yang ditimbulkan oleh material. Dari hasil foto mikro diketahui bahwa material poros bagian atas dan material poros yang patah, struktur mikro yang terbentuk terdiri dari butir *ferrite* dan *pearlite* yang terdistribusi secara acak. Terlihat juga dari hasil foto mikro ini bahwa bagian yang berwarna gelap menunjukkan butir *pearlite* sedangkan bagian yang berwarna terang menunjukkan butir struktur *ferrite* [10].



Gambar 8. Struktur mikro poros bagian atas

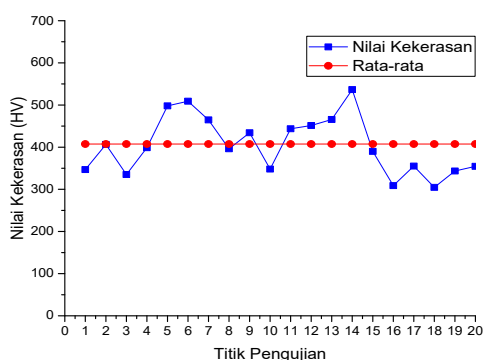


Gambar 9. Struktur mikro poros yang patah

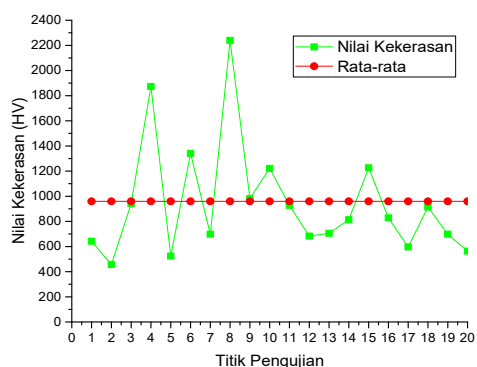
Gambar 8 dan 9 menunjukkan bahwa tanda panah merah merupakan fasa ferit sedangkan tanda

panah kuning merupakan fasa perlit. Terlihat juga pada poros yang patah (gambar 8) lebih banyak mengandung fasa *pearlite* (berwarna gelap). Butir *ferrite* cenderung lebih halus dan lunak sedangkan butir *pearlite* lebih kasar dan keras karena mengandung karbon. Dengan timbulnya struktur perlit maka sifat material tersebut berubah menjadi keras dan getas.

Untuk mengetahui nilai kekerasan pada spesimen pada penelitian ini, dilakukan pengujian kekerasan mikro Vickers. Pengujian menggunakan 2 spesimen, yaitu spesimen poros bagian atas dan spesimen poros yang patah dimana setiap spesimen dilakukan penetrasi sebanyak dua puluh kali dengan jarak setiap 1mm. Menurut M.A. Khattak dkk., kekerasan baja tahan karat austenit tipe 316 bernilai 159-173 HV [11]. Dari nilai kekerasan di atas dapat dibuat grafik distribusi pengujian kekerasan tiap titik pengujian seperti dapat dilihat pada gambar 10 dan 11.



Gambar 10. Hasil uji kekerasan poros bagian atas

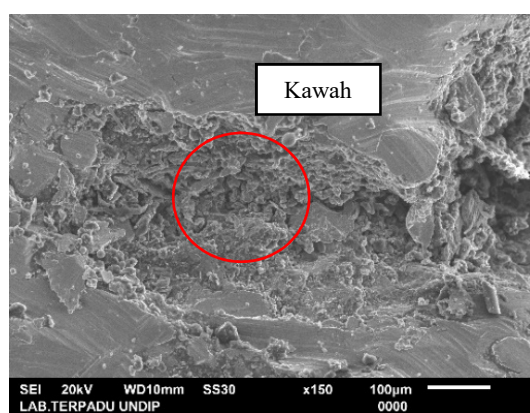


Gambar 11. Hasil uji kekerasan poros yang patah.

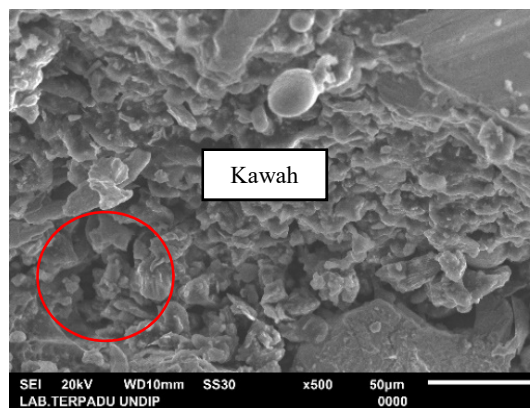
Dari grafik pengujian diatas memperlihatkan bahwa telah terjadi kenaikan kekerasan yang cukup tinggi pada masing-masing spesimen. Kekerasan pada poros bagian atas memiliki nilai yang tinggi jika dibandingkan dengan standarnya dan juga kekerasannya hampir sama disetiap titik sedangkan di objek pengujian kekerasan poros yang patah dapat dijelaskan bahwa kekerasannya jauh lebih tinggi jika dibandingkan poros bagian atas dan

memiliki perbedaan kekerasan yang sangat fluktuatif.

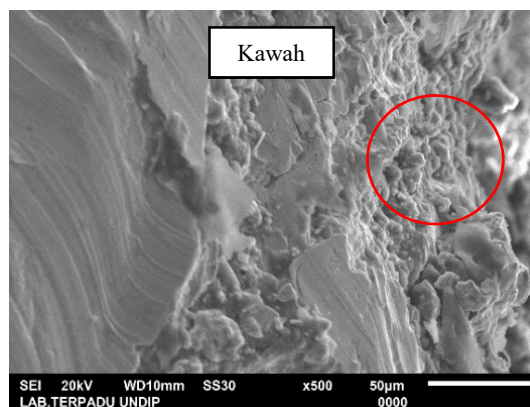
Kekerasan yang sangat fluktuatif tersebut disebabkan karena pada poros yang patah mengandung lebih banyak fasa perlit dibandingkan poros bagian atas. Akibat dari kekerasan yang tinggi dan berada pada lingkungan korosif, dapat terbentuk *stress corrosion cracking* (SCC) [7]. SCC dapat menyebabkan kegagalan tiba-tiba yang tak terduga dari poros tersebut. Hasil pengujian kekerasan pada poros yang patah cenderung lebih tinggi dibanding poros bagian atas, hal ini dapat menjelaskan bahwa dengan tingkat kekerasan yang tinggi menghasilkan laju perambatan retak yang cepat dibanding dengan tingkat kekerasan yang rendah.



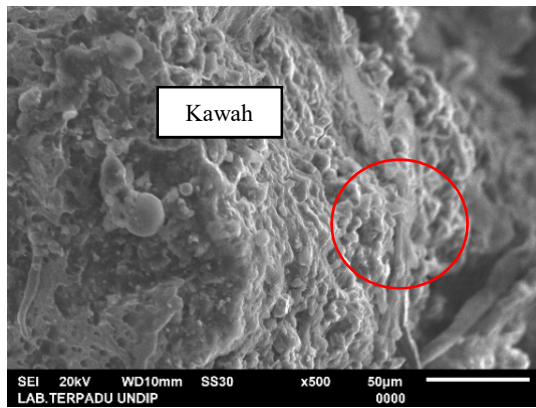
(a)



(b)



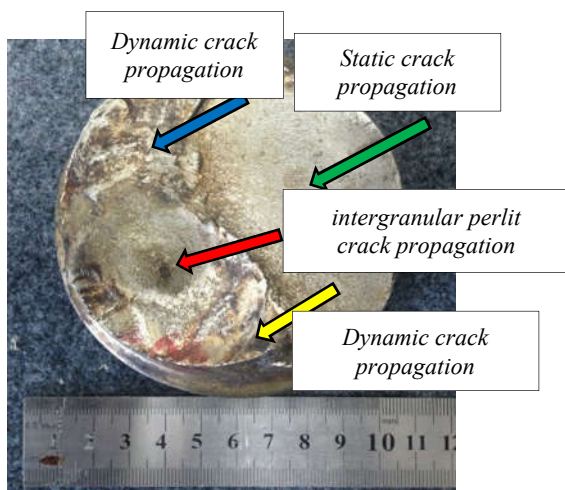
(c)



(d)

Gambar 12. Hasil pengujian SEM pada daerah awal terjadinya retakan

Dari hasil pengujian SEM (gambar 12), dapat dijelaskan bahwa daerah yang menjadi acuan observasi mengalami patah getas (*brittle*). Patah getas yang dialami oleh poros yang patah tersebut dapat dijelaskan dengan kontur foto SEM yang ditandai dengan lingkaran, terlihat sangat kasar karena daerah tersebut mempunyai sifat yang getas dan mempunyai kekerasan yang tinggi.



Gambar 13. Proses terjadinya retak hingga mengalami kegagalan

Pada gambar 13 dapat dijelaskan bahwa pada tanda panah merah merupakan awal terjadinya retak, hal ini berdasarkan pada permukaan yang paling kasar dengan mempunyai nilai kekerasan yang tinggi. Hasil pengamatan atau pengujian metalografi terlihat bahwa batas butir masih terlihat di daerah awal terjadinya retak, diposisi tersebut terjadi intergranular cracking growth dimana kegagalan terjadi pada batas butir.

Untuk tanda panah biru dan kuning merupakan retak lanjutan dari intergranular, dimana retak yang terjadi menabrak batas-batas butir, hal tersebut dinamakan *dynamic crack propagation*. Kemudian tanda panah berwarna hijau menjelaskan keadaan dimana material tersebut tidak dapat menahan beban lagi dikarenakan sebagian besar daerahnya

sudah terjadi retak akhirnya poros akan patah dengan cepat, daerah ini dinamakan *static crack propagation*.

Kesimpulan

Dari hasil pengujian komposisi kimia tidak terjadi perubahan komposisi antara 2 bagian poros yang diuji. Dari pengujian metalografi terlihat banyak terbentuk perlit baru, membuktikan bahwa material tersebut menjadi getas & mudah patah. Dari pengujian kekerasan poros yang patah memiliki nilai kekerasan sangat tinggi dan fluktuatif sehingga akan mudah mengalami patah. Dari uji SEM menunjukkan bahwa topografi pada daerah awal terjadinya retak sangat kasar hal tersebut menunjukkan bahwa didaerah tersebut kekerasannya tinggi & getas. Poros patah akibat adanya porositas, maka dari itu retakan awal berada dibagian dalam poros bukan di sekelilingnya.

Referensi

- [1] Pluvinage, G. and Elwany, M.H., 2007, *Safety, Reliability and Risks Associated with Water, Oil and Gas Pipelines*, Springer Science & Business Media.
- [2] C. F. Arisoy, G. Basman, and M. K. Sesen, Eng. Fail. Anal. 10, 711 (2003).
- [3] Fantechi and M. Innocenti, Eng. Fail. Anal. 8, 477 (2001).
- [4] J. J. Kim and J. D. Lee, Kor. J. Met. Mater. 46, 809 (2008).
- [5] D. H. Ping and M. Ohnuma, Meter. Sci. Eng. 394, 285 (2005).
- [6] Alduqri, Y.A.A., 2010. "Case study report: failure analysis of centrifugal pump shaft". Universiti Teknologi Malaysia (UTM), Nov 23 2010, 11p.
- [7] Callister, W.D.: *Materials Science and Engineering an Introduction*, 7th edn., pp. 227–238. John Wiley & Sons Inc, NY (2007).
- [8] ASTM E384-99, 2002, *Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials*, ASTM International.
- [9] Data Sheet AK Steel Corporation, Product Data Sheet 316/316L Stainless Steel, 2007.
- [10] Hanafi, A., 2005, *Analisa Laju Perambatan Retak Di Daerah Pengaruh Panas (HAZ) Pada Baja Tahan Karat Tipe A.I.S.I 304 Dengan Perlakuan dan Tanpa Perlakuan*, Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS, Surabaya.

- [11] Khattak M.A., Tamin M.N., Kazi S., Badshah S., Khan Rafiullah, Iqbal N., Static Fracture Mechanisms of SS316 Austenitic Stainless Steel Strip Liners in Reactor Pressure Vessel (RPV), *Medical Devices & Technology*.