

Hydrogen Induced Cracking Testing in 3.5 wt% NaCl Environment Using Cantilever Bending

Mudjijana^{1,*}, Mochammad Noer Ilman¹ dan Priyo Tri Iswanto¹

¹Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta

*Korespondensi: mudjijana@ugm.ac.id

Abstrac. Hydrogen induced cracking (HIC) is a condition where hydrogen atomic entry into the grain boundaries of a material and then the hydrogen atomic change into hydrogen molecule which cause cracking. It is also called hydrogen embrittlement. The purpose of this research carried out the hydrogen induced cracking test with cantilever bending in the 3.5 wt% NaCl environment based on patent number of P00201608022. The first step was manufacture of cantilever bending test which refer to the scheme of Brown and Beachem and ASTM E 1681. The specimens of AA5083H116 were made refer to the notched Izod samples (ASTM E - 23). All specimens were given constant load amount 40 N. All specimens were loaded for 1 week (specimen 1), 2 weeks (specimen 2) and 3 weeks (specimen 3). During the loading, specimens were immersed in liquid 3.5wt% NaCl in the notch area. After the test was completed, fracture surface was observed by SEM and EDS, and measure the crack depth with an optical microscope. The hardness test after HIC testing show that Vickers hardness value increase of 37%. The SEM observation results, explain that the cracking mechanism is intergranular and transgranular fracture. There is magnesium hydride (MgH₂) at the crack area which observed by SEM. The crack propagation is affected by the fracture of hydrides that can be observed from the SEM and EDS result. There is a relationship between stress intensity factor, crack propagation, crack depth and deflection.

Abstrak. Hydrogen induced cracking (HIC) adalah kondisi dimana atom hydrogen masuk kedalam grain boundaries dari material dan atom hydrogen berubah menjadi molekul hydrogen yang menyebabkan cracking. Hal ini disebut juga sebagai hydrogen embrittlement. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa hydrogen induced cracking dengan cantilever bending dalam kondisi 3.5 wt% NaCl bebabasis no paten P00201608022. Tahap pertama adalah memanutakur tes cantilever bending dengan acuan skema brown dan beachem dan ASTM E 1681. Specimen AA5083H116 dibuat dengan acuan notched izod sample (ASTM E – 23). Semua specimen diberi beban konstan sebesar 40 N. semua specimen dibebani selama 1 minggu (spesimen 1) 2 minggu (spesimen 2), dan 3 minggu (spesimen 3). Selama pembebanan spesimen direndam dalam larutan NaCl 3.5 wt% pada area notch. Setelah test selesai, patahan pada permukaan di amati oleh SEM dan EDS, dan mengukur kedalaman crack dengan mikroskop optis. Test kekerasan setelah tes HIC menunjukkan nilai kekerasan Vickers naik 5=37%. Observasi sem menunjukkan bahwa mekanisme crack pada intergranular dan transgranular.

Kata kunci: AA5083 H116, hydrogen induced cracking, stress intensity factor, magnesium hydride

© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Alat transportasi merupakan kebutuhan vital manusia pada zaman sekarang. Indonesia merupakan salah satu Negara kepulauan. Oleh karena itu, kapal merupakan salah satu alat transportasi yang sangat penting di Indonesia. Industri perkapalan di dunia sudah mengalami kemajuan yang pesat. Aluminium paduan dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan kapal. Penggunaan aluminium paduan pada dunia perkapalan digunakan sebagai pengganti besi atau baja. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, aluminium paduan seri 5xxx yang memiliki sifat tahan terhadap korosi dan memiliki kekuatan tarik yang sama besar dengan material

baja dapat digunakan sebagai bahan dasar untuk produksi kapal.

Aluminium paduan yang banyak digunakan untuk pembuatan kapal adalah aluminium dengan seri AA5083H116. Aluminium paduan 5083 merupakan paduan logam ringan karena mempunyai berat jenis 2,7 gr/cm³ kurang dari 4,5 gr/cm³ [1]. Material tersebut dipilih karena mempunyai kekuatan tarik tinggi dan juga tahan terhadap korosi. Namun aluminium paduan juga dapat mengalami penggetasan hidrogen pada lingkungan air laut (3,5 wt% NaCl) [2]. Pada penelitian yang dilakukan oleh Panagoupolos, dkk (2007) [3] dengan specimen aluminium AA5083 menggunakan alat *hydrogen charging test* dapat disimpulkan bahwa sema-

kin lama pemberian hidrogen akan menurunkan pula keuletan aluminium AA5083 (bahan menjadi lebih getas).

Tujuan penelitian ini adalah melakukan pengujian *hydrogen induced cracking* (HIC) material AA5083H116 di lingkungan 3,5 wt% NaCl menggunakan alat uji *cantilever bending* berdasarkan nomor paten P00201608022 [4]. Hasil pengujian dapat digunakan untuk memprediksi umur kapal dan menyelidiki mekanisme patah serta presipitat magnesium hidrida yang terdapat pada daerah retakan.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan bahan aluminium paduan AA5083H116 dengan ukuran *as received* 2400 mm x 120 mm x 3 mm dan komposisi kimianya disajikan pada tabel 1. Aluminium lembaran tersebut dipotong sesuai dengan jenis pengujian yang akan dilakukan. Jenis pengujian yang dilakukan adalah pengujian kekerasan Vickers dan pengujian HIC dengan *cantilever bending*, selanjutnya permukaan patah hasil uji HIC diamati panjang retaknya dengan mikroskop optic, jenis patahan dan kandungan unsur pada permukaan diamati dengan SEM dan EDS.

Tabel 1. Komposisi kimia *as received* AA5083H116

%Al	%Si	%Fe	%Cu	%Mn	%Mg	%Cr	%Ni	%Zn	%Ti
94.31	0.16	0.29	0.022	0.57	4.50	0.088	0.0081	0.021	0.027

Pada penelitian ini pengujian kekerasan menggunakan metode Vickers dan dilakukan sebelum dan sesudah pengujian HIC. Pengujian ini menggunakan indenter berupa piramida intan dengan sudut 136°. Beban yang digunakan sebesar 30 Kg (294 N). Nilai kekerasan Vickers (VHN) dapat ditentukan dengan persamaan (1) setelah mengukur panjang diagonal rata – rata (l) dari bekas injakan penetrator.

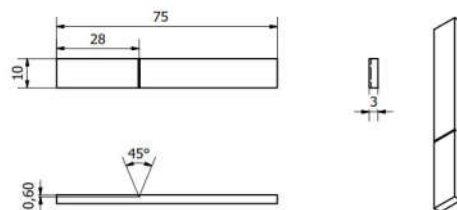
$$VHN = \frac{2P \sin(\theta/2)}{l^2} \tag{1}$$

dimana P adalah beban yang digunakan (kg), l adalah panjang diagonal rata-rata dari bekas penekanan (mm) dan θ adalah sudut bekas penekanan piramida intan yang berlawanan (136°).

Alat uji HIC dibuat dengan mengacu pada skema Brown and Beachem [5] serta ASTM E-1681 [6]. Spesimen HIC mengacu pada ASTM E-23 [7] serupa spesimen Izod ditunjukkan pada gambar 1.

Pada daerah takikan direndam dengan cairan 3,5 % wt NaCl dan diaerasi menggunakan pompa aquarium. Beban yang digunakan sebesar 40 N [56 % x K_{IC} (43 MPa√m) [8]. Pembebanan dilakukan pada 3 spesimen, spesimen 1 (seminggu = 188 jam), spesimen 2 (2 minggu = 376 jam), spesimen 3 (3

minggu = 564 jam). Cairan diganti tiap seminggu sekali untuk menjaga sirkulasi sistem agar level aerasinya tetap terjaga konstan.



Gambar 1. Spesimen Izod untuk uji HIC menggunakan *cantilever bending*



Gambar 2. Pengujian HIC

Setelah pengujian HIC selesai kemudian dilakukan pengamatan permukaan retak setelah dipatahkan dengan nitrogen cair. Pengamatan dilakukan menggunakan SEM serta pengukuran panjang retak dengan menggunakan mikroskop optik. Faktor intensitas tegangan dapat ditentukan dengan persamaan (2).

$$K_I = \frac{6M}{(B \cdot B_N)^{0.5} (W-a)^{1.5}} F \tag{2}$$

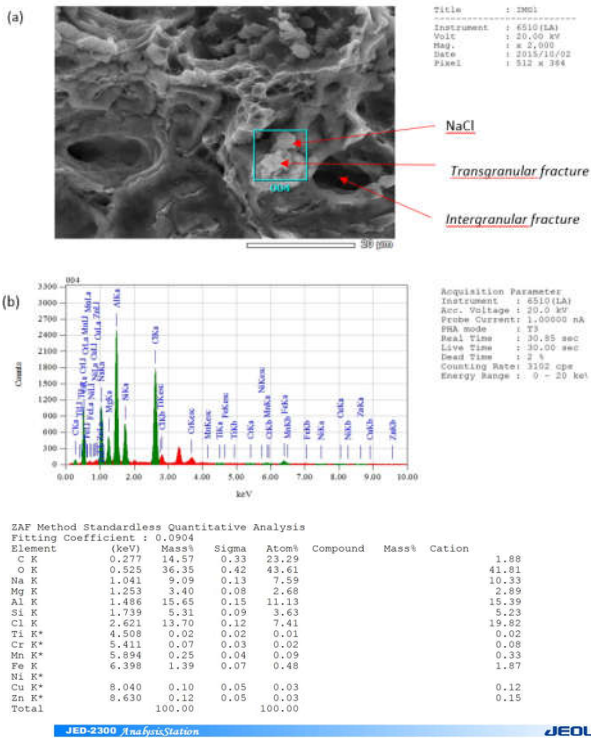
dimana M adalah momen lengkung (Nmm), B adalah lebar specimen (mm), B_N adalah lebar specimen dikurangi dalamnya alur (mm), a adalah panjang retak (mm) dan W adalah dalamnya specimen, 3 mm.

Hasil dan Pembahasan

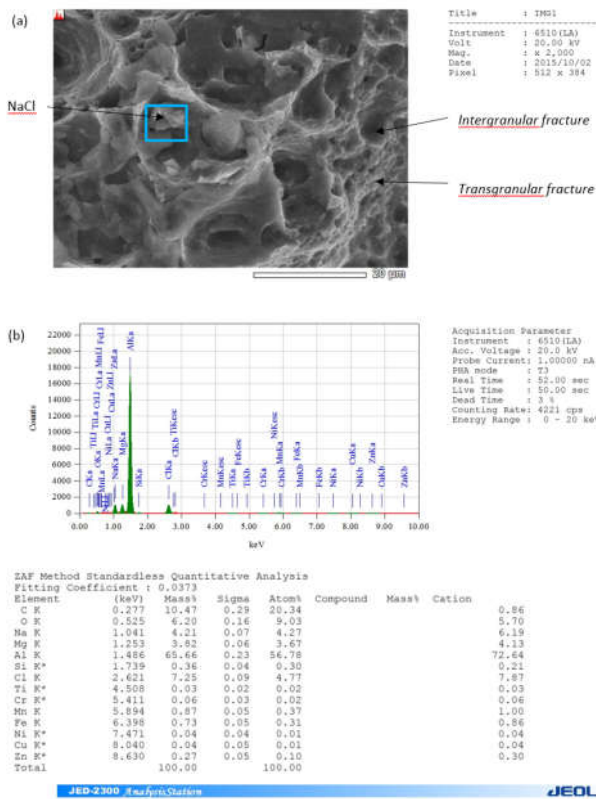
Pengujian kekerasan pada *as received* material AA5083H116 dilakukan sebelum pengujian HIC. Pengujian ini dilakukan pada 5 titik kemudian diambil nilai rata-rata. Kekerasan Vickers rata-rata didapatkan 93, 35 kg/mm².

Setelah pengujian HIC juga dilakukan pengujian kekerasan Vickers disekitar permukaan patahan, didapatkan nilai rata-rata 128, 63 kg/mm². Kenaikan nilai kekerasan Vickers setelah dilakukan uji HIC menunjukkan bahwa telah terjadi peristiwa penggetasan yang ditandai dengan meningkatnya

nilai kekerasan Vickers disekitar retakan HIC sebesar 37 %.



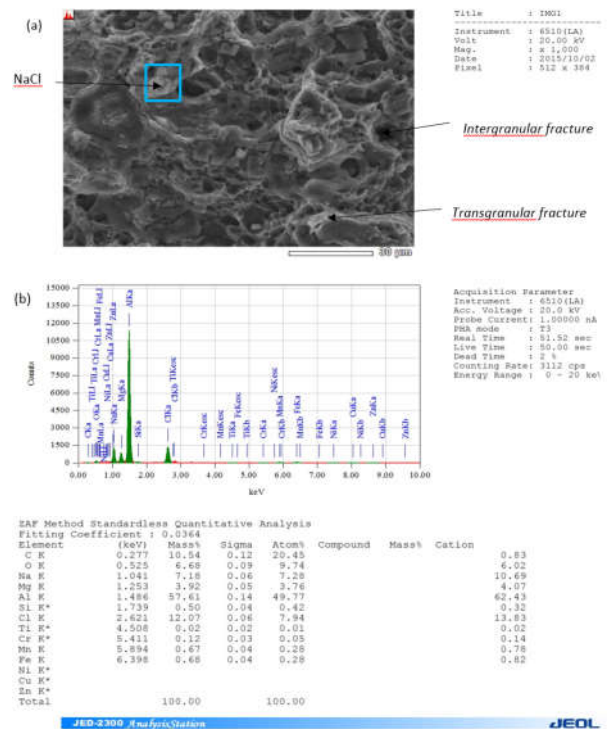
Gambar 3. Fraktografi SEM dan analisis unsur EDS spesimen 1



Gambar 4. Fraktografi SEM dan analisis unsur EDS spesimen 2

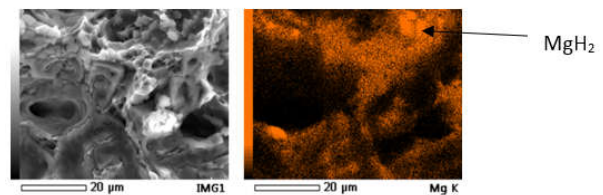
Daerah retakan kemudian dilakukan pengamatan fraktografi menggunakan SEM dan analisis unsur

menggunakan EDS hasilnya ditunjukkan pada gambar 3, 4 dan 5. Permukaan patah pada gambar 3a, 4a, dan 5a menunjukkan bahwa permukaan hasil patahan berbentuk ceruk (*dimple*) dan rata yaitu patah *intergranular* (*intergranular fracture*) dan *transgranular* (rata). Hasil pengamatan dengan SEM ditemukan presipitasi berupa magnesium hidrida (MgH_2). Hasil pengamatan EDS ditunjukkan pada gambar 3b, 4b dan 5b, ada tambahan unsur berupa Na dan Cl dengan jumlah rata-rata dari ketiga spesimen adalah 6,65 % dan 9,698 % dimana kedua endapan itu merupakan endapan dari cairan yang digunakan pada saat pengujian *cantilever bending* yaitu NaCl 3,5 wt %.

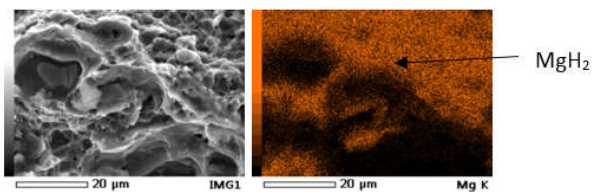


Gambar 5. Hasil fraktografi SEM dan analisis unsur EDS spesimen 3

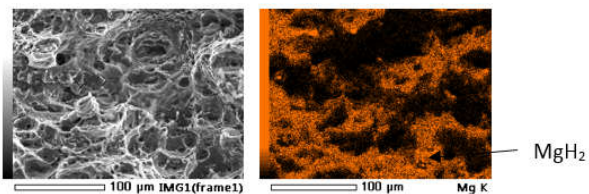
Apabila dibandingkan dengan komposisi *received* terdapat kecenderungan penurunan jumlah unsur paduan (misalnya unsur Mg). Hal itu disebabkan adanya korosi pada bahan AA5083 H116 pada saat pengujian HIC dengan *cantilever bending* terbukti adanya presipitasi MgH_2 ditunjukkan pada gambar 6, 7, dan 8.



Gambar 6. Presipitasi magnesium hidrida (MgH_2) pada spesimen 1

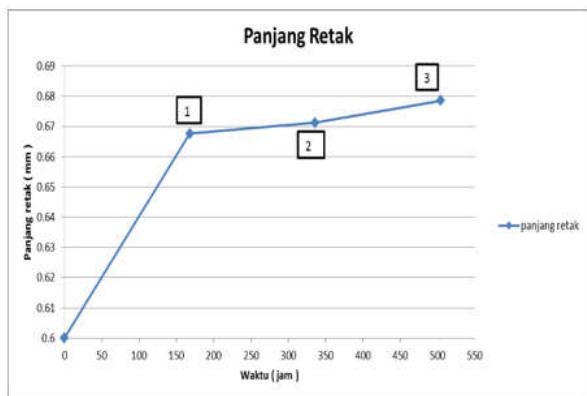


Gambar 7. Presipitasi magnesium hidrida (MgH_2) pada spesimen 2

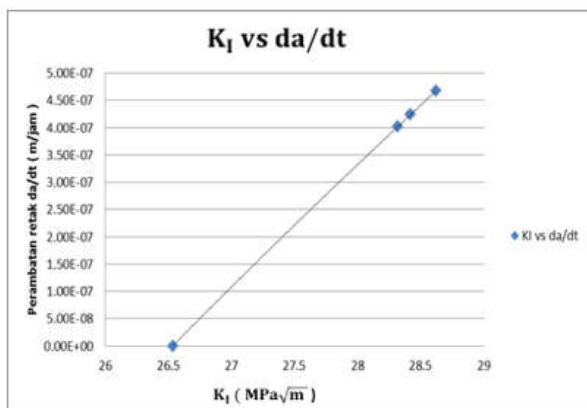


Gambar 8. Presipitasi magnesium hidrida (MgH_2) pada spesimen 3

Karakterisasi HIC diinterpretasikan dengan grafik hubungan antara panjang retak vs waktu, perambatan retak (da/dt) vs faktor intensitas tegangan (K_I), perambatan retak (da/dt) vs defleksi (Δ), dan defleksi (Δ) vs faktor intensitas tegangan (K_I) dihitung dengan persamaan (2). Pengukuran panjang retak dilakukan dengan mikroskop optik pada 33 daerah dan di rata-rata untuk spesimen 1, 2, dan 3. Pada gambar 9 adalah panjang retak vs waktu pengujian.

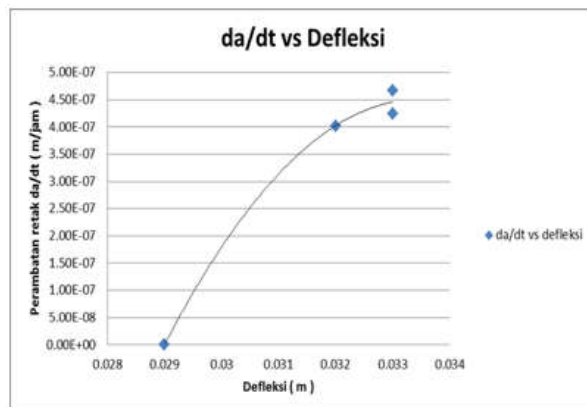


Gambar 9. Panjang retak vs waktu



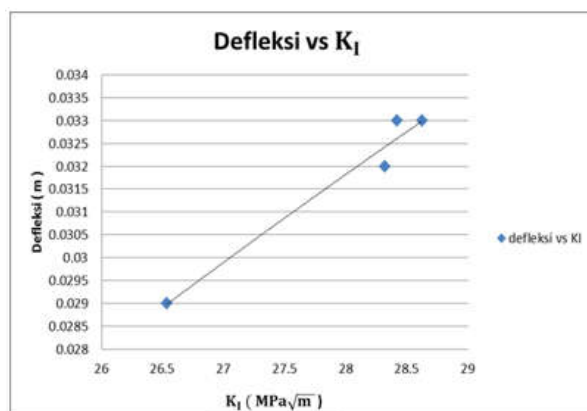
Gambar 10. Hubungan antara perambatan retak (da/dt) vs faktor intensitas tegangan (K_I)

Gambar 10 menampilkan bahwa semakin tinggi perambatan retak (da/dt) semakin tinggi pula faktor intensitas tegangan (K_I) yang terjadi.



Gambar 11. Hubungan perambatan retak (da/dt) vs defleksi (Δ)

Pada gambar 11 tampak bahwa semakin tinggi defleksi (Δ) maka perambatan retak (da/dt) juga semakin tinggi.



Gambar 12 Hubungan defleksi (Δ) vs faktor intensitas tegangan (K_I)

Gambar 12 menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai defleksi (Δ) maka semakin tinggi pula nilai faktor intensitas tegangan (K_I) atau dengan perkataan lain bahwa defleksi (Δ) dan faktor intensitas tegangan (K_I) mempunyai hubungan yang sebanding pada pengujian HIC.

Kesimpulan

1. *Hydrogen induced cracking* dipicu oleh presipitasi magnesium hidrida (MgH_2) dan peningkatan kekerasan material disekitar daerah retakan sebesar 37%. Hasil - hasil laju perambatan retak (da/dt), faktor intensitas tegangan (K_I), dan defleksi (Δ) memiliki hubungan yang sebanding.
2. Mekanisme retak adalah *intergranular* dan *transgranular fracture*, yaitu patah yang melalui batas butir dan memotong butir. Hal tersebut ditandai

dengan bentuk patahan yang berbentuk ceruk (*dimple*) dan rata.

Ucapan Terima Kasih

Disampaikan kepada DTMI FT UGM yang telah memberikan dana hibah penelitian No. 1067m / H1.17 / TMI / LK / 2015, Sdr. Singgih Adhi Susila dan Abdan Faiz Fadhlullah yang telah membantu penelitian ini.

Daftar pustaka

- [1] Ashby M.F., Jones D., R., 2013, *Engineering Material 2 An Introduction to Microstructures and Processing*, 4th Edition, Elsevier Ltd, pp. 189-192
- [2] [2] Lee, H., Ki, Y., Jeong, Y., Kim, S., 2011, Effects of Testing Variables on Stress Corrosion Cracking Susceptibility of Al 2024-T351, *Corrosion Science* 55 (2012) 10-19, Elsevier Ltd.
- [3] Panagoupolus, C.N., Georgiou, E.P., 2007, The effect of Hydrogen Charging on the Mechanical Behavior of 5083 Wrought Aluminium Alloy, *Corrosion Science* 49 (2007) 4443-4451, Elsevier Ltd.
- [4] Mudjijana, Iswanto, P.T., 2016, *Cantilever Bending untuk Uji Hydrogen Induced Cracking (HIC)*, P00201608022, Direktorat Jenderal Hak Kekayaan Intelektual, Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia R.I.
- [5] Jones, D.A., 1992, *Principles and Prevention of CORROSION*, Mcmillan Publishing Company, New York.
- [6] ASTM E1681, 2003, *Standard Test Method for Determining Threshold Stress Intensity Factor for Environment Assisted Cracking of Metallic Material*, ASTM International, 2003.
- [7] ASTM E23- 12 C, 2013, *Standard Test Method for Notched Bar Impact Testing of Metallic Material*, ASTM International.
- [8] Anonim,----- , ASM Material Data Sheet