

EVALUASI PENGARUH PERLAKUAN PANAS RRA TERHADAP KEKUATAN MEKANIK DAN PENINGKATAN KETAHANAN SCC PADUAN ALUMINIUM 7075

Enung Nurlia, Sunara Purwadaria, Eddy Agus Basuki

Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesha No. 10, Bandung

E-mail: enung.nurlia@yahoo.com

Abstrak

Pada penelitian ini telah dilakukan evaluasi pengaruh perlakuan panas RRA terhadap kekuatan dan ketahanan SCC paduan aluminium 7075. Evaluasi dilakukan dengan cara membandingkan kekuatan dan ketahanan SCC paduan aluminium 7075 T6 dan sampel paduan aluminium 7075 RRA berukuran (13x13x200) mm³ (RRA-A), dan sampel berukuran (13x45x200) mm³ (RRA-B). Kekuatan paduan ditentukan melalui uji tarik, sedang ketahanan SCC ditentukan dari waktu patah spesimen uji yang diukur menggunakan metode cantilever beam pada pembebanan tetap sebesar 0,8 kekuatan luluh bahan, dalam larutan uji yang terdiri dari 3%-berat NaCl, 0,5% H₂O₂ (30%), 100 mL/L NaOH 1 N, dan 20 mL/L CH₃COOH (100%), dengan pH 4. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa perlakuan panas RRA yang diterapkan terhadap sampel berukuran kecil (RRA-A) dapat meningkatkan ketahanan SCC paduan dengan tetap menjaga kekuatannya pada level T6. Peningkatan ketahanan SCC akibat perlakuan RRA pada sampel berukuran lebih besar (RRA-B) diiringi oleh penurunan kekuatan, yang menunjukkan bahwa paduan berada dalam kondisi overaging. Poin positif lainnya dari penerapan perlakuan RRA adalah prediksi kerusakan SCC menjadi lebih mudah.

Kata Kunci: Paduan aluminium 7075, SCC, Waktu patah, RRA

A. PENDAHULUAN

Pada awalnya paduan aluminium 7075 T6 digunakan secara luas sebagai material struktur pesawat terbang karena mempunyai kekuatan tinggi dan densitas rendah. Oleh karena dalam kondisi tersebut paduan rentan terhadap serangan SCC, maka dikembangkan perlakuan panas temper T7 (*overaging*) yang dapat memperbaiki ketahanan SCC paduan. Kelemahannya, temper tersebut menyebabkan penurunan kekuatan bahan yang cukup signifikan, sebuah kondisi yang tidak diharapkan dalam rancangan suatu struktur. Perlakuan panas Retrogresi dan Reaging (RRA), pertama kali ditemukan oleh Cina pada tahun 1974, diklaim dapat meningkatkan ketahanan SCC paduan dengan tetap menjaga kekuatannya pada level T6^[1]. Pada penggunaannya, perlakuan panas ini terbatas pada sampel berukuran kecil karena terkendala waktu retrogresi yang singkat pada temperatur tinggi.

Perlakuan panas RRA merupakan sebuah terobosan yang sangat berharga dalam pengembangan perlakuan panas paduan aluminium. Perlakuan panas ini terdiri dari dua tahap, yaitu retrogresi dan reaging. Pada tahap retrogresi, paduan dalam kondisi temper T6 dengan struktur mikro sebagian besar terdiri dari GP zones dan presipitat η' yang bersifat semi koheren, dipanaskan pada temperatur relatif tinggi (180 – 240°C) selama waktu yang singkat, sehingga pada bagian butir terjadi pelarutan GP zones dan sebagian presipitat η' berukuran kecil dan pertumbuhan presipitat berukuran lebih besar, sedang presipitat pada batas butir, yang terdiri dari presipitat η (MgZn₂), terus tumbuh dan membesar. Pada waktu reaging, GP zones dan sebagian presipitat η' yang larut, mengintai kembali dan memberi site tambahan untuk pengintian dan pertumbuhan presipitat yang sudah ada. Hasil akhirnya adalah presipitat dengan ukuran optimum yang terdistribusi secara merata. Pada batas butir terbentuk presipitat dengan ukuran yang lebih besar dengan jarak antar presipitat makin besar^[2].

Dalam paduan aluminium 7075, kekuatan paduan ditentukan oleh struktur mikro dalam butir, sedang perilaku korosinya terutama dipengaruhi oleh struktur mikro sekitar batas butir. Struktur mikro paduan RRA yang ditandai dengan distribusi yang seragam dari

presipitat η' berukuran halus dalam butir dan presipitat η berukuran cukup besar dengan jarak antar presipitat yang besar pada batas butir, memberikan kombinasi sifat yang baik antara kekuatan dan ketahanan korosinya^[3].

Penelitian yang dilakukan disini merupakan sebuah penelitian pendahuluan yang bertujuan untuk melihat sejauh mana perlakuan panas RRA tersebut dapat memperbaiki ketahanan SCC paduan aluminium 7075-T6, dan juga untuk melihat bagaimana pengaruh ukuran sampel yang mendapat perlakuan RRA terhadap ketahanan SCC paduan yang dihasilkan. Hal tersebut mengingat bahwa sampai sejauh ini, kebanyakan pengujian SCC dilakukan secara tidak langsung, seperti misalnya pengukuran konduktivitas listrik atau pengujian secara elektrokimia sampel dalam lingkungan korosif yang dikenai pembebanan. Pembatasan waktu retrogresi yang singkat pada temperatur tinggi membawa pada konsekuensi bahwa sampai sejauh ini percobaan RRA dilakukan terhadap sampel berukuran kecil atau berupa pelat tipis (tebal sampel berkisar dari 0,2-1,5 mm). Mengingat bahwa dalam aplikasinya di lapangan paduan aluminium 7075 yang digunakan sebagai material struktur mempunyai ukuran/tebal yang lebih besar, maka pada penelitian ini akan dilihat bagaimana pengaruh penambahan ukuran sampel yang mendapat perlakuan RRA terhadap sifat material yang dihasilkan.

Kedepan dari penelitian yang dilakukan, diharapkan diperoleh ide-ide baru yang dapat diterapkan secara praktis untuk mengatasi permasalahan tersebut di atas.

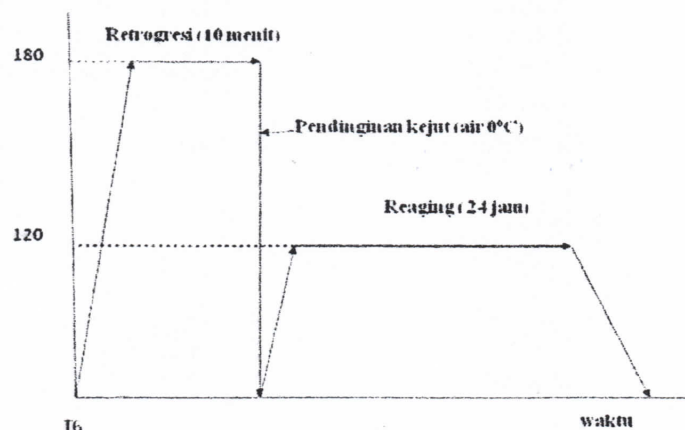
B. PERCOBAAN

Pada penelitian ini digunakan paduan aluminium 7075 yang diperoleh dari PT TIRA AUSTENITE, Tbk dengan komposisi seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi paduan Aluminium 7075 (%-berat)

Zn	Mg	Cu	Mn	Si	Fe	Cr	Ti	Ni	Al
5,4	2,4	0,14	0,22	0,14	0,23	0,19	0,09	0,01	Bal.

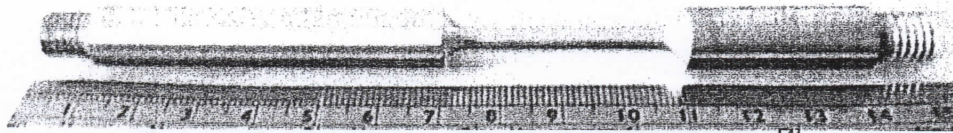
Perlakuan panas T6 dilakukan dengan cara memanaskan sampel dalam tanur pemanas pada 470°C selama satu jam, dalam atmosfer pelindung gas argon, *quenching* dalam air dingin, dan *aging* pada 120°C selama 24 jam. Perlakuan panas RRA diterapkan terhadap sampel dalam kondisi T6. Pada percobaan ini dipilih waktu retrogresi 10 menit, berdasarkan penentuan waktu retrogresi terbaik pada percobaan sebelumnya, dan temperatur 180 °C, untuk mengakomodasi sampel berukuran besar. Kondisi *reaging* yang digunakan sama dengan kondisi *aging* pada percobaan T6. Media yang digunakan untuk percobaan RRA adalah oli dengan katagori *heat transfer diffusion oil* Shell Thermia Oil B. Waktu retrogresi dihitung setelah sampel mencapai temperatur yang diinginkan. Skematis perlakuan panas RRA dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skematis perlakuan panas RRA

Penentuan ketahanan SCC dilakukan dengan menentukan waktu patah (t_f) spesimen uji pada pembebanan tetap sebesar 0,8 kekuatan luluh bahan, dalam larutan uji yang terdiri dari 3%-berat NaCl, 0,5% H₂O₂ (30%), 100 mL/L NaOH 1 N, dan 20 mL/L CH₃COOH (100%), pH 4, menggunakan metode *cantilever beam*. Spesimen dengan waktu patah paling lama merupakan spesimen dengan ketahanan SCC paling baik.

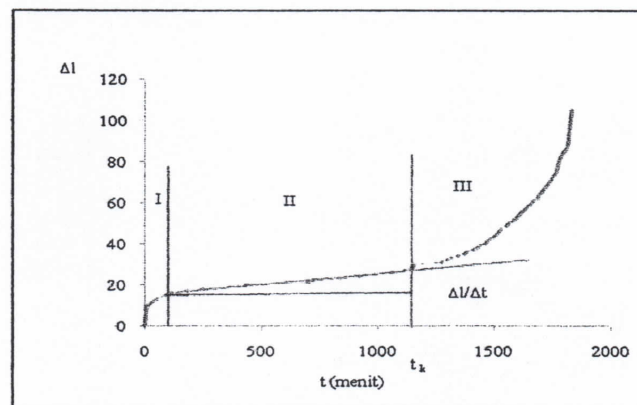
Spesimen uji pada percobaan ini dibuat berbentuk batang dengan dimensi spesimen uji dapat dilihat pada Gambar 2. Dimensi sampel uji SCC (mm) adalah G - *gage length* $30,0 \pm 0,01$; D - diameter $4,00 \pm 0,01$; R- *radius of fillet* 5; A - *length of reduced section* 40



Gambar 2. Bentuk dan dimensi spesimen uji SCC^[4].

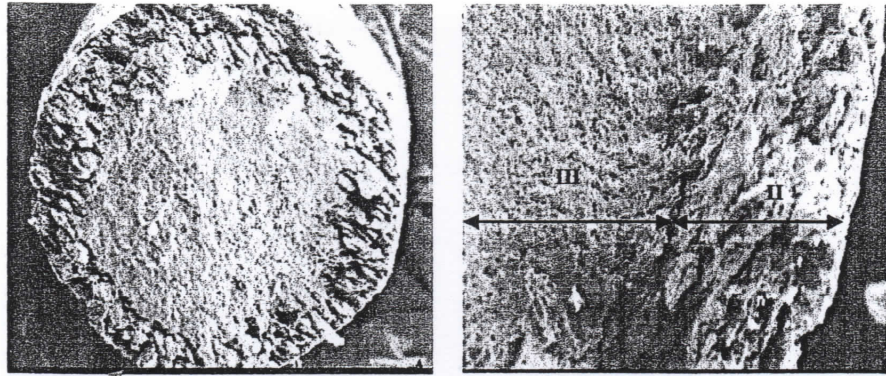
C. PEMBAHASAN

Bentuk umum kurva hasil pengujian ketahanan SCC dapat dilihat dalam Gambar 3.



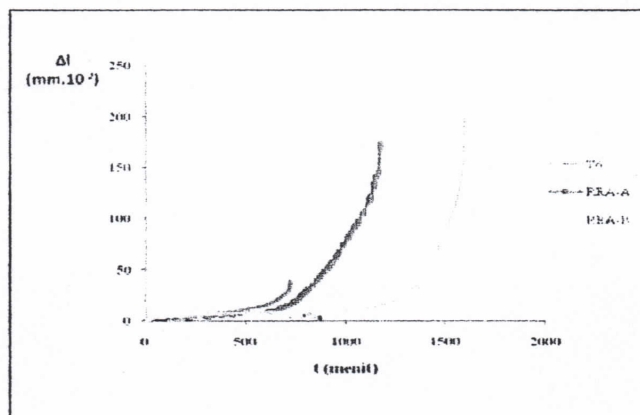
Gambar 3. Kurva pengujian SCC

Secara umum kurva tersebut dapat dibagi menjadi tiga daerah. Daerah I, spesimen mengalami penambahan panjang yang signifikan akibat tegangan yang diberikan. Pada daerah ini terjadi penguatan regangan yang berpengaruh terhadap kondisi film pasif yang terbentuk pada permukaan logam. Film pasif yang terbentuk pada daerah batas butir yang mengandung presipitat/segregasi partikel intermetalik akan mengalami pengaruh paling besar sehingga paling mudah terkorosi. Daerah ini sering menjadi tempat inisiasi retakan seperti terlihat dalam Gambar 4a. Selanjutnya pada daerah II terjadi SCC dan perambatan retakan secara lambat akibat pengaruh korosi dan tegangan yang bekerja secara sinergi. Laju regangan pada daerah ini menjadi konstan dan biasa disebut sebagai laju regangan dalam keadaan tunak ($\Delta l/\Delta t$). Menurut Nishimura dan Kudo (1989)^[5], laju regangan dalam keadaan tunak dapat dijadikan sebagai parameter ketahanan suatu paduan terhadap SCC. Pada percobaan yang dilakukan teramati modus perambatan retakan intergranular. Pada daerah III spesimen mengalami SCC dan perambatan retakan secara cepat sampai terjadi kerusakan mekanik akibat berkurangnya luas penampang akibat korosi seperti ditunjukkan dalam Gambar 4b.



Gambar 4a dan 4b. Permukaan patahan yang menunjukkan daerah I dan daerah II dan III.

Kurva hasil pengujian keseluruhan dan parameter hasil pengujian selengkapnya berturut-turut dapat dilihat dalam Gambar 5 dan Tabel 2.



Gambar 5. Penentuan ketahanan SCC paduan aluminium 7075

Tabel 2. Parameter hasil pengujian SCC

Sampel	$\Delta l/\Delta t$ (mm.10 ⁻² /menit)	t_{kritis} (menit)	t_{patah} (menit)	Δl (mm.10 ⁻²)
T6	0,020	507	720	38
RRA-A	0,015	612	1172	173
RRA-B	0,009	1007	1604	199

Dari ketiga kurva di atas terlihat urutan waktu patah (t_f) dari yang paling kecil adalah paduan aluminium 7075 T6, paduan aluminium 7075 RRA-A, dan paduan aluminium 7075 RRA-B, yang berarti bahwa urutan ketahanan SCC paduan dari yang paling kecil adalah paduan aluminium 7075 T6, paduan aluminium 7075 RRA-A, dan paduan aluminium 7075 RRA-B. Parameter yang lebih tepat untuk menentukan ketahanan SCC suatu paduan dalam metode ini adalah waktu kritis, yaitu waktu pada mana terjadi perubahan modulus laju perambatan retakan akibat SCC menjadi laju perambatan retakan akibat tegangan. Walaupun urutan ketahanan SCC dari paduan yang diperiksa masih tetap sama, tetapi disini terlihat bahwa perbedaan waktu kritis antara paduan aluminium 7075 T6 dan paduan aluminium 7075 RRA-A relatif kecil, dibanding dengan waktu kritis yang ditunjukkan oleh paduan aluminium 7075 RRA-B. Hal ini berarti bahwa perubahan modulus laju perambatan retakan dari laju perambatan retakan akibat SCC menjadi laju perambatan retakan akibat tegangan pada paduan RRA-A terjadi lebih cepat dari pada paduan RRA-B. Ketahanan SCC paduan juga dapat diprediksi dari besaran $\Delta l/\Delta t$ (laju regangan dalam keadaan tunak). Penentuan ketahanan SCC dari besaran ini pun menghasilkan urutan yang sama.

Dari hasil yang diuraikan di atas terlihat bahwa ketahanan SCC paduan aluminium 7075 yang mendapat perlakuan panas RRA jauh lebih baik dari pada ketahanan SCC paduan aluminium 7075 T6. Hal tersebut sebagai akibat terbentuknya presipitat batas butir yang berukuran besar dengan jarak antar presipitat yang lebih jarang^[3]. Sedang menurut Park (1988), peningkatan ketahanan SCC akibat perlakuan panas RRA diakibatkan oleh naiknya fraksi volum presipitat batas butir akibat pengasaran presipitat batas butir.

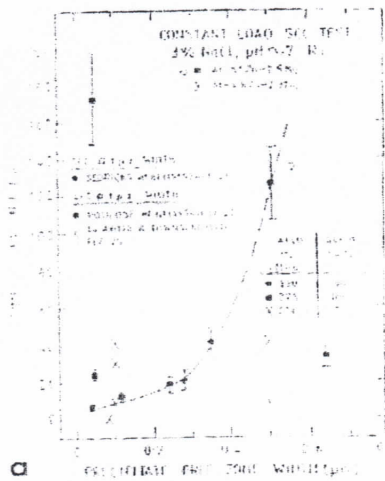
Penjelasan untuk kasus tersebut adalah karena kegagalan SCC pada paduan yang diamati berlangsung secara intergranular maka kerentanan paduan terhadap SCC sangat dipengaruhi oleh keadaan struktur mikro sepanjang batas butir. Sejumlah peneliti seperti Spiedel (1972), Poulouse (1974), Thomas dan Nutting (1960), Middleton dan Parkin (1972), Park (1988), Starke (1979), Lorimer dan ryder (1970) serta Doig dan Edington (1977) yang direview oleh Holroyd (1990) berpendapat bahwa ketahanan SCC paduan aluminium seri 7000 sangat dipengaruhi oleh keadaan struktur mikro paduan yang meliputi:

- Ukuran dan jarak presipitat batas butir
- Lebar daerah bebas presipitat (PFZ)/*preferential slip* dalam PFZ
- Distribusi/ukuran presipitat matriks dan karakteristik deformasi
- Profil solute dalam PFZ
- Segregasi batas butir^[6].

Pengaruh perlakuan panas RRA dalam meningkatkan ketahanan SCC paduan aluminium 7075 dapat dijelaskan melalui hubungan antara ukuran dan jarak presipitat batas butir dan lebar daerah bebas presipitat (PFZ) yang telah diperoleh peneliti sebelumnya. Holroyd dalam reviewnya mengemukakan bahwa ketahanan SCC paduan aluminium kekuatan tinggi dipengaruhi oleh ukuran presipitat batas butir dan lebar zona bebas presipitat seperti ditunjukkan dalam Gambar 6a dan 6b. Dari kedua gambar tersebut terlihat bahwa ketahanan SCC paduan aluminium meningkat dengan naiknya ukuran presipitat batas butir dan bertambahnya lebar daerah bebas presipitat. Walaupun sampai sejauh ini penelitian RRA yang telah dilakukan lebih menitikberatkan pada ukuran dan jarak antar presipitat batas butir, tetapi hasil tersebut dapat dihubungkan dengan lebar daerah bebas presipitat. Sebagaimana kita ketahui bahwa proses pertumbuhan dan pengasaran presipitat batas butir merupakan hasil difusi atom-atom solut dari presipitat batas butir yang berukuran kecil yang berada di sekitar presipitat tersebut. Proses tersebut akan berlangsung terus selama perlakuan panas penuaan sampai dicapai distribusi ukuran presipitat optimum. Akibat proses pertumbuhan dan pengasaran presipitat batas butir maka akan dihasilkan daerah dengan kandungan solut yang sangat kecil di sekitarnya (daerah bebas presipitat). Artinya makin besar ukuran/fraksi volum presipitat batas butir, maka daerah bebas presipitat akan makin besar.



Gambar 6a. Hubungan antara ketahanan SCC dengan ukuran presipitat batas butir (Poulose dalam Holroyd, 1990).



Gambar 6b. Hubungan antara ketahanan SCC dengan lebar PFZ^[6]

Adapun mekanisme peningkatan ketahanan SCC paduan aluminium 7075 akibat perlakuan panas RRA dapat diterangkan berdasar hasil penelitian Middleton dan Parkin dalam Holroyd^[6], yang mengatakan bahwa perambatan SCC dalam paduan Al-Zn-Mg terjadi melalui presipitat batas butir η ($MgZn_2$) yang bertindak sebagai lintasan aktif untuk korosi, dengan pemuluran mencegah pembentukan film pasif pada ujung retakan sehingga memungkinkan pelarutan material antar presipitat batas butir.

Presipitat batas butir paduan RRA yang berukuran besar dengan jarak antar presipitat yang lebar bertindak sebagai anoda korban dan memperlambat SCC^[6]. Keadaan tersebut kontras dengan presipitat batas butir paduan T6 yang berukuran sangat halus dan terdistribusi merata yang akan menghasilkan lintasan korosi kontinu sehingga mengakibatkan rendahnya ketahanan SCC paduan.

Parameter lain yang dapat dilihat dari kurva di atas adalah penambahan panjang spesimen sebelum terjadi perpatahan (Δl). Dari data tersebut terlihat bahwa paduan aluminium 7075 T6 mengalami penambahan panjang spesimen yang jauh lebih kecil

dibanding penambahan panjang spesimen paduan aluminium 7075 RRA-A dan RRA-B sebelum terjadi perpatahan. Hal tersebut merupakan poin tambahan yang menguntungkan dari perlakuan panas RRA yang diterapkan terhadap paduan aluminium 7075, karena hal itu berarti bahwa prediksi terjadinya kegagalan akibat SCC paduan yang mendapat perlakuan RRA lebih mudah dari prediksi terjadinya kegagalan akibat SCC paduan yang mendapat perlakuan temper T6.

Tabel 3 menunjukkan sifat mekanik paduan aluminium 7075 pada berbagai kondisi percobaan. Dari tabel tersebut terlihat bahwa perbaikan ketahanan SCC akibat perlakuan RRA untuk sampel RRA-B diiringi oleh penurunan kekuatannya.

Tabel 3. Hasil pengujian sifat mekanik paduan aluminium 7075-T6 paduan aluminium 7075-RRA

Sampel	UTS (MPa)	YS (MPa)	%-El
T6	299	279	13
RRA-A	300	245	7,6
RRA-B	247	175	9,0

Menurut Park (1988) dan Viana (1999)^[3] perubahan kekuatan mekanik material akibat perlakuan RRA berhubungan dengan perubahan struktur mikro yang terjadi selama RRA. Kekuatan material yang mendapat perlakuan RRA dapat ditingkatkan dengan mengatur temperatur dan waktu retrogresi sehingga diperoleh struktur mikro dalam butir terdiri dari presipitat penguat yang berukuran sangat halus dan terdistribusi secara merata, seperti struktur mikro paduan temper T6.

Penurunan kekuatan paduan yang mendapat perlakuan RRA untuk sampel berukuran besar pada percobaan ini, diakibatkan kurang efektifnya proses retrogresi. Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian J. C. Lin (2006)^[7] yang menyatakan bahwa perlakuan RRA terbatas pada sampel berukuran kecil karena terkendala waktu retrogresi yang singkat pada temperatur tinggi. Hal tersebut juga mempertegas pendapat Cina (1974) yang menyatakan bahwa kedalaman efektif proses retrogresi sangat dipengaruhi oleh media yang digunakan. Untuk media yang sama, makin besar ukuran sampel, efektivitas proses retrogresi makin menurun. Waktu retrogresi selama sepuluh menit untuk sampel RRA-B menyebabkan proses retrogresi tidak mencapai sampel secara keseluruhan. Bagian sampel yang tidak terpengaruh oleh proses retrogresi akan menunjukkan perilaku seperti mendapat tambahan waktu aging sehingga menghasilkan material dengan sifat seperti material *overaged*, yaitu material dengan ketahanan SCC yang baik tetapi dengan kekuatan rendah.

D. KESIMPULAN

Dari percobaan yang telah dilakukan dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

- Ketahanan SCC paduan yang diukur menggunakan metode *cantilever beam* pada beban tetap dapat ditentukan dari parameter waktu patah (t_f), waktu kritis (t_k), dan laju regangan pada keadaan tunak ($\Delta l/\Delta t$).
- Ketahanan SCC paduan aluminium 7075 T6 dapat ditingkatkan dengan cara pemberian perlakuan panas Retrogresi dan Reaging (RRA).
- Efektivitas perlakuan panas RRA dalam meningkatkan ketahanan SCC paduan, dipengaruhi oleh ukuran sampel yang digunakan. Untuk media pemanas yang sama, makin besar ukuran sampel, maka efektivitas perlakuan panas RRA dalam meningkatkan ketahanan SCC paduan makin berkurang.
- Peningkatan ketahanan SCC akibat perlakuan panas RRA untuk sampel berukuran besar diiringi penurunan kekuatan bahan yang menunjukkan bahwa paduan telah mengalami *overaging*.
- Prediksi kerusakan akibat SCC paduan yang mendapat perlakuan panas RRA lebih mudah dari pada prediksi kerusakan paduan dalam kondisi temper T6.

- Urutan ketahanan SCC pada percobaan yang telah dilakukan dari urutan terkecil adalah paduan aluminium 7075 T6; paduan aluminium 7075 RRA-A; paduan aluminium 7075 RRA-B.

Daftar Pustaka

- [1] Cina, B. (1974) : Reducing the Susceptibility of Alloys, Particularly Aluminum Alloys to Stress Corrosion Cracking, U.S. Patent 3856584.
- [2] Hatch, J.E. (1984), *Aluminum, Properties and Physical Metallurgy*, American Society For Metals, Metals Park, Ohio, 135-197; 264-272.
- [3] Viana, F., Pinto, A.M.P., Santos, H.M.C., Lopes, A.B. (1999), Retrogression and Re aging of 7075 Aluminum Alloy : Microstructural Characterization, *Journal of Materials Processing Technology*, 92-93, 54-59.
- [4] Sedriks (1990), Stress Corrosion Cracking Test Methods, Vol. 1, NACE, 11-15; 53-57.
- [5] Nishimura and Kudo(1989), Stress Corrosion Cracking of AISI 304 and AISI 316 Austenitic Stainless Steel in HCl and H₂SO₄ Solution-Prediction of Time to Failure Corrosion, 45,308.
- [6] Holroyd, N.J.H. (1990), Environment Induced Cracking of High Strength Aluminum Alloys, *EICM Proceedings*, 311-345.
- [7] Lin J.C et al., Effect of heat treatments on the tensile strength and SCC-resistance of AA7050 in an alkaline saline solution, *Corrosion Science*, 48 (2006) 3139-3156.

MATERIAL METALURGI 20

PROSIDING

enguatan Riset Material Maju dan Strategis Berbasis Sumber Daya Mineral Indo

Pusat Penelitian Metalurgi-LIPI
Graha Widya Bakti, DRN, Kawasan PUSPIPTEK Serpong,
Tangerang Selatan, Banten. 27 November 2012