

RETROGRESI DAN REAGING PADUAN ALUMINIUM 7075 DAN EVALUASI PROSEDUR YANG DIGUNAKAN

Enung Nurlia, Sunara Purwadaria dan Eddy Agus Basuki

Rekayasa Pertambangan, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan,
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa No. 10, Bandung, Kode Pos 40132
enung.nurlia@yahoo.com

ABSTRAK

PERCOBAAN RETROGRESI DAN REAGING PADUAN ALUMINIUM 7075 DAN EVALUASI PROSEDUR YANG DIGUNAKAN. Perlakuan panas retrogresi dan reaging (RRA) merupakan perlakuan panas dua tahap yang dilakukan secara berturutan dan didasarkan pada prinsip pengerasan presipitat. Pada perlakuan ini proses pengintian dan pertumbuhan presipitat diatur sedemikian rupa sehingga dihasilkan material dengan kombinasi sifat-sifat yang menguntungkan seperti kekuatan tinggi dan ketahanan SCC yang baik, hal mana sulit dicapai dari perlakuan panas konvensional. Tujuan penelitian, pertama memperoleh prosedur RRA yang baik menggunakan peralatan sederhana sehingga dapat dimanfaatkan oleh kalangan yang lebih luas, kedua mendapat pemahaman yang lebih baik mengenai proses pengintian dan pertumbuhan presipitat serta hubungannya dengan sifat material yang dihasilkan sehingga diperoleh material dengan sifat-sifat yang diinginkan. Pada percobaan ini, perlakuan RRA diterapkan terhadap sampel paduan aluminium 7075 berbagai ukuran. Kekerasan paduan diukur menggunakan Universal Microhardness Tester dengan prosedur mengacu pada ASTM E:10-04. Ketahanan SCC ditentukan dari waktu patah spesimen uji yang diukur menggunakan metode cantilever beam pada pembebanan tetap sebesar 0,8 YS. Kriteria penilaian prosedur RRA dilakukan dengan membandingkan profil kurva kekerasan paduan retrogresi (RR) dan paduan RRA terhadap t_{RR} dengan profil kurva serupa yang diperoleh peneliti sebelumnya. Hasil percobaan menunjukkan bahwa profil kurva kekerasan terhadap t_{RR} yang diperoleh serupa dengan profil kurva yang sama yang diperoleh peneliti sebelumnya, ketahanan SCC paduan RRA lebih baik dari paduan T6 (paduan pengerasan presipitat konvensional), baik permukaan patahan sampel T6 maupun sampel RRA menunjukkan modulus perambatan SCC intergranular. Dari hasil tersebut disimpulkan bahwa prosedur RRA yang digunakan sudah cukup baik.

Kata kunci: RRA, pengerasan presipitat, kekuatan, ketahanan SCC.

ABSTRACT

RETROGRESSION AND RE-AGING TREATMENT OF ALUMINUM ALLOY 7075 AND THE PROCEDURE EVALUATION. Retrogression and re-aging is a two stages heat treatment that based on precipitation hardening principal. In these treatment, the process of nucleation and precipitate growth is properly conditioned so that material that has the combination of advantages properties such as high strength and good SCC resistance is obtained. The first objective of the research is to gain a good RRA procedure using simple equipments that can be use by boarder user. The second is to get a better understanding on the process of nucleation and precipitation growth and its relationship with the material properties so that the expected properties material is obtained. In these experiments RRA treatment is applied on various size of aluminum alloy 7075 samples. The alloy hardness is measured using Universal Micro hardness Tester and the procedure refers to ASTM E: 10-04. The SCC resistance is determine by failure time of test specimen using cantilever beam method at fix load at 0.8 YS. The criteria of RRA procedure evaluation is conducted by comparing the curve hardness versus retrogression time of RR and RRA alloys with the similar curve obtained by previous researcher. The result of experiment shows that both curve profile are similar. The RRA alloy has better SCC resistance than T6 alloy (conventional precipitate hardening alloy). From the result it is concluded that the RRA procedure is good enough.

Key words: RRA, precipitation hardening, T6 temper, T7 temper

1. PENDAHULUAN

Perlakuan panas RRA pertama kali dikembangkan oleh Cina pada tahun 1974 untuk memperbaiki ketahanan SCC paduan aluminium 7075 dalam kondisi temper T6 [1]. Dalam kondisi T6 ini paduan mempunyai kekuatan paling tinggi tetapi sangat rentan terhadap SCC. Sekitar 90% kegagalan SCC paduan aluminium terjadi pada komponen yang terbuat dari paduan aluminium 7075-T6, 7079-T6 dan 2024-T3. Perbaikan ketahanan SCC paduan aluminium 7075-T6 menjadi hal yang sangat penting mengingat bahwa paduan tersebut secara luas digunakan sebagai material struktur pesawat terbang. Sejarah menunjukkan tiga pesawat terbang jet Comet yang jatuh pada tahun 1954 terbuat dari paduan aluminium 7075 [2]. Metode konvensional untuk meningkatkan ketahanan SCC paduan aluminium 7075 adalah dengan memberi temper T7, akan tetapi material yang dihasilkan mempunyai kekuatan 10-15% lebih rendah dari kekuatan mula-mula. Perlakuan RRA diklaim dapat meningkatkan ketahanan SCC paduan aluminium 7075 dengan tetap menjaga kekuatannya pada level T6.

Dengan perhitungan yang tepat dan peralatan yang cocok perlakuan RRA dapat diaplikasikan secara lokal/terbatas pada suatu komponen tanpa mengganggu daerah lainnya, sehingga RRA dapat digunakan untuk memperbaiki bagian komponen yang rusak tanpa perlu menggantinya. Selain itu penerapan perlakuan RRA pada temperatur yang relatif rendah menghindarkan terbentuknya heat affected zones seperti pada proses pengelasan. Keuntungan lainnya adalah bahwa perlakuan RRA dapat meningkatkan ketahanan paduan terhadap korosi eksfoliasi. Dalam industri pesawat terbang, peningkatan ketahanan SCC dan korosi eksfoliasi memberi keuntungan finansial yang berarti karena dapat memperpanjang umur pakai suatu komponen[3].

Perlakuan panas RRA merupakan perlakuan panas dua tahap yang dilakukan secara berkesinambungan. Perlakuan ini diterapkan pada material dalam kondisi T6 dengan cara memberi perlakuan panas retrogresi selama waktu yang singkat pada temperatur diatas pengerasan *aging* tetapi dibawah temperatur pelarutan (200-260°C) diikuti perlakuan *reaging* dengan kondisi sama dengan *aging* T6. Menurut Cina waktu retrogresi yang menghasilkan kombinasi kekuatan setara T6 dan ketahanan SCC setara T7 adalah sama dengan waktu retrogresi yang menghasilkan penurunan kekuatan maksimum dalam kurva retrogresi.

Hasil tersebut sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan Oliveira (2004), sedang menurut Raizenne, dkk (2001-2003) optimasi proses RRA dicapai untuk waktu retrogresi maksimum yang menghasilkan material dengan kekuatan lebih besar atau sama dengan kekuatan material T6 [4].

Sampai saat ini penelitian mengenai RRA terus berlangsung meliputi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap keberhasilan RRA sampai penerapan perlakuan RRA terhadap paduan aluminium seri 7000 lainnya. Penelitian terakhir menunjukkan perlakuan RRA sudah diterapkan terhadap seri paduan aluminium-litium. Rajan (1982), Baldantoni (1985), Papazian (1989), Park dan Ardell (1989), Meng dan Wang (1990), dan Viana, dkk (1999) meneliti perubahan struktur mikro paduan yang mengalami RRA dan hubungannya dengan sifat yang dihasilkan. Secara umum mereka berpendapat bahwa bagian dalam butir dicirikan oleh presipitat halus yang terdistribusi merata dan bersifat koheren mirip paduan temper T6, tetapi sedikit lebih besar, lebih rapat dan lebih stabil. Struktur mikro seperti ini dianggap sebagai penyebab peningkatan kekuatan paduan RRA, sedang peningkatan ketahanan SCC diakibatkan terbentuknya presipitat batas butir yang lebih besar dengan jarak antar presipitat lebih lebar serupa struktur mikro paduan temper T7 [5]. Gadza (1997), Zielinski (2002), Oliveira (2004), Ning, dkk (2006) dan Dai, dkk (2008) meneliti pengaruh komposisi paduan terhadap sifat paduan RRA yang dihasilkan, mereka berpendapat bahwa keberhasilan RRA sangat dipengaruhi oleh komposisi paduan awal. Faktor lain yang dianggap mempengaruhi keberhasilan metode RRA adalah keadaan struktur mikro paduan sebelum mendapat perlakuan RRA seperti yang ditunjukkan oleh Qinglin dan Sogun (2002), dan Li, dkk (2007).

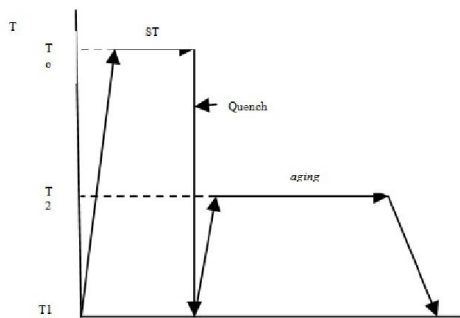
Melihat prospek kedepan perlakuan RRA sebagai metode yang dapat digunakan untuk mendapatkan material dengan kombinasi sifat-sifat yang lebih baik dan dapat diterapkan pada hampir semua kelompok paduan aluminium pengerasan presipitat, atau bahkan paduan pengerasan presipitat pada umumnya dan melihat sampai sejauh ini di Indonesia perlakuan tersebut belum banyak mendapat perhatian, maka penelitian yang dilakukan bertujuan untuk memperoleh prosedur RRA yang baik menggunakan peralatan sederhana sehingga dapat dimanfaatkan oleh kalangan yang lebih luas. Tujuan lainnya adalah mendapat pemahaman yang lebih baik mengenai proses pengintian dan pertumbuhan presipitat serta

hubungannya dengan sifat material yang dihasilkan sehingga diperoleh material dengan sifat-sifat yang diinginkan.

2. TEORI

2.1. Perlakuan panas paduan aluminium

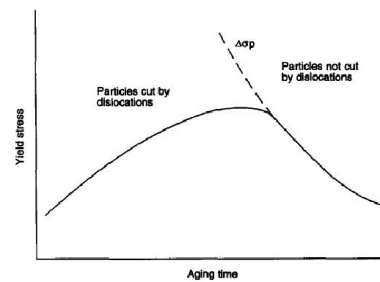
Paduan aluminium 7075 merupakan salah satu varian dari paduan aluminium seri 7xxx yang dikembangkan untuk aplikasi material struktur pesawat terbang. Paduan ini termasuk kelompok paduan dengan kekuatan paling tinggi. Mekanisme utama yang berperan dalam peningkatan kekuatan paduan adalah penguatan presipitat sebagai hasil perlakuan panas penuaan. Perlakuan panas penguatan presipitat terdiri dari tiga tahap yaitu perlakuan panas pelarutan (*solution heat treatment*), pendinginan kejut (*quenching*), dan penuaan (*aging*). Skematik perlakuan panas tersebut dapat dilihat pada Gambar 1. di bawah ini.



Gambar 1. Tahapan perlakuan panas

Kekuatan paduan penguatan presipitat terutama dikendalikan oleh fraksi volum, ukuran, dan jarak antar presipitat dalam matriks. Kekuatan yang tinggi akan diperoleh bila partikel yang terbentuk berukuran sangat kecil dan sangat keras dengan fraksi volum yang tinggi, hal mana sulit dicapai dalam sistem penguatan penuaan. Dalam paduan aluminium penguatan presipitat, pembentukan presipitat fasa kesetimbangan biasanya didahului oleh pembentukan kluster atom-atom solut (G-P zones) dan/atau presipitat antara yang dapat digeser oleh dislokasi. Bila geseran terjadi, kekuatan yang berhubungan dengan partikel dapat digambarkan oleh persamaan $\Delta\sigma_p \approx C \cdot f^m \cdot d^n$, dengan C adalah konstanta yang tergantung pada sifat partikel, m dan n eksponen positif. Dari persamaan tersebut, tidak seperti

kasus yang digambarkan oleh persamaan Orowan, kekuatan paduan naik dengan naiknya ukuran partikel. Selama aging, G-P zones dan/atau partikel antara akan tumbuh sehingga menyebabkan kekuatan naik. Pada suatu titik, mode deformasi akan berubah dari geseran partikel menjadi mekanisme Orowan (*looping dan passing*) sehingga kekuatan paduan akan turun dengan naiknya ukuran partikel yang dikenal sebagai fenomena *overaging*. Fenomena tersebut dapat diilustrasikan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Skematik yield strength fungsi waktu aging untuk paduan penguatan presipitat

2.2 Artificial aging paduan aluminium 7xxx

➤ Peak aged (Temper T6)

Untuk paduan-paduan aluminium seri 7xxx, kekuatan yang lebih tinggi, perbaikan ketahanan korosi, dan laju pertumbuhan retakan fatik yang lebih rendah dapat diperoleh melalui aging pada temperatur tinggi. Karena sifat-sifat yang dimiliki oleh presipitat penguat, banyak variabel yang harus dipertimbangkan pada saat aging paduan 7xxx diantaranya interval waktu pada temperatur kamar antara quenching dan dimulainya aging. Alasan bagaimana pengaruh penundaan terhadap sifat paduan yang dihasilkan belum sepenuhnya dipahami, akan tetapi terlihat berhubungan dengan derajat supersaturasi yang ada dalam keadaan quench sampai terjadinya reversi GP-zones selama natural aging.

Berbeda dengan paduan aluminium seri 2xxx dan 6xxx yang diaged pada kondisi 170-190 °C, temperatur aged yang biasa digunakan untuk paduan aluminium seri 7xxx untuk mendapatkan sifat-sifat paduan T6 adalah 115-130 °C.

➤ Over aged (Temper T7)

Pada awal 1960-an penerapan aging tipe T7x mulai dikembangkan untuk memperbaiki ketahanan korosi paduan aluminium 7xxx yang mengandung Cu lebih dari 1%. Temper T73 dikembangkan untuk memperbaiki ketahanan SCC pelat tebal paduan aluminium 7075 dalam arah short transversal dan temper T76 diaplikasikan pada produk paduan aluminium 7075 dan 7178 untuk memperbaiki ketahanan terhadap korosi ekspoliasi. Kedua temper tersebut didasarkan pada fakta bahwa korosi selektif pada batas butir turun dengan naiknya over aging. Temperatur aging dalam range 160-175 °C digunakan setelah aging pada temperatur yang lebih rendah. Aging pada temperatur rendah menyebabkan terbentuknya sejumlah besar GP-zones yang stabil pada temperatur yang lebih tinggi. Zona tersebut berubah bentuk menjadi presipitat antara η' dan akhirnya menjadi fasa kesetimbangan η ($MgZn_2$) selama over aging. Pemanasan yang disarankan secara komersial adalah pemanasan pada range temperatur 100-120 °C dan soaking time antar 1-24 jam sebelum mengeksposnya pada temperatur yang lebih tinggi [6].

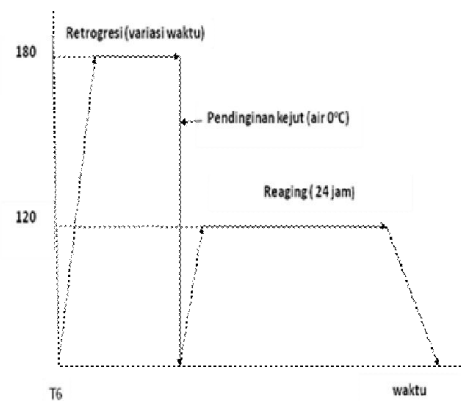
2.3 SCC paduan aluminium 7xxx

SCC paduan aluminium seri 7xxx berlangsung secara intergranular, dimana kecepatan perambatan retakan sangat dipengaruhi oleh proses pelarutan pada/sekitar batas butir. Kondisi yang dapat menciptakan atau menghalangi terbentuknya lintasan korosi kontinu pada batas butir akan sangat berpengaruh terhadap ketahanan SCC paduan.

Middleton dan Parkin beranggapan bahwa propagasi SCC dalam paduan Al-Zn-Mg(Cu) terjadi melalui presipitat batas butir η ($MgZn_2$) yang bertindak sebagai lintasan aktif untuk korosi, dengan creep mencegah pembentukan film pasif pada ujung retakan sehingga memungkinkan pelarutan material antara presipitat batas butir. Poulou beranggapan bahwa presipitat batas butir bertindak sebagai anoda korban dan memperlambat SCC. Selain bertindak sebagai anoda korban, presipitat batas butir juga berfungsi sebagai tempat penangkapan hidrogen. Menurut Presouyre dan Bernetein presipitat batas butir harus melebihi ukuran kritis sebelum mereka dapat bertindak sebagai preferential site dalam penjerapakan hidrogen [7].

3. TATA KERJA

Pada penelitian ini digunakan paduan aluminium 7075 yang diperoleh dari PT TIRA AUSTENITE, Tbk dengan komposisi Al-5,4%Zn-2,4%Mg-0,14%Cu-0,22%Mn-0,14%Si - 0,23Fe-0,19Cr-0,09Ti-0,01Ni. Perlakuan RRA diterapkan terhadap sampel dalam kondisi T6 dengan urutan perlakuan panas (470°C, 1jam + WQ + /120°C, 24jam). Percobaan retrogresi dilakukan terhadap sampel dengan ukuran (10x10x10), (13x13x13), (15x15x15) dan (200x45x13) mm³, selanjutnya disebut [RRA-1], [RRA-2], [RRA-3] dan [RRA-4], pada 180 °C dan waktu retrogresi bervariasi dari 2 sampai 60 menit. Kondisi *reaging* yang digunakan sama dengan kondisi *aging* 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 3.



Gambar 3. Skematis perlakuan panas RRA

Penentuan kekerasan paduan (HBN) dilakukan menggunakan Universal Micro-hardness Tester dengan prosedur mengacu pada ASTM E:10-04. Pengukuran dilakukan pada arah longitudinal (L), longitudinal-transversal (L-T), dan short transversal (S-T) dengan kondisi pengujian sebagai berikut: diameter indentor 12,5 mm, beban yang digunakan 10 kP, lama pembebanan 15 detik. Diameter indentasi diukur menggunakan mikroskop pembesaran rendah.

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 catiliver beam. Spesimen dengan waktu patah lebih lama menunjukkan ketahanan SCC lebih baik. Spesimen uji dibuat berbentuk batang dengan dimensi dapat dilihat pada Gambar 4. Segera setelah pengujian SCC selesai, sampel uji dikeluarkan dari sel uji, dicuci secara hati-hati, dikeringkan dan disimpan dalam desikator untuk pengamatan lebih lanjut.



Dimensi sampel uji SCC (mm) :
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 4. Bentuk dan dimensi spesimen uji SCC

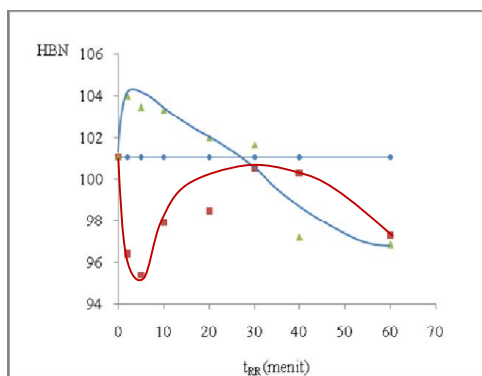
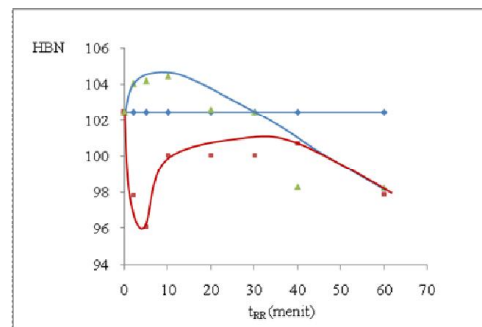
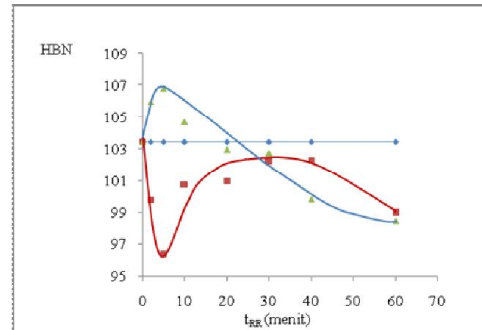
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Evaluasi prosedur yang digunakan

Sebagaimana telah dikemukakan pada bagian pendahuluan, penerapan perlakuan panas RRA di kalangan peneliti/pelajar di Indonesia masih belum membudaya. Oleh karena itu langkah pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah mengevaluasi prosedur RRA yang digunakan dengan bertujuan untuk mengetahui keabsahan hasil penelitian. Kurva variasi HBN terhadap t_{RR} untuk paduan aluminium 7075 T6, RR, dan RRA dalam arah L, L-T, dan S-T dapat dilihat berturut-turut pada Gambar 5a, 5b, dan 5c. Dari ketiga gambar tersebut terlihat bahwa secara umum ketiga kurva menunjukkan profil serupa, perbedaan terletak pada nilai HBN yang diperoleh untuk ketiga arah yang diamati. Urutan HBN dari yang paling besar untuk ketiga arah yang diperiksa adalah : L, L-T, S-T, hal ini sebagai akibat sifat anisotropi paduan.

Kriteria penilaian prosedur RRA dilakukan dengan membandingkan profil kurva kekerasan paduan retrogresi (RR) dan paduan RRA terhadap t_{RR} dengan profil kurva serupa yang diperoleh peneliti sebelumnya. Profil kurva yang dihasilkan serupa dengan profil kurva yang diperoleh Park dan Ning, selain itu Park mendapatkan data bahwa waktu retrogresi yang

berkesesuaian dengan penurunan kekerasan minimum untuk retrogresi pada 180 °C adalah 5 menit, hal yang sama diperoleh dari penelitian yang dilakukan.



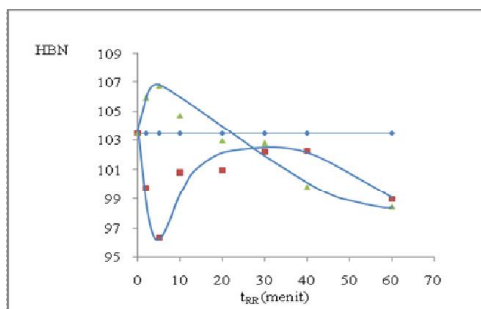
Gambar 5a, 5b, dan 5c. Kurva variasi HBN terhadap t_{RR} untuk paduan aluminium 7075 T6, RR, dan RRA berturut-turut dalam arah L, L-T, dan S-T

Dari kedua hal tersebut disimpulkan bahwa prosedur RRA yang digunakan sudah cukup baik. Adapun hal yang perlu dicatat dalam melakukan percobaan RRA adalah penanganan sampel retrogresi. Kurva paduan retrogresi memperlihatkan nilai BHN yang lebih tidak

beraturan dibanding nilai HBN untuk paduan RRA. Hal tersebut diduga akibat ketidakstabilan presipitat paduan retrogresi, pada temperatur kamar presipitat yang ada cenderung terus tumbuh dan membesar sehingga menurunkan HBN yang terukur. Untuk mendapatkan data yang valid, paduan retrogresi harus disimpan pada temperatur dibawah 0 °C untuk menghindari pengasaran partikel selama penyimpanan.

4.2 Mekanisme RRA dalam meningkatkan kekuatan paduan

Secara umum kurva RRA yang diperoleh pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Profil kurva paduan RR dan RRA

Dari gambar tersebut terlihat bahwa kurva retrogresi (RR) terbagi menjadi tiga daerah, sedang kurva retrogresi dan reaging (RRA) terbagi menjadi dua daerah. Akibat perlakuan retrogresi, kekuatan paduan pertama-tama turun secara cepat sampai mencapai minimum (daerah 1). Kekuatan paduan selanjutnya naik secara perlahan-lahan sampai mencapai maksimum, yang nilainya masih lebih kecil dari kekuatan mula-mula (daerah 2). Retrogresi lebih lanjut menyebabkan kekuatan paduan kembali turun (daerah 3). Menurut Park (1988) dan Viana (1999) perubahan kekuatan material yang mendapat perlakuan RRA berhubungan dengan perubahan struktur mikro yang terjadi selama RRA. Penurunan kekuatan pada tahap awal retrogresi (daerah 1) terjadi sebagai akibat pelarutan GP-zones dan sebagian/seluruhnya presipitat η' berukuran kecil dalam matriks, sementara presipitat pada batas butir terus tumbuh dan mengalami pengasaran. Pada tahap 2 terjadi perolehan kembali sebagian kekuatan paduan sebagai akibat presipitat η' yang tersisa tumbuh mendekati ukuran dan distribusi optimum. Kekuatan mencapai maksimum dan

kemudian menurun akibat terjadinya pengasaran (tahap 3).

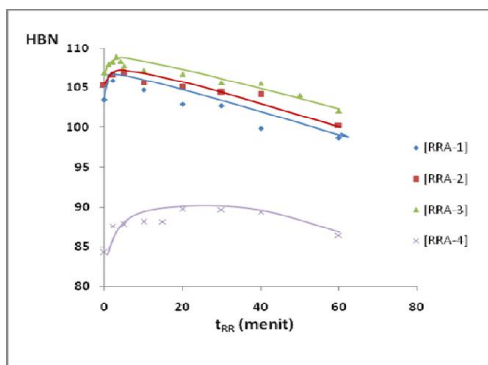
Oleh karena percobaan retrogresi diterapkan terhadap paduan dalam kondisi T6, maka komposisi presipitat awal sama dengan komposisi presipitat paduan T6. Menurut Rajan (1982) dan Danh (1983) komposisi presipitat paduan T6 sebagian besar terdiri dari GP-zone dan presipitat η' . Pemanasan paduan pada 180 °C akan menyebabkan sebagian besar GP-zones dan presipitat η' berukuran kecil larut, hal ini disebabkan temperatur yang digunakan diatas temperatur kestabilan GP-zones. Oleh karena GP-zones dan presipitat η' berukuran kecil yang larut tidak sempat mengint, pemanasan lebih lanjut menyebabkan presipitat yang masih tersisa tumbuh dan membesar akibat difusi unsur unsur terlarut. Sebagaimana dapat dilihat dari persamaan $\Delta\sigma_p \approx C.f^m.d^n$, naiknya ukuran partikel akan menyebabkan kekuatan paduan naik. Retrogresi lebih lanjut akan menyebabkan partikel mengalami pengasaran dengan jarak antar partikel makin besar. Hal tersebut mengubah mode deformasi dari mode geseran menjadi mekanisme Orowan sehingga kekuatan paduan menurun seperti diilustrasikan dalam Gambar 2.

Berbeda dengan perlakuan retrogresi, perlakuan retrogresi dan reaging (RRA) menyebabkan kekuatan paduan naik dari kekuatan paduan mula-mula dalam level T6, sampai mencapai maksimum yang berkesesuaian dengan waktu retrogresi yang dibutuhkan untuk mencapai kekerasan minimum (daerah I). Bertambahnya waktu retrogresi menyebabkan kekerasan paduan RRA turun kembali (daerah II). Pada perlakuan RRA, paduan yang telah mendapat perlakuan retrogresi diquenched dan diaging kembali pada 120 °C. Pada kondisi optimum, presipitat akhir yang terbentuk mempunyai ukuran lebih besar dan lebih rapat dari presipitat paduan T6 sehingga kekuatan paduan yang dihasilkan lebih tinggi dari paduan T6. Perbedaan tersebut sebagai akibat perbedaan komposisi presipitat dalam paduan mula-mula. Pada paduan T6, proses pengintian dan pertumbuhan presipitat dimulai dari larutan padat lewat jenuh, sedang pada paduan RRA komposisi paduan mula-mula terdiri dari unsur-unsur yang larut dan presipitat η' yang masih tersisa. Sebagaimana kita ketahui pada proses pengintian dan pertumbuhan presipitat terdapat ukuran kritis yang merupakan fungsi dari derajat supersaturasi. Hal itu berarti bahwa ukuran kritis tidak bersifat konstan tetapi tergantung pada temperatur aging dan saturasi

efektif, yang pada akhirnya tergantung pada jumlah dan distribusi presipitat yang sudah ada.

4.3 Pengaruh ukuran sampel terhadap sifat mekanik paduan aluminium 7075 RRA

Gambar 7 menunjukkan pengaruh ukuran sampel terhadap variasi HBN paduan RRA. Secara umum naiknya waktu retrogresi menyebabkan HBN paduan RRA naik sampai mencapai maksimum untuk selanjutnya turun dengan makin lamanya waktu retrogresi. Sampel-sampel [RRA-1], [RRA-2], dan [RRA-3] memiliki HBN yang hampir sama, sedikit perbedaan HBN sampel-sampel tersebut adalah akibat perbedaan HBN sampel mula-mula. Ketiga paduan yang diamati menunjukkan kecepatan penurunan HBN yang hampir sama dengan naiknya waktu retrogresi. Berbeda dengan sampel sebelumnya, sampel [RRA-4] memperlihatkan harga HBN yang cukup rendah untuk tiap waktu retrogresi yang diamati, selain itu waktu retrogresi yang dibutuhkan untuk mencapai kekerasan maksimum lebih lama.



Gambar 7. Pengaruh ukuran sampel terhadap variasi HBN paduan aluminium 7075 RRA

Sejalan dengan hasil pengukuran HBN, kekuatan paduan RRA yang dihasilkan turun dengan bertambahnya ukuran sampel seperti diperlihatkan dalam Tabel 2. Dari tabel tersebut terlihat bahwa kekuatan sampel [RRA-4] lebih rendah dari kekuatan sampel [RRA-5], sementara kekuatan sampel [RRA-5] setara dengan kekuatan sampel T6.

Penurunan kekuatan paduan yang mendapat perlakuan RRA untuk sampel berukuran besar pada percobaan ini, diakibatkan kurang efektifnya proses retrogresi.

Tabel 2. Sifat mekanik paduan aluminium 7075

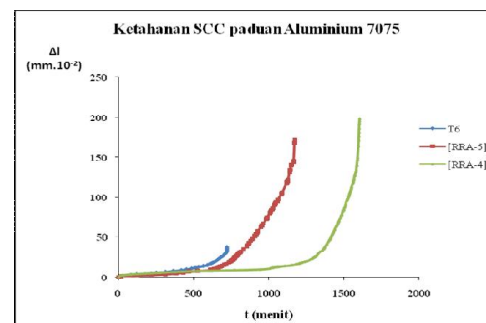
T6 dan RRA

Sampel	UTS (MPa)	YS (Mpa)	%-El (mm)	%-A (%)
T6	294	268	11,5	27,1
	305	290	12,5	26,5
	297	279	15,6	36,8
[RRA-4]	251,6	103,91	6,72	49,44
	245,8	188,70	11,24	51,74
[RRA-5]	299,5	221,66	4,94	45,22
	300,5	268,19	10,24	47,55

Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian Lin (2006) yang menyatakan bahwa perlakuan RRA terbatas pada sampel berukuran kecil karena terkendala waktu retrogresi yang singkat pada temperatur tinggi [8]. Hal tersebut juga mempertegas pendapat Cina 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.

4.4 Pengujian SCC

Kurva hasil pengujian SCC dan parameter hasil pengujian berturut-turut dapat dilihat dalam Gambar 8. dan Tabel 3.

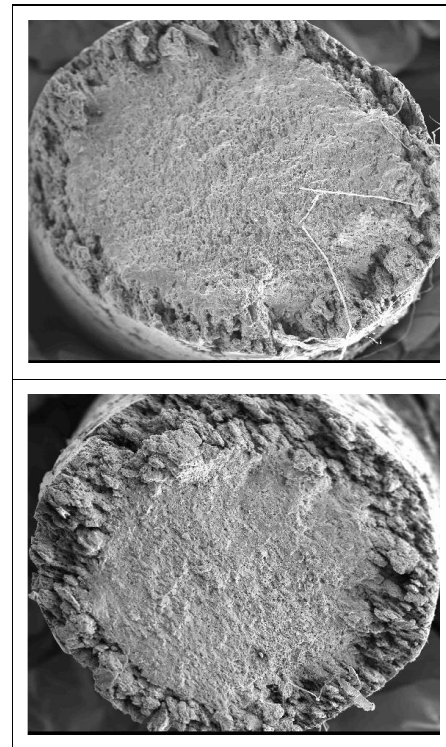


Gambar 9. Penentuan ketahanan SCC paduan aluminium 7075

Dari ketiga kurva di atas terlihat urutan waktu patah (t_f) dari yang paling kecil adalah paduan aluminium 7075 T6, [RRA-5], dan [RRA-4], yang berarti bahwa urutan ketahanan SCC paduan dari yang paling kecil adalah paduan aluminium 7075 T6 [RRA-5], dan [RRA-4]. Parameter yang lebih tepat untuk menentukan ketahanan SCC suatu paduan dalam metode ini adalah waktu kritis, yaitu waktu pada mana terjadi perubahan modus 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 [RRA-5] relatif kecil, dibanding dengan waktu kritis yang ditunjukkan oleh [RRA-4]. Hal ini berarti bahwa perubahan modus laju perambatan retakan dari laju perambatan retakan akibat SCC menjadi laju perambatan retakan akibat tegangan pada paduan T6 dan [RRA-5] terjadi lebih cepat dari pada paduan [RRA-4]. Gambar 10 (a) dan 10 (b) berturut-turut memperlihatkan permukaan patahan paduan T6 dan [RRA-4]. Permukaan patahan paduan T6 menunjukkan luas daerah kerusakan akibat pembebanan mekanik yang besar dibanding permukaan patahan paduan [RRA-4]. 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. Menurut Vina, hal tersebut sebagai akibat terbentuknya presipitat batas butir yang berukuran besar dengan jarak antar presipitat yang lebih jarang. Sebagaimana telah disebutkan di depan, perlakuan retrogresi sangat berpengaruh terhadap ukuran dan distribusi presipitat paduan RRA. Dalam paduan T6, proses pengintian dan pertumbuhan presipitat matriks dan batas butir berjalan secara bersamaan sehingga kondisi akhir presipitat batas butir dan presipitat matriks hampir sama. Hal tersebut berbeda dengan perlakuan RRA. Pada saat retrogresi sebagian presipitat matriks berukuran kecil larut dan mengintikan kembali pada saat reaging. Dalam batas butir pengintian yang terjadi adalah pengintian heterogen. Retrogresi pada temperatur lebih tinggi tidak menyebabkan presipitat yang terbentuk larut akan tetapi terus tumbuh dengan laju pertumbuhan lebih tinggi akibat difusi unsur-

unsur yang lebih cepat pada temperatur tinggi.



Gambar 10 (a). dan 10 (b). Permukaan patahan sampel T6 dan [RRA-4]

Sejalan dengan naiknya ukuran presipitat maka jarak antar presipitat semakin lebar. Reaging selanjutnya akan membuat presipitat makin besar dan jarak antar presipitat makin lebar.

Menurut Middleton dan Parkin seperti dikutip oleh Holroyd perambatan SCC dalam paduan Al-Zn-Mg terjadi melalui pelarutan presipitat batas butir η ($MgZn_2$). Presipitat tersebut bertindak sebagai lintasan aktif untuk korosi. Presipitat batas butir paduan RRA yang berukuran besar dengan jarak antar presipitat yang lebar bertindak sebagai anoda korban sehingga memperlambat SCC. 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 [RRA-4] dan [RRA-5] 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.

7. DAFTAR PUSTAKA

1. **CINA, B.**, U.S. Patent 3 856 584 (1974)
2. **STARKE, E.A.; STALEY, J.**, Application of Modern Aluminum Alloys to Aircraft, *Prog. Aerospace Sci.* Vol. 32(1996) 131-172.
3. **MERATI, ALI**, Materials Replacement for Aging Aircraft, RTO of NATO, 2011.
4. **RAIZENNE, D, et.al.**, Retrogression and re-aging (RRA) of New and Old Aircraft Parts, *6th FAA/DoD/NASA Conference on Aging Aircraft*, San Fransisco, (2002).
5. **VIANA, F., et.al.**, Retrogression and Re-aging of 7075 Aluminum Alloy : Microstructural Characterization, *Journal of Materials Processing Technology*, 92-93, (1999)54-59.
6. **HATCH, J.E.**, Aluminum, Properties and Physical Metallurgy, American Society For Metals, Metals Park, Ohio, (1984).
7. **HOLROYD, N.J.H.**, Environment Induced Cracking of High Strength Aluminum Alloys (EICM Proceedings) (1990) 311-345.
8. **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.

DISKUSI

1. **Fatchatul B.:**

Mengapa mengutamakan Al seri 7000 (7075), bukan Al seri 6000 dan apa beda sifat dan komposisi dari kedua seri ?

Enung Nurlia:

Karena seri 7000 mempunyai sifat yang lebih baik daripada seri 6000, karena seri 7000 termasuk mempunyai kekuatan tinggi, sedang seri 6000 kekuatannya medium. Untuk pesawat terbang diperlukan Al yang mempunyai persyaratan kekuatan tinggi, RRA akan meningkatkan kekuatan bahan Al. Al seri 7xxx komposisinya Al-Zn, sedang Al seri 6xxx komposisinya Al-Mg-Si.

2. **Tjipto Sujitno:**

Apakah mungkin untuk mengatasi ketidak homogenan yang mempengaruhi SCC itu dilakukan dengan menambah unsur lain seperti Ti ? dan jenis partikel apa yang terbentuk ?

Enung Nurlia:

SCC pada paduan Aluminium berlangsung secara intergranular sehingga kondisi presipitat batas butir sangat berpengaruh terhadap SCC aluminium. T6 presipitat batas butirnya berukuran halus dan sangat rapat sehingga ketahanan SCCnya rendah.(terbentuk lintasan korosi kontinu). Sedang paduan RRA presipitat batas butirnya jaraknya lebih besar sehingga tidak terbentuk lintasan korosi kontinu sehingga ketahanan SCC nya meningkat.