

Investigasi Umur Fatik Aluminium 7075-T7 Yang Mengalami Korosi Air Laut

H Yasin¹, M Badaruddin¹, I Sukmana¹, Zulhanif¹, S Savetlana¹

¹Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

Email : mbruddin@eng.unila.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menginvestigasi umur fatik paduan Al 7075-T7 yang telah terkorosi air laut yang mengandung 3.5% garam NaCl. Pengujian laju korosi dilakukan dengan merendam spesimen ke dalam air laut yang dikondisikan bergerak secara siklon pada kecepatan putar konstan 600 rpm selama 168 jam. Uji fatik dilakukan pada 3 level pembebanan yang berbeda dengan frekuensi sama ($f = 10$ Hz) untuk spesimen yang terkorosi selama 24 jam dan 48 jam. Uji perambatan retak dilakukan untuk spesimen yang terkorosi selama 24 jam dan tidak terkorosi. Hasil menunjukkan bahwa spesimen yang terkorosi air laut mengalami signifikan penurunan umur fatik. Selain itu spesimen yang terkorosi juga mengalami peningkatan laju perambatan retak fatik. Interaksi korosi awal dan pembebanan fatik, dimana pembentukan endapan partikel presipitasi yang mengandung elemen logam Cu, Fe, Mn, Zn, dan Mg yang terbentuk dalam batas butir dan matriks aluminium dipercaya menjadi pemicu mekanisme korosi galvanis. Patah belah yang dialami oleh matriks dan partikel presipitasi serta striasi ditemukan pada spesimen yang terkorosi mengungkapkan bahwa mekanisme perambatan retak fatik menjadi lebih kompleks.

Kata kunci: Al 7075, korosi air laut, korosi fatik, perambatan retak, presipitasi

PENDAHULUAN

Paduan aluminium adalah logam struktural ringan yang menunjukkan beberapa sifat mekanik unggul, yang banyak diaplikasikan untuk komponen teknik karena elemen paduan dan perlakuan panas [1]. Paduan aluminium kekuatan tinggi, seperti paduan seri 7000 yang diperkuat dengan penguatan presipitasi, sering menjadi pertimbangan utama untuk menggantikan baja dan plastik dalam aplikasi otomotif, pesawat terbang dan bangunan, yang disebabkan oleh unsur-unsur paduan, seperti Cu dan Mg [2-5]. Ada beberapa alasan memilih paduan aluminium, termasuk rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, biaya bahan baku yang murah dan biaya pemrosesan yang rendah [6]. Pembentukan partikel endapan (*precipitate*) dalam batas butir selama perlakuan panas, dapat memicu kerentanan paduan Al 7075 terhadap korosi [1]. Kekuatan paduan seri 7000 lebih tinggi dibandingkan paduan seri 6000, sehingga diharapkan dapat digunakan dengan pertimbangan mengurangi berat komponen untuk aplikasi dalam lingkungan yang korosif [1, 2, 7-9]

Umumnya korosi yang terjadi pada komponen paduan aluminium di lingkungan korosif adalah korosi lubang lokal (*pitting*), korosi intergranular, dan korosi retak tegang (SCC) [5]. SCC terjadi pada permukaan komponen yang mengalami tegangan sedangkan korosi *pitting* dan *intergranular* terjadi pada permukaan komponen, apapun kondisi pembebanannya. Jika ditemukan retak fatik, bukan SCC, maka umurnya juga diprediksi berdasarkan pengkajian terkait pertumbuhan retak fatik. Pendekatan yang lebih maju telah dikembangkan dalam industri dirgantara; sebuah teknik yang mempertimbangkan pertumbuhan retakan dari lubang korosi yang dikembangkan untuk menilai integritas struktural [10]. Oleh karena itu, perlu mengetahui karakteristik dan mekanisme pengaruh korosi dan pembebanan sebagai sumber penyebab pembentukan retak pada komponen struktur. Retak atau cacat yang terbentuk pada komponen dapat diidentifikasi secara tepat untuk

memastikan komponen struktur masih dalam kondisi aman selama aplikasi dan kegagalan yang lebih parah dialami komponen dapat dimonitor melalui perawatan secara intensif. Karakteristik pertumbuhan retak dapat dinyatakan dalam hubungan antara laju pertumbuhan retak (da/dN) dan faktor intensitas tegangan (SIF) [8]. Lee *et al.* [10] melaporkan bahwa mekanisme yang mengatur pertumbuhan retak pada paduan aluminium kekuatan tinggi dalam lingkungan berair tergantung pada nilai SIF: (1) pengkorosian yang dialami partikel presipitasi lebih bersifat anodik ditemukan dalam kondisi nilai SIF lebih rendah, dan (2) penggetasan hidrogen ditemukan pada nilai SIF lebih besar. Ogawa *et al.* [11] melakukan pengujian SCC dalam larutan NaCl dan di udara lembab, dimana laju pertumbuhan retak sebagai fungsi SIF diperoleh untuk beberapa paduan aluminium. Zhu *et al.* [9] melakukan penelitian secara eksperimen perilaku fatik Al 7075-T6 dalam zona fatik siklus tinggi (HCF) dan menemukan bahwa perubahan pola tegangan secara signifikan mempengaruhi model retak yang terbentuk: retak geser, retak campuran, dan perilaku retak fatik yang bergantung pada besarnya beban. Beban dan regangan maksimum merupakan parameter kunci untuk mempelajari perilaku kegagalan.

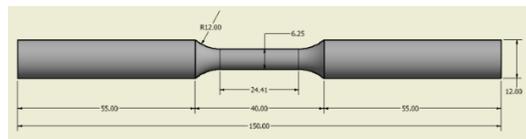
Penelitian ini menginvestigasi paduan Al 7075-T7 yang mengalami korosi air laut terhadap umur fatik dan perambatan retak fatik dengan menentukan hubungan perambatan retak fatik da/dN terhadap nilai SIF (ΔK). Selain itu faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan retak fatik dan morfologi patahan spesimen yang terkorosi diinvestigasi.

METODE PENELITIAN

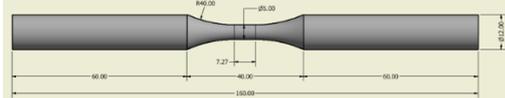
Persiapan Spesimen uji

Penelitian ini menggunakan paduan Al 7075-T7 yang diperoleh secara komersial dalam bentuk silinder batang

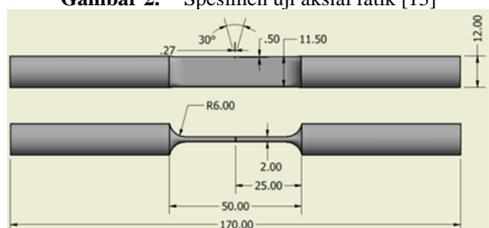
diameter 16 mm. Bentuk dan ukuran spesimen uji tarik, uji fatik dan retak fatik, masing-masing ditampilkan pada Gambar 1-3.



Gambar 1. Bentuk dan ukuran spesimen uji tarik [12]



Gambar 2. Spesimen uji aksial fatik [13]



Gambar 3. Spesimen uji perambatan retak fatik dengan bentuk retak takik [14]

Sedangkan spesimen uji korosi disiapkan menurut standar ASTM G31 [15] bentuk silinder dengan ukuran diameter 12 mm dan tinggi 10 mm.

Pengujian Korosi

Larutan korosi disiapkan dengan menuangkan 200 ml aquades ke dalam gelas beaker 500 mL dan dicampur dengan NaCl seberat 7.035 gr untuk membuat larutan yang ekuivalen dengan air laut mengandung konsentrasi garam NaCl sekitar 3.5%.

Sebanyak 5 spesimen ditimbang massa awal (m_0). Spesimen diikat dengan tali nilon untuk menggantungnya selama dalam gelas beaker dan larutan garam diaduk secara kontinyu dengan menggunakan stirrer magnet dengan kecepatan konstan 600 rpm. Spesimen direndam selama 168 jam dan kemudian diambil untuk dibersihkan dan dikeringkan, setelah itu, ditimbang untuk mengetahui perubahan berat (m_1). Timbangan digital dengan skala kemampuan pengukuran berat 0.1 mg (Adams-UK) digunakan.

Pengujian Tarik dan Fatik

Spesimen uji tarik (Gambar 1) dibebani secara aksial menggunakan mesin MTS Landmark 100 kN hingga spesimen putus dengan kecepatan konstan 0.2 kN/detik untuk memperoleh kurva tegangan (σ) vs. regangan (ϵ). Data kekuatan tarik: tegangan maksimum (σ_{ult}), tegangan luluh (σ_{yield}), Modulus elastis (E , GPa) dan nilai elongasi (e , %) diperoleh melalui analisis dari kurva tegangan vs. regangan teknik.

Spesimen uji fatik (Gambar 2) dibebani konstan dengan rasio beban (R) = -1 pada frekuensi (f) 10 Hz. Umur fatik bahan tanpa korosi dan korosi dibandingkan. Uji perambatan retak fatik menggunakan spesimen tipe SENT [14] (Gambar 3) dengan panjang takik (a_0) = 0.5 mm. Selanjutnya spesimen difatig dengan pembebanan $F_{maks} = 4.497$ KN dan $F_{min} =$

0.450 kN pada $f = 5$ Hz. Data panjang retak (a , mm) dan jumlah siklus (N , siklus) diplot. Nilai ΔK dihitung berdasarkan geometri retak, $f(a/w)$ untuk bentuk spesimen SENT [14], sebagai berikut:

$$f\left(\frac{a}{w}\right) = \sqrt{\frac{2 \tan\left(\frac{\pi a}{2w}\right)}{\cos\left(\frac{\pi a}{2w}\right)}} \left[0.752 + 2.02(a/w) + 0.37 \left(1 - \sin\left(\frac{\pi a}{2w}\right) \right)^3 \right] \quad (1)$$

Laju perambatan retak fatik (da/dN , m/siklus) dan nilai kisaran faktor intensitas tegangan (ΔK , MPa.m^{1/2}) ditentukan menggunakan metode polinomial inkremental [16] dengan memodifikasi faktor geometri retak menggunakan Persamaan (1), dan diplot dalam skala logaritma untuk menentukan nilai konstanta retak fatik C dan m dengan pendekatan hukum Paris. Pengujian fatik aksial dilakukan untuk setiap spesimen yang telah dikorosi dalam air laut selama 24 jam dan 48 jam dan masing-masing 3 spesimen uji digunakan. Sedangkan uji retak fatik dilakukan menggunakan 2 spesimen yang telah dikorosi selama 24 jam.

SEM Fraktografi dan Struktur Mikro

Pengamatan patahan permukaan hasil uji retak fatik dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Spesimen untuk pengamatan mikrostruktur disiapkan melalui serangkaian proses meliputi: *mounting*, *grinding* dan *polishing*. Setelah proses *polishing*, permukaan spesimen dietsa menggunakan 5%NaOH dan mikrostruktur diamati dengan SEM.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Korosi

Hasil uji korosi 5 spesimen Al 7075-T7 yang direndam dalam air laut buatan selama 168 jam ditampilkan pada Tabel 1. Data hasil uji korosi pada Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai rata-rata kehilangan berat spesimen Al 7075-T7 dalam lingkungan air laut (3.5% NaCl) selama 168 jam adalah sebesar 0,042 gr. Laju korosi (*corrosion rate*/CR, mpy) dihitung menggunakan persamaan (1) [17].

$$CR = \frac{W \times k}{D A_s T} \quad (2)$$

Dimana; W (gr): perubahan kehilangan berat ($m_1 - m_0$), A_s ; luas penampang rata-rata (6.784 cm²), k ; konstanta 8.76×10^4 , D ; densitas Al, dan T : lama waktu perendaman (jam). Dari persamaan (1) laju korosi paduan Al 7075-T6 dalam lingkungan air laut adalah 21.510 mpy.

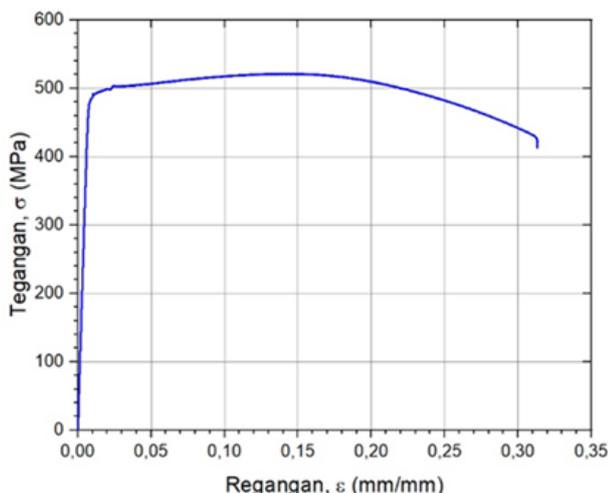
Korosi aluminium seri 7000 umumnya didominasi melalui mekanisme *anodic dissolution* dan *hydrogen induced cracking* [5]. karena fasa presipitasi MgZn₂ bersifat lebih anodik dalam matriks yang berdekatan dan dapat menjadi pemicu jalur korosi yang sudah terbentuk [3]. Batas butir yang paling kuat untuk menghambat retak korosi tegangan ditandai dengan fasa MgZn₂ lebih kasar dan erdistribusi secara local sekitar matriks aluminium. Presipitasi MgZn₂ yang kasar diasumsikan sebagai perangkap hidrogen untuk mengurangi konsentrasi hidrogen kritis pada ujung retak dan sehingga pembetulan retak melalui mekanisme pengetasan hidrogen

dapat dihambat [3, 7]. Aspek lain yang harus dipertimbangkan, menyangkut pelepasan Cu, dengan cara memisahkan Cu dalam batas butir selama perlakuan panas dengan membentuk fasa precipitasi $MgCu_2$, $MgZn_2$ dan sebagian membentuk fasa yang mengandung elemen AlCuFeMn. Fasa ini sebagai hasil dari difusi atom Cu yang dapat menyebabkan aktivitas lebih anodik [18] dari endapan batas butir dan akibatnya menungkatkan kerentanan terhadap korosi intergranular [1].

Tabel 1. Data hasil uji korosi

No. spesimen	Luas permukaan (cm ²)	Berat (gr)		Perubahan berat (gr)
		awal	akhir	
1	6,800	3,763	3,718	0,045
2	6,810	3,739	3,699	0,040
3	6,780	3,556	3,594	0,039
4	6,800	3,750	3,706	0,044
5	6,730	3,560	3,517	0,043

Paduan Al 7075 mengandung presipitasi partikel *nano-sized* $MgCu_2$ dan $MgZn$ dan partikel *micro-sized* AlCuFeMn [18]. Partikel $MgCu_2$ dan $MgZn_2$ bertindak sebagai fasa anodik dan partikel AlCuFeMn bekerja sebagai fasa katodik dalam media korosi [18]. Menunjukkan bahwa lapisan oksida dapat terbentuk pada permukaan paduan aluminium dalam NaCl bersifat asam. Pergeseran positif cepat dari *open circuit potential* pada tahap pertama dapat dikaitkan dengan pertumbuhan lapisan oksida pada permukaan paduan aluminium dengan meningkat waktu perendaman, lapisan oksida mulai rusak dan terjadi korosi lubang. Partikel AlCuFeMn yang terpapar dapat memicu efek korosi galvanik skala mikro yang mempercepat peretakan matriks aluminium [4].



Gambar 4. Kurva tegangan-regangan teknik Al-7075-T7

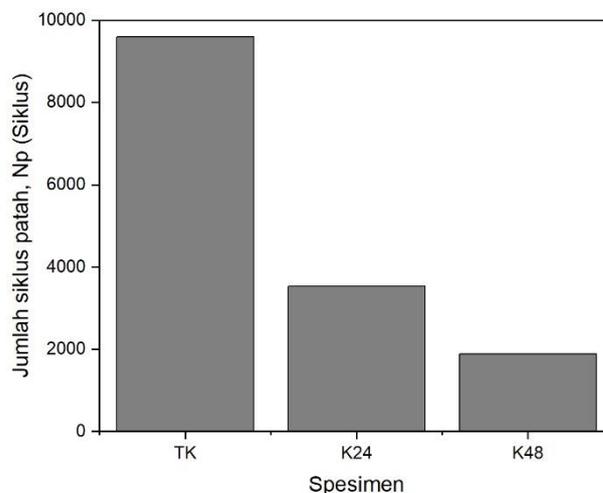
Hasil Pengujian Tarik

Prosedur analisis hasil pengujian tarik statis aluminium 7075-T7 dilakukan sesuai standar ASTM E-8 [12]. Pengujian tarik dilakukan untuk mendapatkan data *ultimate tensile strenght* (σ_{ult}) (MPa) dan menggunakan 0,2% *offset strain* diperoleh nilai *yield strength* (σ_{yield}) (MPa) [12]. Grafik tegangan-regangan teknik yang didapat dari pengujian ditampilkan pada Gambar 4. Dari Gambar 4 kekuatan tarik

paduan Al 7075-T kondisi tanpa terkorosi dapat ditentukan yaitu: tegangan luluh aluminium 7075-T7 menggunakan 0,2% *offset strain* adalah $\sigma_{yield} = 484.420$ MPa, $\sigma_{ult} = 521.546$ MPa, $E = 71.400$ GPa dan nilai $e = 31.620\%$. Kekuatan tarik Al 7075-T7 yang diinvestigasi dalam penelitian ini relatif sama dengan kekuatan tarik yang dilaporkan oleh Fujii *et al.* [8] dan Santoso dkk. [19].

Pengaruh korosi terhadap umur fatik

Gambar 5 menampilkan hasil pengujian fatik aksial untuk spesimen tanpa korosi (TK) dan spesimen yang terkorosi air laut selama 24 jam (K24) dan selama 48 jam (K48). Hubungan antara konsentrasi perendaman korosi terhadap umur fatik hasil dari pengujian aluminium 7075-T7 tanpa perlakuan dan dengan perlakuan perendaman selama 24 jam dan 48 jam ditampilkan pada Gambar 5. Jumlah siklus patah (N_f) spesimen TK rata-rata adalah 7262 siklus, spesimen K24 = 2710 siklus, dan spesimen yang direndam dalam larutan korosi selama 48 jam (K48) adalah rata-rata 2575 siklus. Pengujian fatik aksial menunjukkan jumlah siklus fatik yang dialami setiap spesimen uji TK, K24 dan K48 lebih pendek jumlah siklus patah dibandingkan dengan jumlah siklus yang didapat dari hasil pengujian retak fatik, hal ini dikarenakan rasio beban yang diterapkan pada uji fatik aksial adalah $R = -1$, yang mengindikasikan bahan mengalami tarik dan tekan yang sama dalam arah yang berbeda. Sedangkan pengujian retak fatik nilai R yang diterapkan pada spesimen uji adalah 0.1.

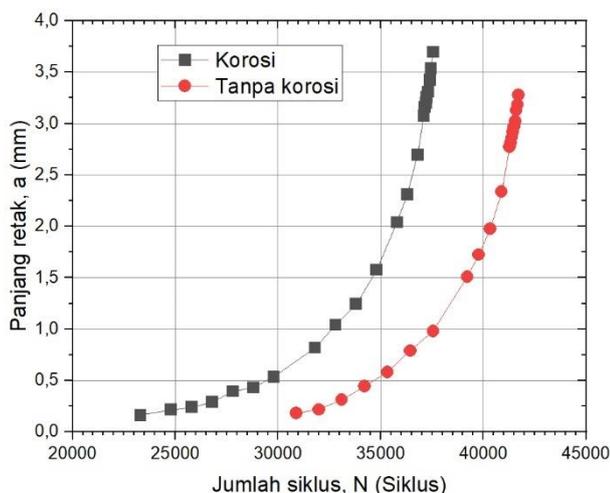


Gambar 5. Nilai rata-rata jumlah siklus patah spesimen uji fatik yang terkorosi air laut

Pengaruh korosi air laut terhadap retak fatik

Panjang retak (a) dan jumlah siklus (N) paduan Al 7075-T7 kondisi terkorosi air laut 3.5%NaCl ditampilkan pada Gambar 6. Berikut ini penjelasan investigasi pertumbuhan retak dengan menggunakan perkiraan panjang retak berdasarkan penambahan siklus fatik (N). Untuk spesimen terkorosi fenomena yang diamati pada hasil uji retak fatik pada kondisi beban fatik yang sama, retak dapat diukur skitar $a = 0.162$ mm pada $N = 23,300$ siklus. Sedangkan untuk spesimen tanpa terkorosi panjang retak mulai dapat diukur adalah 0.182 mm pada 30,889 siklus. Retakan terus bertambah dari awal pembebanan hingga mencapai $a = 0.818$ dalam 31,800 siklus, sedangkan spesimen tanpa terkorosi

panjang retak mencapai 0.7900 mm dalam 36,444 siklus. Perbedaan panjang retak spesimen terkorosi dengan tanpa korosi untuk retak mencapai sekitar 0.1 mm membutuhkan lebih dari 5000 siklus. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh korosi air laut yang signifikan terhadap peningkatan panjang retak yang terbentuk (Gambar 6). Peranan presipitasi partikel (Al,Cu)₆(Fe,Cu) [18] memicu pembentukan sel galvanik di batas butir mengelilingi matrik aluminium dipercaya menjadi pemicu retak dengan konsentrasi tegangan lebih besar terbentuk. Hasil pengujian retak fatik menunjukkan bahwa tegangan maksimum yang tinggi mendorong inisiasi retakan makro, sehingga menyebabkan pengurangan umur fatik.



Gambar 6. Kurva perambatan retak Al 7075-T7 dalam kondisi terkorosi air laut

Pertambahan panjang retak mulai menunjukkan tren yang lebih cepat diamati pada Gambar 6 untuk untuk spesimen terkorosi dengan panjang retak 0.534 mm pada 29,800 siklus, dan untuk spesimen tanp a terkorosi a = 0.443 mm pada 34,222 siklus. Retak terus bertambah panjang hingga spesimen patah dimana fenomena ini dapat diidentifikasi sebagai batas ukuran retak mencapai nilai kritis (a_c), yaitu untuk spesimen terkorosi a_c = 3.695 mm pada 37,550 siklus, sedangkan spesimen tanpa terkorosi a_c = 3.277 mm pada 41,722 siklus.

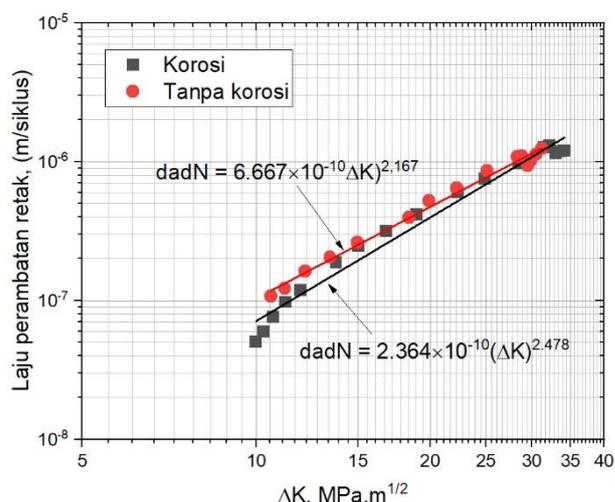
Pada Gambar 7 nilai konstanta retak fatik C dan m diperoleh dengan menggunakan regresi linier. Nilai C dan m untuk spesimen tanpa terkorosi adalah 6.667 × 10⁻¹⁰ dan 2.167, masing-masing. Nilai ΔK untuk spesimen tanpa terkorosi dihitung mulai panjang retak 0.850 mm dari mulut takik (a_n = 0.5 mm) sampai retak mencapai 3.537 mm. Nilai ΔK yang diplot pada Gambar 7 mulai dari 10.616 MPa.m^{1/2} hingga 31.211 MPa.m^{1/2}. Sedangkan untuk spesimen yang terkorosi nilai ΔK mulai dari 9.993 hingga 34.155 MPa.m^{1/2} dalam kisaran panjang retak mulai dari 0.762 sampai 3.807 mm. Persamaan laju perambatan retak fatik (da/dN) Al 7075-T7 tanpa terkorosi dirumuskan secara matematika dalam bentuk persamaan (3):

$$\frac{da}{dN} = 6.667 \times 10^{-10} (\Delta K)^{2.167} \tag{3}$$

Selanjutnya untuk Al 7075-T7 yang terkosori air laut, dirumuskan dalam bentuk persamaan (4):

$$\frac{da}{dN} = 2.364 \times 10^{-10} (\Delta K)^{2.478} \tag{4}$$

Dari persamaan (4) nilai C dan m masing-masing didapat untuk paduan Al 7075-T7 yang terkorosi air laut, yaitu: C = 2.364 × 10⁻¹⁰ dan nilai m = 2,478. Nilai faktor intensitas tegangan dimana spesimen mengalami patah untuk spesimen terkorosi, ΔK_c = 34.155 MPa.m^{1/2} dan spesimen tanpa terkorosi, ΔK_c = 31.211 MPa.m^{1/2}. Nilai ΔK_c untuk kedua spesimen dalam kondisi yang berbeda lebih tinggi dibandingkan dengan nilai ketangguhan patah, K_{IC} = 29.7 MPa.m^{1/2} paduan Al 7075-T7 yang dilaporkan dalam ref. [8].



Gambar 7. Hubungan laju perambatan retak (da/dN) dan ΔK Al 7075-T7 dalam kondisi terkorosi air laut

Selanjutnya, nilai ΔK yang diperoleh dari hasil penelitian sekarang ini dibandingkan dengan nilai ΔK yang diperoleh oleh Budiyarti dan Ilman [20] untuk paduan Al 7075 yang terkorosi air laut 3.5%NaCl dengan nilai ΔK = 6.609 × 10⁻¹¹ dan nilai m sebesar 4.057. Sedangkan untuk paduan Al 7075-T7 dalam kondisi tidak terkorosi, nilai ΔK dan m masing-masing adalah 1.395 × 10⁻¹¹ dan 3.741.

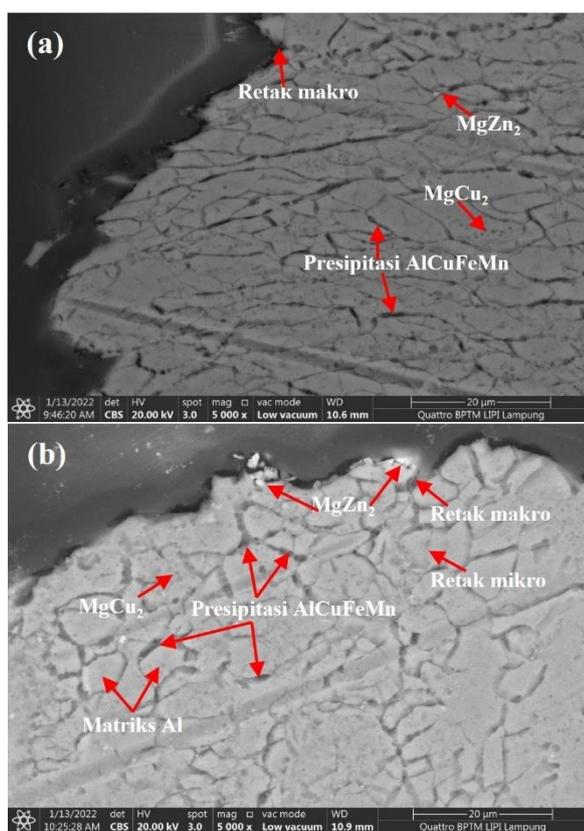
Analisis morfologi retak dan fraktografi

Analisis morfologi patahan pasca-kegagalan fatik untuk spesimen dalam kondisi pembebanan yang berbeda telah dilakukan, Hasil SEM mikrostruktur pada daerah patahan spesimen tanpa terkorosi dan terkorosi air laut ditampilkan pada Gambar 8a dan 8b. Endapan partikel presipitasi (warna gelap) pada batas butir secara jelas dapat dilihat pada Gambar 8a dan 8b. Retak inisiasi dan penyebaran retak makro primer mendominasi proses kegagalan. terutama berfokus pada daerah inisiasi retak makro utama. Pada tegangan maksimum tertinggi, beberapa inisiasi retakan mikro diamati pada semua spesimen, seperti yang ditunjukkan pada morfologi patahan pada Gambar 8a dan 8b, yang konsisten dengan pengamatan yang dipublikasikan sebelumnya bahwa banyak retakan lebih mudah terbentuk di bawah tegangan maksimum tinggi pada permukaan spesimen [9].

Beberapa retakan yang disebabkan oleh korosi diamati untuk memulai dan berkembang di bawah kondisi pembebanan yang berbeda. Sebagian besar retakan makro utama berawal pada permukaan spesimen. Interaksi antara

korosi lokal dan kegagalan fatik pada Gambar 8b menunjukkan lokasi retak mikro utama dan lokasi retakan mikro kedua diamati pada permukaan dekat daerah lintasan patahan yang mengandung presipitasi partikel AlCuFeMn [8].

Perambatan dan penggabungan kedua retakan mikro dapat membentuk retakan endapan partikel (Gambar 8b), yang menunjukkan bahwa retak mikro berasal dari fitur korosi lokal yang luas dekat daerah patahan spesimen. Pembentukan korosi lokal pada paduan aluminium berkekuatan tinggi biasanya dikaitkan dengan beberapa fraksi partikel penyusunnya, seperti AlCuFeMn, MgZn₂, dan MgCu₂ [18]. Perbedaan yang signifikan dalam perilaku elektrokimia dari fase matriks aluminium di sekitarnya menyebabkan partikel tersebut bertindak sebagai katodik terhadap matriks aluminium (anodik), yang menyebabkan korosi lokal di beberapa area sampel [8, 18].



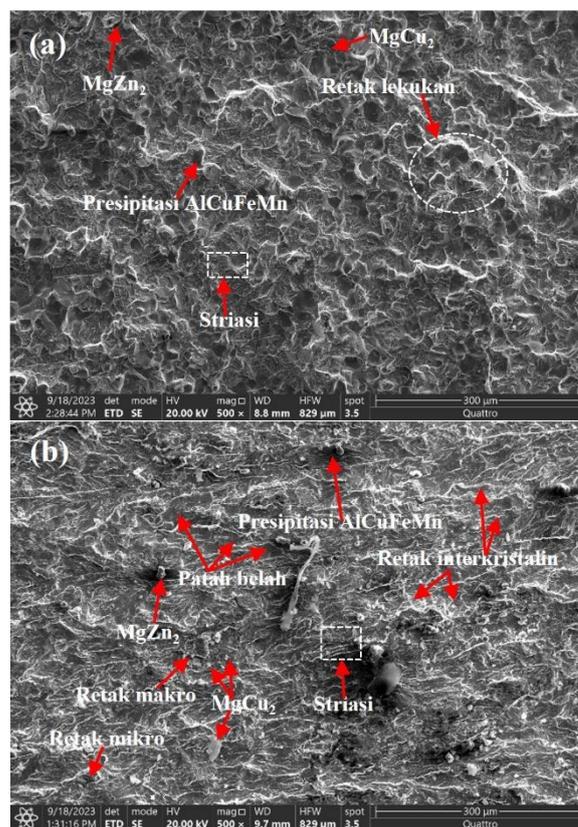
Gambar 8. SEM fotomikro paduan Al 7075-T7 hasil uji fatik (a) spesimen tanpa korosi, dan (b) spesimen terkorosi selama 48 jam

Gambar 9a menunjukkan morfologi permukaan patahan spesimen tanpa tekori yang lebih banyak didominasi oleh patahan dalam bentuk lekukan (*dimple*) dan matriks aluminium yang mengalami pembelahan (*cleavage fracture*). Permukaan patahan gelap (panah B) menunjukkan patahan yang terjadi pada partikel presipitasi.

Morfologi patahan pada spesimen terkorosi (Gambar 9b) menunjukkan patahan lebih didominasi oleh patahan interkristalin. Selain itu, permukaan patah belah (*cleavage*) mungkin terjadi pada daerah presipitasi yang kaya dengan endapan yang mengandung fasa AlCuFeMn [18]. Ciri-ciri patah belah diamati pada morfologi patahan yang menunjukkan bahwa awal proses korosi terjadi akibat korosi galvanis yang menyebabkan penggetasan material [7].

Disamping itu, matriks aluminium mengalami pembelahan (*cleavage fracture*) karena deformasi plastis yang terjadi selama perambatan retak dan mungkin berdampak pada turunnya laju perambatan retak pada saat retak mencapai ukuran kritis (Gambar 7b).

Selanjutnya, pengamatan *micro voids* pada Gambar 9a dan 9b menunjukkan mekanisme patahan mikro utama yang terjadi selama perambatan retak. Patahan *striasi* diamati akibat pembebanan secara berulang. Patahan *striasi* yang terbentuk searah dengan awal retakan ke patah cepat yang terjadi pada aluminium 7075.



Gambar 9. SEM morfologi permukaan patahan spesimen hasil uji fatik (a) tanpa terkorosi, dan (b) terkorosi air laut.

Fenomena bahwa retak fatik berasal dari korosi lokal, disertai dengan karakteristik patah belah yang khas, konsisten dengan penelitian sebelumnya yang dilaporkan [2, 4, 8, 18], yang mengungkapkan bahwa konsentrasi tegangan pada korosi lokal semakin cepat. inisiasi retak mulai terbentuk pada batas butir. Morfologi patahan permukaan dengan SEM pada Gambar 9b, memberikan karakterisasi kuantitatif dan kualitatif dari seluruh proses kegagalan fatik berawal pada korosi yang lebih dominan dalam berbagai kondisi pembebanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa korosi lokal menembus permukaan spesimen secara signifikan dan mempengaruhi lokasi inisiasi retak fatik. Fenomena ini menunjukkan bahwa patahan spesimen akibat korosi dapat mempengaruhi secara signifikan lokasi nukleasi retak fatik. Evolusi kerusakan dan proses kegagalan berbeda secara temporari dan spasial antara matriks dan partikel presipitasi dengan kondisi pembebanan sama, yang mungkin dipengaruhi oleh: variasi metalurgi, mikrostruktur dan topografi [18]. Tiga mode kegagalan yang khas (patah retak

tunggal, kompetisi multi-retak, dan pertumbuhan paralel multi-retak) diamati pada Gambar 9b. Untuk mode retakan makro tunggal retakan tunggal berasal dari korosi lokal dan menyebar dengan siklus meningkat hingga patah. Selain itu, beberapa retakan makro ditemukan dimulai di beberapa lokasi pada permukaan spesimen dan dapat dibedakan sebagai kompetisi multi-retak dan pertumbuhan paralel multi-retak. Untuk mode kompetisi multi-retak, dua atau lebih retakan dimulai di beberapa wilayah yang berdekatan, namun hanya satu dari retakan tersebut yang akhirnya membentuk retakan utama dan menyebabkan kegagalan. Untuk mode pertumbuhan paralel multi-retak, beberapa retakan ditemukan tumbuh secara paralel secara bersamaan. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa jalur retakan sangat berbeda dalam mode yang berbeda pada spesimen terkorosi dan tanpa terkorosi. Mode retakan ini ditentukan oleh efek gabungan dari kondisi pembebanan dan lokasi relatif daerah inisiasi retak makro, terkait dengan distribusi spasial korosi lokal.

Kesimpulan

Paduan Al 7075-T7 mengalami korosi sekitar 21.510 mpy dalam air laut buatan. Korosi yang dialami paduan aluminium juga berimplikasi pada penurunan umur fatik bahan yang tergantung pada lama proses korosi yang dialami. Hasil menunjukkan bahwa umur fatik aluminium terkorosi air laut (3.5% NaCl) mengalami penurunan umur fatik yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan tanpa perlakuan korosi. Penurunan umur fatik dapat disebabkan oleh mekanisme interaksi korosi galvanik antara endapan partikel fasa yang mengandung elemen logam Cu, Fe, Mn, Zn dan Mg yang terbentuk pada batas butir dengan matriks aluminium. Selanjutnya, korosi air laut yang dialami paduan aluminium juga berdampak pada turunnya kemampuan bahan terhadap ketahanan pembentukan retak fatik. Berdasarkan nilai konstanta eksponensial m persamaan Paris, laju perambatan retak fatik Al 7075-T7 terkorosi air laut mengalami peningkatan sebesar 1.145 kali dibandingkan dengan laju perambatan retak fatik paduan tidak terkorosi.

Ucapan terimakasih

Penelitian ini didanai oleh Fakultas Teknik (FT)-Universitas Lampung melalui hibah penelitian DIPA FT dengan kontrak No. 3153/UN26.15/LK.03/2023.

Referensi

[1] C. Schnatterer, D. Zander, Influence of heat treatments on the stress corrosion cracking susceptibility of 7075 aluminum wires in NaCl solutions, *Materials and Corrosion*, 67 (2016) 1164-1172.

[2] R.T. Euesden, Y. Aboura, A.J. Garner, T. Jailin, C. Grant, Z. Barrett, C. Engel, P. Shanthraj, N.J.H. Holroyd, P.B. Prangnell, T.L. Burnett, In-situ observation of environmentally assisted crack initiation and short crack growth behaviour of new-generation 7xxx series alloys in humid air, *Corrosion Science*, 216 (2023) 111051.

[3] R. Huang, H. Yang, P. Sun, S. Zheng, M. Li, Y. Duan, Effects of Mg contents on microstructures and corrosion behaviors of homogenization Al-Zn-Mg-Cu alloys, *Corrosion Science*, 223 (2023) 111461.

[4] X. Liu, Y. Li, L. Lei, X. Wang, The effect of nitrate on the

corrosion behavior of 7075-T651 aluminum alloy in the acidic NaCl solution, *Materials and Corrosion*, 72 (2021) 1478-1487.

[5] A.C.U. Rao, V. Vasu, M. Govindaraju, K.V.S. Srinadh, Stress corrosion cracking behaviour of 7xxx aluminum alloys: A literature review, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 26 (2016) 1447-1471.

[6] E.A. Starke, J.T. Staley, 24 - Application of modern aluminium alloys to aircraft, in: R. Lumley (Ed.) *Fundamentals of Aluminium Metallurgy*, Woodhead Publishing 2011, pp. 747-783.

[7] J. Chen, X. Zhang, L. Zou, Y. Yu, Q. Li, Effect of precipitate state on the stress corrosion behavior of 7050 aluminum alloy, *Materials Characterization*, 114 (2016) 1-8.

[8] T. Fujii, D. Ito, Y. Shimamura, Growth characteristics of stress corrosion cracking in high-strength 7075 aluminum alloy in sodium chloride solutions, *Engineering Fracture Mechanics*, 292 (2023) 109657.

[9] X. Zhu, A. Shyam, J.W. Jones, H. Mayer, J.V. Lasecki, J.E. Allison, Effects of microstructure and temperature on fatigue behavior of E319-T7 cast aluminum alloy in very long life cycles, *International Journal of Fatigue*, 28 (2006) 1566-1571.

[10] S.M. Lee, S.I. Pyun, Y.G. Chun, A critical evaluation of the stress-corrosion cracking mechanism in high-strength aluminum alloys, *Metallurgical Transactions A*, 22 (1991) 2407-2414.

[11] T. Ogawa, S. Hasunuma, T. Shirawachi, N. Fukada, Effect of Chemical Composition and Relative Humidity on the Humid Gas Stress Corrosion Cracking of Aluminum Alloys, *压力技術*, 57 (2019) 24-33.

[12] ASTM E8 / E8M-09, *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2009.

[13] ASTM E 466, *Standard Practice for Conducting Force Controlled Constant Amplitude Axial Fatigue Tests of Metallic Materials*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2002.

[14] T.L. Anderson, *Fracture Mechanics*, 4th ed., CRC Press., Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2017.

[15] ASTM G31, *Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2004.

[16] ASTM E647, *Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2000.

[17] F. Malaret, Exact calculation of corrosion rates by the weight-loss method, *Experimental Results*, 3 (2022) e13.

[18] Z. Li, H. Yu, D. Sun, The tribocorrosion mechanism of aluminum alloy 7075-T6 in the deep ocean, *Corrosion Science*, 183 (2021) 109306.

[19] A. Santoso, M. Badaruddin, S. Savetlana, Pengaruh rasio regangan terhadap perilaku low cycle fatigue (LCF) paduan Al 7075-T7, *Mechanical*, 9 (2018) 38-44.

[20] P. Budiyarti, M.N. Ilman, Studi Experimental Fatik Korosi Aluminium Paduan 7075-T6 pada Lingkungan 3,5% NaCl dengan Inhibitor Na₂CrO₄, *POROS*, 16 (2018) 69-78.