

## Pengaruh Beban Siklik Terhadap Perilaku Korosi Lelah Baja Tahan Karat AISI 304 dalam Larutan 3,5% NaCl

Syifaул Huzni<sup>1,2</sup>, Herdi Susanto<sup>1,3</sup> dan M. Ridha<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Magister Teknik Mesin, Program Pascasarjana, Universitas Syiah Kuala  
Jl. Tgk. Syech Abdul Rauf No.7 Darussalam, Banda Aceh, 23111, Indonesia

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdul Rauf No.7 Darussalam, Banda Aceh, 23111, Indonesia

<sup>3</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar, Meulaboh 23681 Aceh Barat  
Email: syifaул@unsyiah.ac.id

### Abstrak

Kegagalan akibat korosi lelah merupakan fenomena yang sering terjadi pada struktur yang berhubungan dengan lingkungan korosif. Langkah penggunaan bahan tahan karat seperti AISI 304 telah dilakukan, namun fenomena kegagalan akibat korosi lelah masih terjadi dan mekanisme kegagalannya masih belum dapat difahami dengan baik. Kombinasi lingkungan korosif dan jenis pembebanan siklik yang diterima bahan merupakan salah satu penyebab inisiasi korosi lelah. Pembentukan *pit* (lubang) pada permukaan struktur menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan yang pada tahap tertentu akan memicu kegagalan lelah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa perilaku lelah baja tahan karat AISI 304 yang mengalami pembebanan siklik dalam lingkungan air laut buatan (3,5% NaCl). Pengujian korosi lelah dilakukan berdasarkan ASTM F1801-97, menggunakan mesin uji lelah tipe *rotary bending*. Spesimen dibuat berdasarkan ASTM E466. Pertumbuhan *pit* dan retak diamati pada tujuh siklik yang berbeda, sedangkan kurva polarisasi diukur pada empat siklik yang berbeda, dengan tegangan lelah konstan 369,53MPa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pertumbuhan *pit* berlangsung dari siklik 0 sampai siklik  $4.2 \times 10^5$ , selanjutnya diikuti dengan perambatan retak hingga siklik  $7.2 \times 10^5$ . Kegagalan yang terjadi lebih didominasi oleh dampak perambatan retak. Rasio pertumbuhan antara panjang dan lebar *pit* didominasi oleh pertumbuhan panjang retak. Selanjutnya, hasil pengukuran potensial dan arus korosi yang direpresentasikan oleh kurva polarisasi menunjukkan bahwa peningkatan jumlah siklik menyebabkan nilai potensial korosi menurun sedangkan densitas arus korosi meningkat. Retak diperlakukan spesimen menyebabkan terjadinya penurunan densitas arus korosi yang diukur dibandingkan kondisi sebelumnya.

**Keywords:** beban siklik, korosi lelah, AISI 304, pertumbuhan *pit*, kurva polarisasi

### Pendahuluan

Baja tahan karat AISI 304 adalah jenis material yang banyak digunakan secara ekstensif dalam dunia industri seperti industri petrokimia, pembangkit listrik termal, alat konstruksi dan transportasi. Penggunaan yang luas dari baja tahan karat ini karena sifat mekanik dan fisik serta ketahanan korosi yang sangat baik (Michael F. McGuire 2008). Aplikasi baja tahan karat pada konstruksi dan transportasi yang berhubungan langsung dengan air laut sangat beresiko mengalami korosi. Oleh karena itu, penanganan yang tepat sangat diperlukan untuk mendeteksi lebih awal kegagalan yang mungkin terjadi pada baja tahan karat tipe AISI 304 sehingga kegagalan yang mungkin terjadi dapat diantisipasi dengan baik.

Penelitian terdahulu mengenai pengaruh faktor lingkungan termasuk pH, ion klorida, dan *inhibitor pitting* terhadap sifat lelah korosi stainless steel tipe 347 pada pengujian lelah siklik tinggi dan pengamatan pertumbuhan retak lelah telah dilakukan pada lingkungan air dan udara. Hasil penelitian menunjukkan kekuatan lelah siklik tinggi berkurang dalam larutan asam dan larutan yang mengandung klorida (Chih-Kuang Lin & I-Lon Lan 2005).

Hasil penelitian perilaku lelah baja SAE 8620 dalam larutan 3,5 % NaCl menunjukkan bahwa korosi *pit* terjadi karena adanya serangan anodik yang menyebabkan terjadinya inisiasi retak korosi lelah (Nelson do Nascimento Atanazio Filho et. al 2007).

Dari kedua penelitian diatas, diketahui bahwa

kehadiran ion klorida memberikan pengaruh yang besar pada pertumbuhan *pit* dan retak lelah. Pertumbuhan *pit* dan retak lelah terjadi pada area terlokalasi, dimana area tersebut mengalami regangan plastik akibat tegangan lelah, sehingga pada area tersebut akan terbentuk daerah anoda yang merupakan salah satu syarat terjadinya korosi.

Pengaruh regangan elastik dan plastik terhadap densitas arus korosi pada lingkungan air laut buatan telah disimulasi menggunakan program *MSC Nastran* untuk spesimen *U-bend*, hasil penelitian menunjukkan bahwa efek galvanik akan terjadi di atas permukaan baja karbon dengan nilai elastik/regangan plastik yang lebih besar menjadi lebih anodik dan area ini lebih terkorosi (M. Ridha and S.Aoki. 2006).

Tegangan aplikasi pada baja tahan karat AISI 304 dalam lingkungan air laut buatan mempengaruhi kurva polarisasi. Potensial korosi ( $E_{cor}$ ) semakin negatif dengan bertambahnya tegangan dan densitas arus korosi ( $i_{cor}$ ) semakin tinggi dengan bertambahnya tegangan (Marzuki Daud 2010), namun dalam penelitian ini terbatas pada beban statik. Perubahan perilaku korosi bahan AISI 304 dalam kondisi beban siklik atau dinamik belum diketahui.

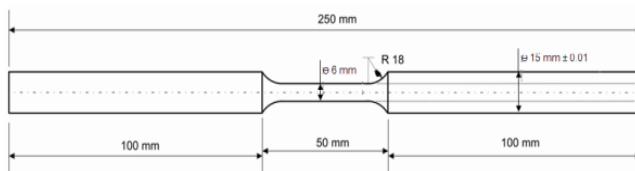
Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara beban siklik dengan perilaku elektrokimia, pertumbuhan *pit* dan kurva polarisasi bahan AISI 304 dalam lingkungan air laut.

## Metode Penelitian

### Bahan dan Spesimen

Baja tahan karat AISI 304 dengan komposisi kimia (dalam persen), 18.28 Cr, 8.1 Ni, 1.71 Mn, 0.44 Si, 0.042 C, 0.036 P dan 0.008 S. Bahan tersebut memiliki kekuatan tarik 563.30 N/mm<sup>2</sup>, kekuatan luluh 219.20 N/mm<sup>2</sup>, dan perpanjangan (*elongation*) 67 %.

Bentuk dan ukuran spesimen disesuaikan dengan standar ASTM E466 (*Tangentially Blending Fillets*), sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Ukuran spesimen

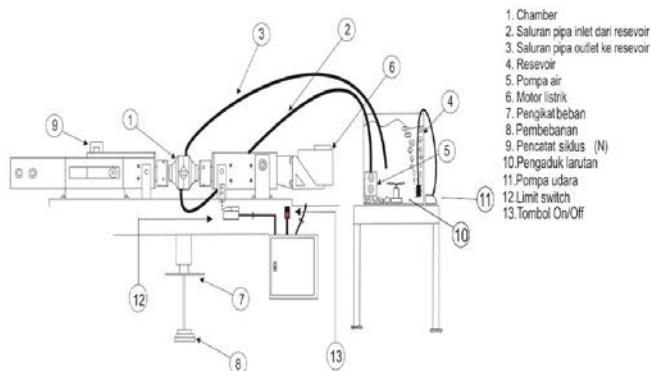
### Prosedur Penelitian

Dalam kajian ini digunakan mesin uji lelah tipe

*rotary fatigue bending* dengan frekuensi 50Hz (2900 rpm), dan rasio tegangan R=-1.

### Susunan Peralatan

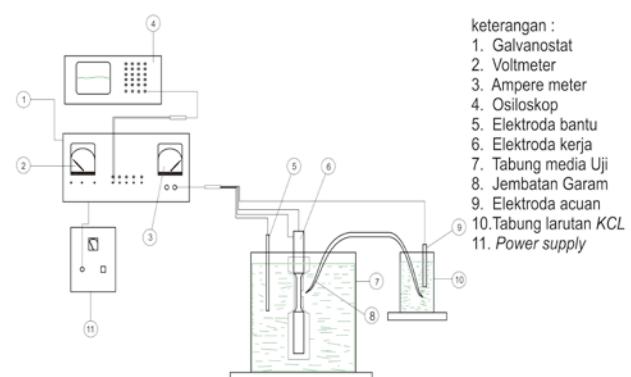
Susunan (*set-up*) peralatan untuk pengujian korosi lelah dapat dilihat Gambar 2. Air laut buatan (3,5% NaCl) disirkulasikan ke permukaan uji spesimen dengan menggunakan alat sirkulasi media korosif yang dirancang sesuai dengan standar ASTM F-1801-97. Air laut tersebut dipompa dengan laju rata-rata 400ml/menit (ASTM STP 81) dari sebuah resevoir yang mempunyai kapasitas 25 L menuju *fluid chamber*.



Gambar 2 *Set-up* mesin uji lelah dengan tambahan peralatan sirkulasi media korosif

Sebelum pengujian korosi lelah dilakukan, kekasaran permukaan spesimen yang akan diuji terlebih dahulu diukur dengan menggunakan alat uji kekasaran permukaan TR200, untuk memastikan bahwa kekasaran permukaan spesimen berada di bawah 0,2 $\mu$ m (ASTM E 466 – 96). Selanjutnya pengujian korosi lelah dilakukan dilakukan untuk mendapatkan data kekuatan lelah yang diplot dalam kurva S-N. Permukaan patah dari spesimen diamati dengan menggunakan *scanning electron microscope* (SEM) Hitachi TM3000.

Pengukuran panjang, lebar pertumbuhan *pit* dan retak dilakukan pada tegangan lelah 369.53MPa. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik Olympus.



**Gambar 3.** Set-up pengukuran kurva polarisasi.

Metode pengukuran polarisasi korosi dilaksanakan berdasarkan standar ASTM G5-94, pengukuran dilakukan pada tingkatan tegangan lelah 369.53 MPa menggunakan galvanostat Hokuto Denko HA-301 dan ossiloscope Tektronik TDS 304. Set-up pengukuran polarisasi elektrokimia lihat Gambar 3.

## Hasil dan Pembahasan

### Perilaku Pertumbuhan *Pit* dan Retak

Gambar 4 menunjukkan bahwa *pit* telah tumbuh dan berkembang pada siklik  $120 \times 10^3$  dengan ukuran *pit* rata-rata  $27,275 \mu\text{m}$ . *Pit* tersebut terus berkembang sehingga mencapai siklik  $420 \times 10^3$  dengan ukuran rata-rata  $137.91 \mu\text{m}$ . Pengamatan terhadap pertumbuhan retak yang terjadi menunjukkan bahwa pada tegangan maksimum 369,63 MPa, kegagalan lelah yang terjadi lebih di dominasi oleh dampak dari perambatan retak yang terjadi akibat pembebahan siklik dari  $520 \times 10^3$  hingga siklik  $720 \times 10^3$ . Perbedaan perbandingan antara pertumbuhan panjang dan lebar *pit* terlihat sangat signifikan. Pertumbuhan panjang lebih dominan dibandingkan pertumbuhan lebar retak.

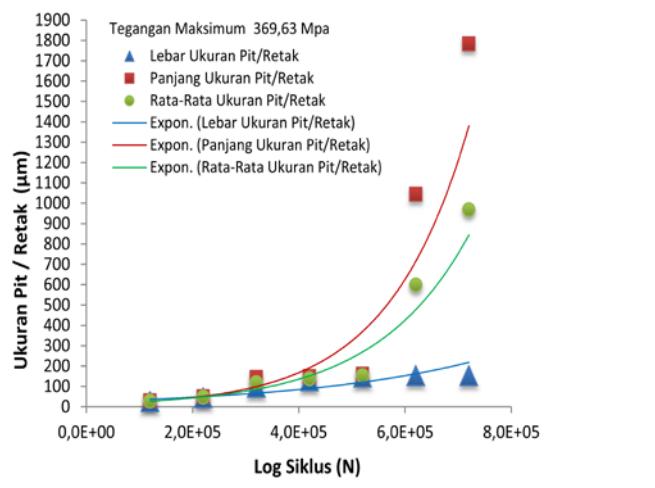
**Gambar 4.** Grafik pengaruh siklik terhadap pertumbuhan *pit* dan retak dalam larutan 3,5% NaCl

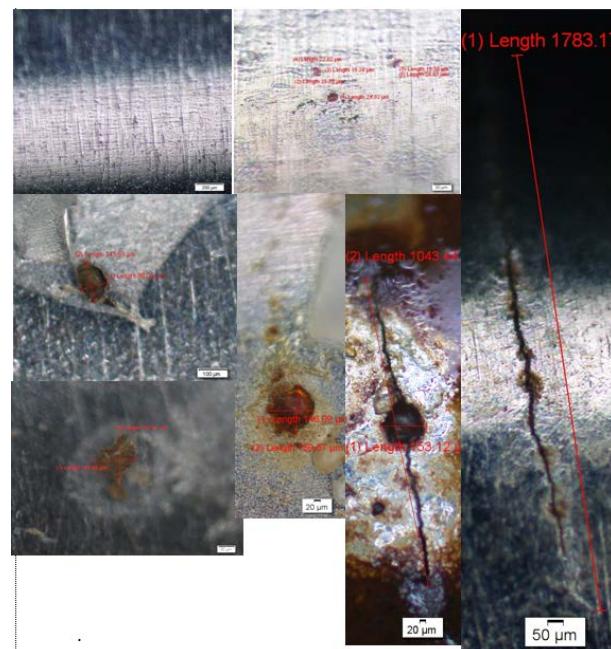
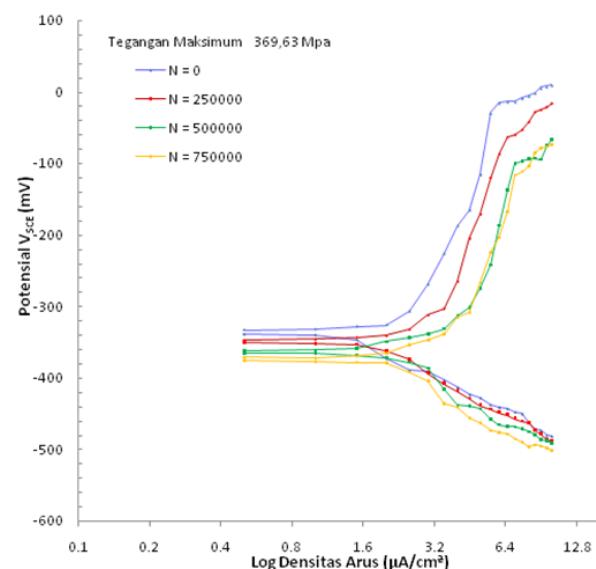
Foto hasil pengamatan pertumbuhan *pit* dan retak pada permukaan spesimen baja tahan karat AISI 304 pada tegangan lelah 369.53 MPa dalam larutan 3,5% NaCl ditunjukkan dalam Gambar 5.

Dari Gambar 5 terlihat bahwa pertumbuhan *pit* berkembang hingga siklus  $320 \times 10^3$ . Retak mikro tidak terjadi pada tegangan lelah 369.53 MPa. Mulai siklus  $320 \times 10^3$  *pit* berkembang ke arah perambatan retak hingga terjadi perpatahan pada jumlah siklus

yang lebih besar daripada  $720 \times 10^3$ .

### Perilaku Kurva Polarisisasi

Hasil uji polarisasi galvanostatik secara anodik-katodik terhadap spesimen baja tahan karat AISI 304 yang diberi variasi siklik (dalam 3,5% NaCl dan suhu kamar) dengan tegangan lelah konstan 369.63 MPa, ditampilkan dalam bentuk grafik kurva polarisasi anodik dan katodik (skala log) sebagaimana dapat dilihat dalam Gambar 6.

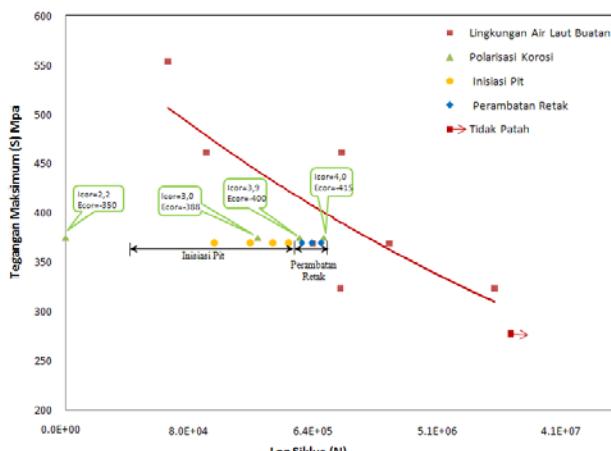
**Gambar 5.** Pertumbuhan Inisiasi *Pit* dan Retak**Gambar 6.** Hasil uji polarisasi katodik-anodik baja tahan karat AISI 304

Gambar 6 menunjukkan bahwa jumlah siklik

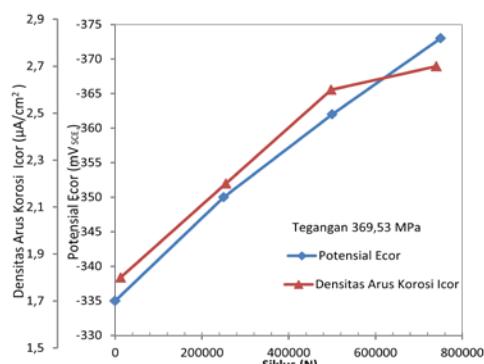
mempengaruhi perubahan potensial yang terjadi pada permukaan spesimen, dimana semakin besar jumlah siklik yang terjadi maka nilai potensial permukaan spesimen semakin menurun dan densitas arus korosi semakin meningkat.

#### Pengaruh Beban Siklik terhadap Pertumbuhan Pit dan Polarisi Korosi

Gambar 7 menunjukkan bahwa inisiasi pertumbuhan *pit* untuk tegangan lelah 369.53 MPa. Dari gambar tersebut terlihat bahwa 43% dari total siklik didominasi oleh perambatan retak dan sisanya 57% dari total siklik terjadi pertumbuhan *pit*.



**Gambar 7** Hubungan Beban siklik terhadap pertumbuhan *pit* dan polarisasi korosi



**Gambar 8** Hubungan polarisasi korosi terhadap siklus

Perilaku polarisasi korosi pada Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan densitas arus  $I_{cor}$  dari siklik 0 hingga  $50 \times 10^3$  dengan kisaran kenaikan  $0,4 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ . Jika dibandingkan dengan kenaikan pada siklik antara  $50 \times 10^3$  hingga  $75 \times 10^3$  dimana terjadi kenaikan densitas harus sebesar  $0,1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ , maka peningkatan densitas arus  $I_{cor}$  relatif kecil pada siklik diatas  $50 \times 10^3$  untuk tegangan lelah 369.53 MPa. Hal ini dikarenakan tegangan yang terjadi telah terpusat pada retak yang

menjalar pada permukaan spesimen, sehingga tegangan yang bekerja di permukaan spesimen diluar area retak menjadi lebih kecil.

Dari pengamatan mengenai hubungan polarisasi korosi terhadap beban siklik, dapat dinyatakan bahwa terjadi peningkatan densitas arus  $I_{cor}$  yang rata-rata relatif lebih besar pada permukaan benda uji pada saat awal sebelum pertumbuhan *pit* dan inisiasi retak, dan nilai tersebut akan mengecil seiring dengan munculnya retak pada permukaan benda uji.

#### **Kesimpulan**

Dari hasil penelitian perilaku korosi lelah yang telah dilakukan pada baja tahan karat AISI 304 dalam lingkungan air laut buatan (3,5% NaCl) dan tegangan lelah konstan 369.53 MPa, maka dapat disimpulkan:

- 1) Beban siklik mempengaruhi nilai potensial permukaan dan densitas arus korosi bahan yang diuji. Semakin besar jumlah siklik lelah, maka nilai potensial permukaan menurun dan densitas arus korosi semakin meningkat.
- 2) Untuk kasus yang diuji, kegagalan lelah yang terjadi lebih didominasi oleh dampak perambatan retak.
- 3) Kehadiran retak pada permukaan benda uji menyebabkan terjadinya penurunan densitas arus korosi yang diukur dibanding kondisi sebelumnya.

#### **Referensi**

ASTM E 466 – 96, Standard Practice for Conducting Force Controlled Constant Amplitude Axial Fatigue Tests of Metallic Materials.

ASTM F1801 – 97 Standard Practice for Corrosion Fatigue Testing of Metallic Implant Materials.

ASTM G5-94, Standard Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurement.

ASTM STP 81, Environmental Influences on the Aqueous Fatigue Crack Growth Rates of HY-130 Steel, editor Oleh T. W. Crooker, ASTM Committee E-9 on Fatigue

Chih-Kuang Lin and I-Lon Lan, Environmental Effects On The Fatigue Behavior Of An Austenitic Stainless Steel, Department of Mechanical

Engineering, National Central University, Taiwan  
(2005)

M. Ridha and S.Aoki., "Simulation of Corrosion Rate of Carbon Steel Subjected to Elastic/Plastic Strain", EPMESC X, Sanya, Hainan, China (2006)

Marzuki Daud, Kepakaan Retak Korosi Tegangan Baja Nirkarat Austenitik Aisi 304 Dalam Lingkungan Air Laut Buatan, Tesis Teknik Mesin, USU, Medan (2010)

Michael F. McGuire, Stainless Steels For Design Engineering, ASM International, United State of Amerika (2008)

Nelson do Nascimento Atanazio Filho, et. al, Corrosion Fatigue Behaviour of SAE 8620 Steel In NaCl 3,5% Solution, SMiRT, Toronto (2007)