

PERILAKU PERAMBATAN RETAK FATIK DI UDARA DAN 3,5% NaCl PADA SAMBUNGAN LAS BUSUR RENDAM BAJA ASTM A572 GRADE 50

NANANG BUDI SRIYANTO, MOCHAMAD NOER ILMAN
*Laboratorium Teknik Bahan,
Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik UGM Yogyakarta
e-mail: nanangbud@yahoo.com*

Abstrak

Pengelasan Submerged Arc Welding (SAW) merupakan pengelasan yang banyak digunakan untuk penyambungan struktur/ mesin seperti perkapalan, bejana tekan, dan jembatan. Struktur/ mesin di lingkungan korosif akan mengalami lelah korosi (corrosion fatigue) dan retak korosi tegangan (stress corrosion cracking). Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari perilaku perambatan retak fatik di lingkungan korosif hasil pengelasan SAW baja ASTM A572 grade 50. Pengelasan, menggunakan bahan pengisi (filler) jenis CHW-S3 dan fluks CHF101GX. Sifat khas perambatan retak fatik dengan konsentrasi 3,5% NaCl dibandingkan dengan perambatan retak fatik di udara. Standar pengujian rambat retak menggunakan ASTM E647, jenis spesimen middle tension (MTS). Hasil penelitian menunjukkan perambatan retak fatik dengan konsentrasi 3,5% NaCl mengalami penurunan siklus fatik sebesar 10 %. Media korosi 3,5% NaCl memiliki sifat yang mempercepat fatik pada ΔK kurang dari 23,269 MPa.m^{1/2}. Laju perambatan retaknya (dA/dn) lebih besar dari udara, sedangkan untuk ΔK lebih dari 23,269 MPa.m^{1/2}, laju perambatan retak udara lebih besar.

Kata kunci: perambatan retak fatik, SAW, ASTM A572

Abstract

Submerged Arc Welding (SAW) is the welding process which used for the extensions of structure/machine, for example ship, vessels and construction bridge. The common forms of environmentally assisted cracking are stress corrosion cracking (SCC) and corrosion fatigue. This research aims to investigate fatigue properties. stress corrosion cracking (SCC) and corrosion fatigue of the chemical environmentally. SAW process use steel plates ASTM A572 grade 50, the Atlantic CHF101GX flux, and using the Atlantic CHWS3. electrode (filler). To investigate the fatigue properties, the ASTM E647 test standard was used. The results of this research show that fatigue life of 3,5% NaCl concentration of specimen are indicated by 10 % decrease. Corrosion environmentally of 3,5% NaCl accelerate fatigue life the weld metal on ΔK lower than 23,269. Fatigue crack growth rate of 3,5% NaCl concentration is the lowest for ΔK lower than 23,269 MPa.m^{1/2}, but for ΔK higher than 23,269 MPa.m^{1/2}, fatigue crack growth rate specimen of the air is higher.

Keywords: Fatigue crack growth rate, submerged arc welding, ASTM A572 Grade 50

PENDAHULUAN

Struktur/ mesin di lingkungan korosif akan mengalami lelah korosi (corrosion fatigue) dan retak korosi tegangan (stress

corrosion cracking). Struktur/ mesin diatas, seperti perkapalan, bejana tekan, jembatan dan lain-lain, selalu mendapat pengelasan dalam perakitanannya. Pengelasan busur rendam (SAW)

merupakan salah satu pilihan untuk proses manufaktur tersebut.

Sambungan las, pada pemakaiannya akan selalu mendapat tegangan baik dari beratnya sendiri ataupun gaya-gaya luar yang bekerja. Suatu ciri retak korosi tegangan akibat gabungan tegangan tarik statik dan lingkungan biasanya terjadi secara mendadak tanpa adanya gejala awal serta tidak dapat diduga (Trethewey, 1991).

Berdasarkan hal tersebut diatas, pada penelitian ini akan dibahas suatu usaha untuk menyelidiki ketahanan fatik sambungan las di lingkungan korosif pada bahan baja ASTM A572 Grade 50 dengan proses SAW.

TINJAUAN PUSTAKA

Kegagalan lelah (*fatigue failure*) selalu terjadi pada setiap struktur dan komponen akibat tegangan yang besar dan arah yang berubah-ubah. Retak korosi tegangan (SCC) di lingkungan basah, ketahanan logam terhadap lelah menurun.

Magnin., (1995) memprediksikan mekanisme-mekanisme kelelahan karat berdasar pada suatu analisis yang terperinci, kemungkinan kerusakan berdasar pada pengendalian ilmu kimia fisika dengan memperbandingkan antara corrosion fatigue (CF) dan stress corrosion crack (SCC).

Aoki dkk (1986) menyelidiki tentang fatik pada sambungan las struktur baja planar, dengan media udara dan air laut. Dengan memakai persamaan $dA/dN = 4,81 \times 10^{-13} (\Delta K)^{3,6}$, hasil beda faktor intensitas tegangan (ΔK) yang didapat sebesar $5 \sim 6 \text{ MN} \cdot \text{m}^{-3/2}$. Untuk perhitungan fatik korosi dengan persamaan $dA/dN = 5,41 \times 10^{-12} (\Delta K)^{2,7}$.

Kegagalan pada sambungan las sering disebabkan oleh fatik korosi sebagai akibat dari kombinasi beban berulang, dan lingkungan korosif. Smith, (2003) telah melakukan penelitian yang berhubungan dengan metalurgi retak awal akibat korosi, (*corrosion-fatigue circumferential*) dan pertumbuhan retak baja Cr--Mo. Retak diawali dengan suatu mekanisme *thermal fatigue*. Pertumbuhan retak terjadi oleh mekanisme termal lelah yang dibantu oleh lingkungannya.

Penyelidikan tentang fatik korosi sambungan las baja ASTM A 568 M-88 di lingkungan korosif telah dilakukan Wahab.. (2001) dengan media udara dan air garam.

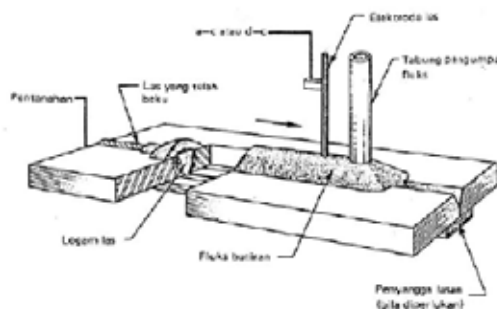
Hasil yang didapat, ΔK di udara lebih $2,7 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ dari pada air garam, sedang konstanta Paris C dan m masing-masing $1,35 \cdot 10^{-11}$ dan $2,47$ untuk udara, serta $2,25 \cdot 10^{-12}$ dan $3,2$ untuk air garam.

Pengujian yang dilakukan oleh Kawano (2002) menunjukkan bahwa laju pertumbuhan retak sambungan las baja pada lingkungan air laut 3 kali lebih cepat dari pertumbuhan retak pada udara. Shingai (1990) menyatakan bahwa perbedaan antara keduanya tidak bisa diperjelas, tetapi tidak disebabkan oleh keretakan korosi tegangan dan perbedaan laju pertumbuhan yang serupa di antara lingkungan air laut dan di udara bisa ditemukan untuk logam dasar baja.

Baja banyak dipakai sebagai bahan industri karena sifat-sifat baja yang bervariasi, yaitu bahan tersebut mempunyai berbagai sifat dari yang paling lunak dan mudah dibentuk sampai yang paling keras dan sukar dibentuk. Baja karbon merupakan paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S dan Cu. Sifat baja karbon tergantung pada besarnya kandungan kadar karbon. Kekuatan dan kekerasan suatu baja bertambah tinggi bila kadar karbon naik, tetapi perpanjangan/keuletannya menurun.

Las Busur Terendam (*Submerged Arc Welding/ SAW*)

Las busur terendam merupakan salah satu proses pengelasan busur di mana logam-logam disatukan dengan cara pemanasan dengan sumber panas dari busur antara logam elektroda dengan logam dasar, dengan busur diselimuti oleh butiran yang dinamakan fluks di atas daerah pengelasan (Kou, 1987). Butiran penyelimut merupakan material yang dapat ikut bergabung dengan logam las. Secara umum, proses las busur terendam seperti Gambar 1.



Gambar 1. Las Busur Rendam (Kou, 1987)

Material

Bahan yang dipakai pada penelitian ini adalah baja karbon A572 Grade 50 dan logam pengisi yang digunakan adalah CHW-S3 atau setara dengan EH 14 dengan komposisi kimia seperti terlihat pada Tabel 1. Fluks yang

digunakan adalah CHF101GX. Baja karbon A572 Grade 50 dan logam pengisi mempunyai komposisi kimia seperti Tabel 2. Komposisi logam las merupakan gabungan antara logam induk, elektroda terumpun dan fluks.

Tabel 1. Komposisi Kimia Dalam Persen Berat

Material	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	W	Ti	Al
A572 Grade 50	0,16	1,30	0,203	0,009	0,005	0,029	0,035	0,027	0,029	0,003	0,003	0,065
CHW-S3	0,14	1,93	0,03	0,017	0,018	0,038	-	0,014	0,062	-	-	-

Tabel 2 Komposisi Logam Las

C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	W	Ti	Al
0,1296	1,4185	0,338	0,0191	0,0074	0,0282	0,0018	0,0206	0,065	0,0043	0,0043	0,0128

Sifat mekanis baja karbon A572 Grade 50 Tabel 3. Komposisi fluks CHF101GX menurut sertifikat hanya disebutkan kandungan 0,018 % wt S dan 0,017 % wt P.

Tabel 3. Sifat Mekanis Baja Karbon A572 Grade 50 dan Logam Pengisi

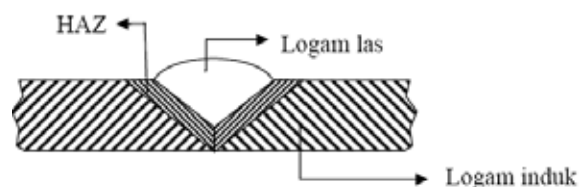
Material	Tensile Strength (MPa)	Yield Point (MPa)	Elongation δ 5(%)	Impact V-notch (J)
A572 Grade 50	450	345		
logam pengisi	480-660	>400	>22	>27

Metalurgi Las

Proses pengelasan akan mengakibatkan logam di sekitar lasan mengalami siklus termal cepat yang menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan metalurgi yang rumit, deformasi dan tegangan-tegangan termal. Hal ini erat hubungannya dengan ketangguhan, retak, cacat las, dan sebagainya. Perubahan-perubahan metalurgi tersebut pada umumnya mempunyai pengaruh yang fatal terhadap keamanan dan konstruksi lasan. Daerah lasan pada dasarnya terdiri atas 3 bagian, yaitu :

1. Logam las adalah bagian logam yang pada waktu pengelasan mencair bersama kawat las dan kemudian membeku.
2. Daerah terpengaruh panas (*Heat Affected Zone* atau *HAZ*) merupakan logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat.

3. Logam induk yang tidak terpengaruh adalah logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan sifat dan struktur mikro. seperti dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



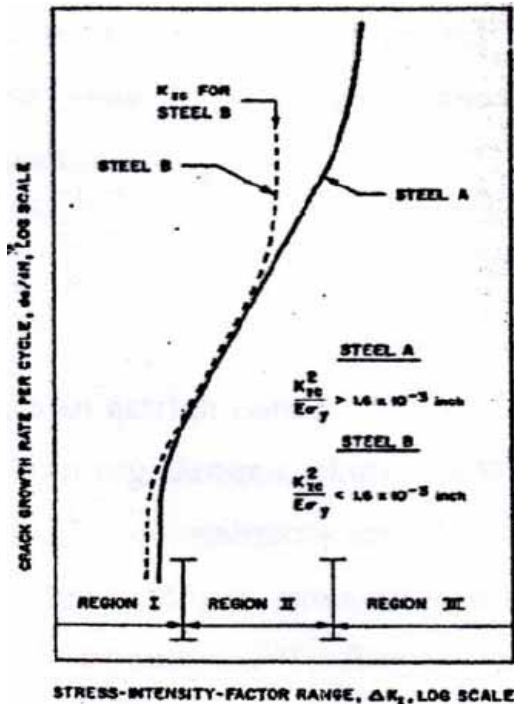
Gambar 2. Batas Antara Daerah Logam Las, Daerah HAZ Dan Logam Induk

Rambat Retak Bahan

Rambat retak fatik dapat didekati dengan persamaan Paris (Broek, 1987) sebagai berikut :

$$\frac{da}{dN} = A \Delta K^n \quad (1)$$

Perambatan retak fatik bahan digambarkan dalam skala log dalam region II. (Gambar 3.)



Gambar 3 Ilustrasi Perambatan Retak Fatik Pada Baja (Rolfed & Barsom)

Specimen middle tension (MTS), komponen persamaan (1) dapat dihitung dengan menggunakan metode secant (ASTM, 2003) sebagai berikut :

$$\Delta K = \frac{\Delta P}{B} \sqrt{\frac{\pi \alpha_{aw}}{2W}} \text{Sec} \frac{\pi \alpha_{aw}}{2} \quad (2)$$

$$\left(\frac{da}{dN} \right)_a = \frac{(a_{i+1} - a_i)}{(N_{i+1} - N_i)} \quad (3)$$

$$\bar{a} = \frac{1}{2} (a_{i+1} + a_i) \quad (4)$$

$$\alpha_{aw} = \frac{2a}{W} \text{ untuk } \frac{2a}{W} < 0.95 \quad (5)$$

$$\Delta P = P_{\max} - P_{\min} \text{ untuk } R > 0 \quad (6)$$

$$\Delta P = P_{\max} \text{ untuk } R \leq 0 \quad (7)$$

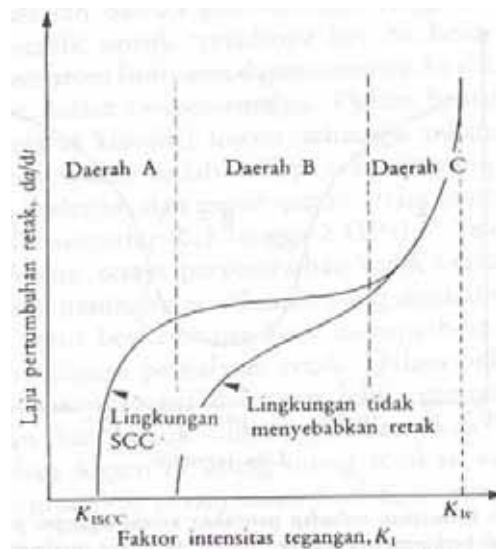
a adalah panjang retak, α_{aw} perbandingan antara dua kali panjang retak dengan lebar spesimen, N jumlah siklus. A dan n konstanta Paris, ΔK beda faktor intensitas tegangan, P beban, W lebar spesimen, dan B adalah tebal spesimen serta R rasio tegangan.

Pengukuran pertumbuhan retak dalam suatu percobaan di lingkungan korosif di bagi dalam tiga daerah (Gambar 4), yaitu:

Daerah A, pertumbuhan retak terkait erat dengan intensitas tegangan, tetapi lajunya turun cepat hingga nol. Ekstrapolasi di sini menunjukkan adanya intensitas tegangan ambang batas. Di bawah harga itu pertumbuhan retak tidak terjadi.

Daerah B, pada zona ini, ketergantungan pada intensitas tegangan kecil sekali. Pertumbuhan retak berlangsung dengan laju hampir konstan yang lebih cepat dari laju di lingkungan kontrol

Daerah C, pengaruh lingkungan kurang berperan. Perpatahan sangat bergantung pada intensitas tegangan dan mirip dengan perilaku spesimen-spesimen yang di uji di lingkungan korosif.



Gambar 4. Kerentanan Terhadap SCC Melalui Pengukuran Laju Pertumbuhan Retak (Trethewey, 1991).

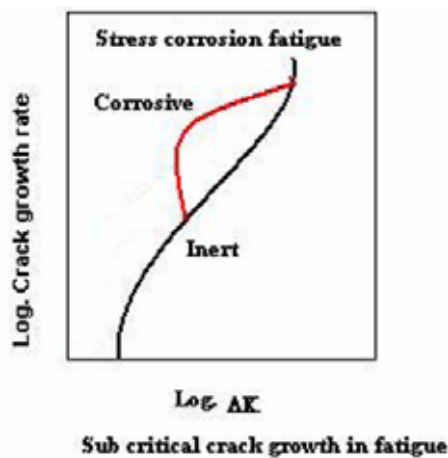
Korosi Fatik

Lelah korosi (korosi fatik) dapat terjadi pada tingkat-tingkat tegangan jauh lebih rendah dari tingkatan untuk SCC. Gambar 5 memperlihatkan karakteristik lelah dan lelah

korosi pada baja paduan rendah pada kondisi lembam maupun di lingkungan yang mengandung natrium klorida..

Lelah korosi dapat terjadi menurut salah satu dari hal berikut:

1. Aktif : terkorosi dengan bebas, misalnya baja karbon dalam air laut
2. Imun : logam dalam keadaan terlindung baik secara katodik maupun dengan coating
3. Pasif : logam dalam keadaan terlindung oleh selaput permukaan yang dibungkuskan oleh korosi sendiri, biasanya selaput oksida.



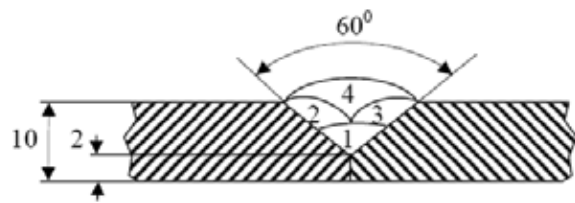
Gambar 5. Karakteristik Umum Kurva Lelah Korosi

METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan penelitian meliputi pengelasan, pengujian tarik, dan pengujian perambatan retak fatik, dilaksanakan di Laboratorium Bahan Teknik Mesin UGM.

Pengelasan SAW

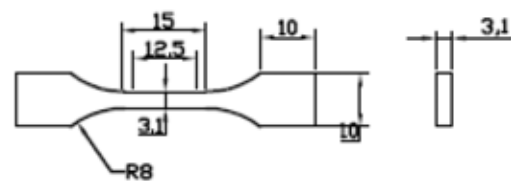
Proses pengelasan menggunakan las busur rendam atau *submerged arc welding* (SAW) sebanyak 4 tahap (multi run deposits), dengan tegangan 30 volt, arus 450A dan heat input 2 kJ/mm, kecepatan pengelasan 8,89 mm/detik. (standard ISO 2560-1973). Kalor masukan pada proses pengelasan adalah 1,574 kJ/mm dengan asumsi efisiensi kalor 100 %. Elektroda yang digunakan adalah Atlantik CHW-S3 Ø 4 mm dan fluksnya Atlantik CHF101GX . Logam induk adalah baja ASTM A572 Grade 50, dimensinya 400 mm x 150 mm x 10 mm, alur las bentuk V dengan sudut 60°. Proses pengelasan dilakukan seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Proses pengelasan multi run deposits

Uji Tarik

Spesimen yang digunakan untuk uji tarik dibuat menurut standard ASTM E 92-82 seperti pada Gambar 7 di bawah dengan garis las tegak lurus dengan arah beban (*transversal butt joint*)

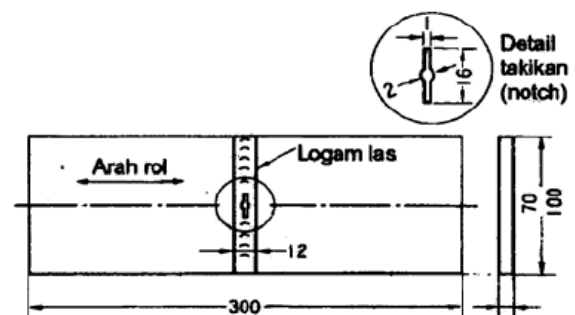


Gambar 7. Spesimen Uji Tarik Transversal (ASTM E 92-82)

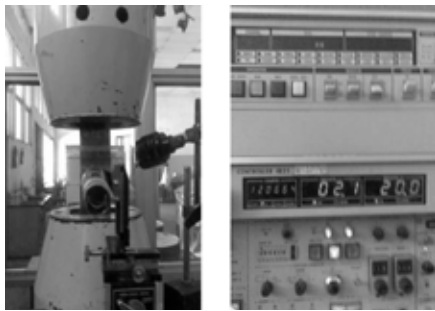
Uji Rambat Retak Fatik Korosi

Pengujian rambatan retak fatik di dalam media korosif terlihat seperti pada Gambar 9 di bawah. Media korosi yang digunakan berupa larutan Na Cl.

Spesimen dibuat menurut standard ASTM E-647 dengan retak awal di bagian tengah (*center-cracked tension* atau CCT) seperti pada Gambar 8 di bawah. Pengujian dilaksanakan dengan R=0,1 frekuensi 11 Hz dengan stress level sekitar 15 s/d 20 %. Retak awal dibuat sejajar dengan arah las dan tegak lurus terhadap arah rol. Tebal pelat 70 mm dan lebar 100 mm.



Gambar 8. Spesimen CCT



Gambar 9. Rangkaian Uji Rambatan Retak Korosi

Pengukuran rambatan retak dilakukan dengan mengamati travelling microscope dan untuk memudahkan pengukuran, bahan chamber dibuat dari acrylic resin yang transparan.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Tarik

Tabel 4. Data Pengujian Tarik

Spesimen	t ₁ (mm)	t ₂ (mm)	t ₃ (mm)	w ₁ (mm)	w ₂ (mm)	w ₃ (mm)	Lo (mm)	Lt (mm)	Pu Kg	σ _u Kg/mm ²	σ _b Kg/mm ²	ε (%)
(1)	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,35	15,35	20,01	598	56344	34,2	30,358
(2)	3,2	3,15	3,2	3,45	3,5	3,5	14,75	18,2	612	55193	33,3	23,390
(3)	3,25	3,3	3,3	3,3	3,3	3,35	15,05	19,1	658	60422	36,9	26,910

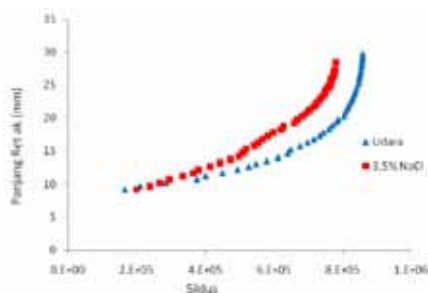
Tabel 4. Data Pengujian Tarik (lanjutan)

Spesimen	A ₀ rata-rata (mm ²)	ε (%)	Pu rata-rata	σ _u rata-rata
(1)	10613			
(2)	11088	28,8861	622667	57320
(3)	10890			

Pengujian tarik dilakukan untuk menentukan beban yang digunakan untuk pengujian fatik. Spesimen dari daerah logam las, sejumlah 3 batang, masing-masing di uji sebagaimana diperoleh hasil pada Tabel 4

Hasil Uji Fatik

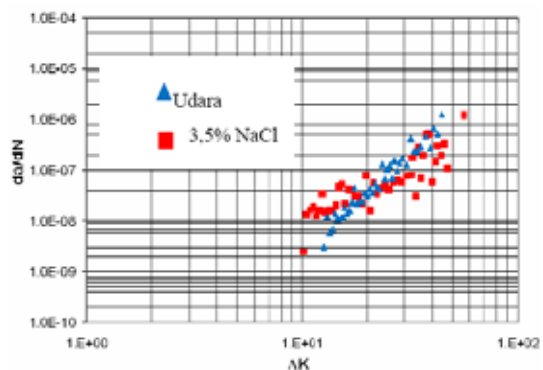
Beban uji fatik ditentukan berdasarkan hasil uji tarik. Tegangan maksimum awal yang diberikan besarnya sekitar 20 % dari kekuatan luluh rata-rata spesimen. Dari uji fatik, diperoleh hubungan antara jumlah siklus dengan panjang retak seperti Gambar 10.



Gambar 10 Hubungan Antara Panjang Retak Dengan Jumlah Siklus

Gambar 10 memperlihatkan bahwa jumlah siklus patah untuk media korosi 3,5% Na Cl mempercepat siklus fatik, jika dibandingkan dengan media udara. Hal ini menunjukkan bahwa larutan Na Cl merupakan larutan korosif yang mempengaruhi sifat-sifat kekuatan fatik bahan.

Beda faktor intensitas tegangan dan laju perambatan retak tampak pada Gambar 11.

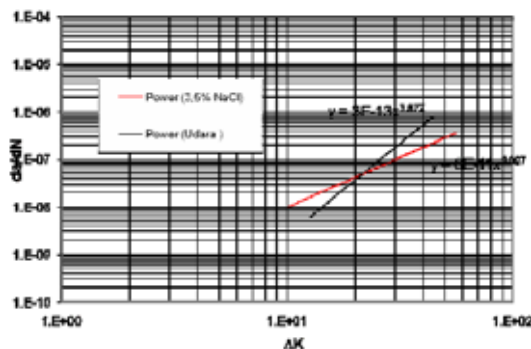


Gambar 11. Hubungan Antara Beda Faktor Intensitas Tegangan Dengan Laju Perambatan Retak Dalam Skala Log

Konstanta Persamaan Paris di dapatkan dari garis-kecenderungan (*trendline*) hubungan antara beda faktor intensitas tegangan (da/dN) dengan laju perambatan retak (ΔK) dalam skala log (Gambar 12). Dari gambar tersebut diperoleh konstanta Paris (A dan n) sebagaimana terlihat pada Tabel 5.

Garis potong laju perambatan retak antara media udara dan media 3,5% NaCl di dapatkan pada $\Delta K = 23\ 269$. Media korosi 3,5% NaCl memiliki sifat yang mempercepat fatik, laju perambatan retaknya (da/dn) lebih besar dari udara.

Spesimen untuk media korosi 3,5% NaCl, patah pada nilai ΔK tertinggi $56,266$ MPa.m^{1/2}, sedangkan untuk spesimen pada udara mempunyai ΔK tertinggi $44,5472$ MPa.m^{1/2} lebih kecil daripada spesimen media korosi 3,5% NaCl.



Gambar 12 Garis-Kecenderungan da/dn - ΔK

Tabel 5. Konstanta Persamaan Paris

MEDIA SPESIMEN	A	n
3,5% NaCl	8E-11	2,097
Udara	3E-13	3,872

KESIMPULAN

Media korosi 3,5% NaCl, memberikan siklus fatik sebesar 780514, sedangkan jumlah siklus fatik untuk udara 858264, berarti perambatan retak fatik dengan konsentrasi 3,5% NaCl mengalami penurunan siklus fatik sebesar 10 %.

Media korosi 3,5% NaCl, memberikan laju rambat retak paling rendah untuk nilai ΔK lebih besar dari $23,269$ MPa.m^{1/2} dan udara memberikan laju perambatan retak paling rendah untuk nilai ΔK kurang dari

$23,269$ MPa.m^{1/2}, sedangkan harga konstanta Paris A dan n berturut-turut 8E-11 dan 2,097 untuk media 3,5% NaCl serta 3E-13 dan 3,872 untuk udara.

DAFTAR PUSTAKA

- AOKI, T., NAKANO, K., FUKUHURA, H., OKADA, A., 1986, "Fatigue Life and Corrosion Fatigue Life Prediction of Welded Joints of Structural Steel Containing Planar Defects", Transactions ISIJ, Vol. 26, pp, 977-994
- ASTM., 2003, "Metal Test Methods and Analytical Procedures, Annual Book of STM Standard", Sec. 3, Vol. 03.01, E647-00, pp.615-657, Bar Harbor Drive, West Conshohocken
- BROEK, D., 1983, *Elementary Engineering Fracture Mechanics*, Martinus Nijhoff Publisher, The Hague, Netherlands
- EASTERLING, K.E., 1992, *Introduction to the Physical Metallurgy of Welding*, Butterworth-Heinemann, London, UK
- JONES, A.D., 1991, *Principles and Prevention of Corrosion*, macmillan Publishing Company, New York
- KAWANO. H., 2002, "Fatigue Strength of Thermo-Mechanically Controlled Process Steel and It's Weld Joint", National Maritime Research Institute, Japan.
- KOU,S., 1987, *Welding Metallurgy*, John Wiley Sons, Inc., New York
- LANCASTER, J.F., 1999, *Metallurgy of Welding*, Abington Publishing, Cambridge, UK
- MAGNIN,T., 1995, "Recent advances for corrosion fatigue mechanisms", ISIJ International, Vol. 35, pp, 223-233
- SMITH, B.J., MARDER, A.R., 2003, "A metallurgical mechanism for corrosion-fatigue (circumferential) crack initiation and propagation in Cr---Mo boiler tube steels", PA 18015, USA
- TRETHEWEY, K.R., 1991, *Korosi untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- WAHAB, M.A., SAKANO, M., 2001, "Experimental Study of Corrosion Fatigue Behaviour of Welded Steel Structures", Osaka, Japan

LAMPIRAN 1

Tabel 6. Data Uji Fatik Untuk Udara

No	a ₁ strip	a ₂ strip	(a ₁ +a ₂)/2 (mm)	\bar{a} (mm)	siklus	da mm	dN	da/dN (m/siklus)	ΔK (MPa.m ^{1/2})
1			9.00		0				
2	5	5	9.50	9.25	164530	0.50	164530	3.0400E-09	12.5979
3	12	9	10.05	9.78	209610	0.55	45080	1.2200E-08	13.0200
4	17	13	10.50	10.28	284404	0.45	74794	6.0200E-09	13.4213
5	23	20	11.15	10.83	375162	0.65	90758	7.1600E-09	13.8631
6	27	23	11.50	11.33	399864	0.35	24702	1.4200E-08	14.2661
7	32	29	12.05	11.78	449664	0.55	49800	1.1000E-08	14.6307
8	38	33	12.55	12.30	493110	0.50	43446	1.1500E-08	15.0593
9	42	37	12.95	12.75	525727	0.40	32617	1.2300E-08	15.4300
10	45	42	13.35	13.15	546986	0.40	21259	1.8800E-08	15.7627
11	51	45	13.80	13.58	578624	0.45	31638	1.4200E-08	16.1201
12	55	52	14.35	14.08	611481	0.55	32857	1.6700E-08	16.5462
13	63	57	15.00	14.68	639416	0.65	27935	2.3300E-08	17.0671
14	67	61	15.40	15.20	648144	0.40	8728	4.5800E-08	17.5326
15	73	67	16.00	15.70	674987	0.60	26843	2.2400E-08	17.9853
16	79	72	16.55	16.28	697446	0.55	22459	2.4500E-08	18.5188
17	85	75	17.00	16.78	715931	0.45	18485	2.4300E-08	18.9952
18	90	82	17.60	17.30	732448	0.60	16517	3.6300E-08	19.5091
19	95	84	17.95	17.78	743486	0.35	11038	3.1700E-08	19.9875
20	102	91	18.65	18.30	759599	0.70	16113	4.3400E-08	20.5325
21	106	94	19.00	18.83	769390	0.35	9791	3.5700E-08	21.0963
22	113	100	19.65	19.33	781334	0.65	11944	5.4400E-08	21.6524
23	115	103	19.90	19.78	786569	0.25	5235	4.7800E-08	22.1704
24	125	108	20.65	20.28	803338	0.75	16769	4.4700E-08	22.7674
25	129	115	21.20	20.93	807529	0.55	4191	1.3100E-07	23.5804
26	134	119	21.65	21.43	814231	0.45	6702	6.7100E-08	24.2375
27	139	121	22.00	21.83	817528	0.35	3297	1.0600E-07	24.7852
28	143	130	22.65	22.33	822845	0.65	5317	1.2200E-07	25.4997
29	146	132	22.90	22.78	826422	0.25	3577	6.9900E-08	26.1742
30	150	137	23.35	23.13	829282	0.45	2860	1.5700E-07	26.7212
31	156	140	23.80	23.58	833796	0.45	4514	9.9700E-08	27.4560
32	160	145	24.25	24.03	837034	0.45	3238	1.3900E-07	28.2298
33	168	150	24.90	24.58	840774	0.65	3740	1.7400E-07	29.2345
34	178	155	25.65	25.28	846654	0.75	5880	1.2800E-07	30.6209
35	182	160	26.10	25.88	847724	0.45	1070	4.2100E-07	31.9212
36	187	163	26.50	26.30	849384	0.40	1660	2.4100E-07	32.9151
37	190	170	27.00	26.75	851414	0.50	2030	2.4600E-07	34.0428
38	197	175	27.60	27.30	853464	0.60	2050	2.9300E-07	35.5424
39	203	181	28.20	27.90	854764	0.60	1300	4.6200E-07	37.3585
40	210	183	28.65	28.43	856414	0.45	1650	2.7300E-07	39.1334
41	214	186	29.00	28.83	856934	0.35	520	6.7300E-07	40.6255
42	221	190	29.55	29.28	857984	0.55	1050	5.2400E-07	42.4768
43	225	193	29.90	29.73	858264	0.35	280	1.2500E-06	44.5472

LAMPIRAN 2

Tabel 7. Data Uji Fatik Untuk 3,5% NaCl

No	a1	a2	(a1+a2)/2	a	siklus	da (m)	dN	da/dN	ΔK
1	0	0	9		0				
2	5	5	9.50	9.25	201,266	0.0005	201,266.00	2.4843E-09	10.0955
3	10	10	10.00	9.75	239,154	0.0005	37,888.00	1.3197E-08	10.4709
4	15	15	10.50	10.25	268,267	0.0005	29,113.00	1.7174E-08	10.8525
5	20	20	11.00	10.75	296,249	0.0005	27,982.00	1.7869E-08	11.2417
6	25	25	11.50	11.25	335,629	0.0005	39,380.00	1.2697E-08	11.6398
7	30	30	12.00	11.75	365,827	0.0005	30,198.00	1.6557E-08	12.0479
8	35	35	12.50	12.25	380,804	0.0005	14,977.00	3.3385E-08	12.4674
9	40	40	13.00	12.75	414,466	0.0005	33,662.00	1.4854E-08	12.8997
10	45	45	13.50	13.25	443,824	0.0005	29,358.00	1.7031E-08	13.3462
11	50	50	14.00	13.75	474,271	0.0005	30,447.00	1.6422E-08	13.8085
12	55	55	14.50	14.25	499,225	0.0005	24,954.00	2.0037E-08	14.2881
13	60	60	15.00	14.75	510,322	0.0005	11,097.00	4.5057E-08	14.7869
14	65	65	15.50	15.25	519,647	0.0005	9,325.00	5.3619E-08	15.3066
15	70	70	16.00	15.75	542,801	0.0005	23,154.00	2.1595E-08	15.8493
16	75	75	16.50	16.25	554,637	0.0005	11,836.00	4.2244E-08	16.4173
17	80	80	17.00	16.75	566,850	0.0005	12,213.00	4.0940E-08	17.0129
18	85	85	17.50	17.25	582,957	0.0005	16,107.00	3.1042E-08	17.6389
19	90	90	18.00	17.75	599,118	0.0005	16,161.00	3.0939E-08	18.2983
20	95	95	18.50	18.25	622,435	0.0005	23,317.00	2.1444E-08	18.9943
21	100	100	19.00	18.75	628,825	0.0005	6,390.00	7.8247E-08	19.7306
22	105	105	19.50	19.25	660,252	0.0005	31,427.00	1.5910E-08	20.5115
23	110	110	20.00	19.75	669,338	0.0005	9,086.00	5.5030E-08	21.3414
24	115	115	20.50	20.25	683,940	0.0005	14,602.00	3.4242E-08	22.2257
25	120	120	21.00	20.75	695,127	0.0005	11,187.00	4.4695E-08	23.1704
26	125	125	21.50	21.25	704,974	0.0005	9,847.00	5.0777E-08	24.1824
27	130	130	22.00	21.75	716,918	0.0005	11,944.00	4.1862E-08	25.2695
28	135	135	22.50	22.25	725,404	0.0005	8,486.00	5.8921E-08	26.4408
29	140	140	23.00	22.75	733,233	0.0005	7,829.00	6.3865E-08	27.7068
30	145	145	23.50	23.25	741,822	0.0005	8,589.00	5.8214E-08	29.0800
31	150	150	24.00	23.75	748,374	0.0005	6,552.00	7.6313E-08	30.5747
32	150	155	24.25	24.25	751,437	0.00025	3,063.00	8.1619E-08	32.2083
33	150	160	24.50	24.38	752,849	0.00025	1,412.00	1.7705E-07	32.6407
34	150	165	24.75	24.63	761,047	0.00025	8,198.00	3.0495E-08	33.5367
35	150	170	25.00	24.88	761,963	0.00025	916.00	2.7293E-07	34.4771
36	150	175	25.25	25.13	765,454	0.00025	3,491.00	7.1613E-08	35.4651
37	150	180	25.50	25.38	766,741	0.00025	1,287.00	1.9425E-07	36.5045
38	150	185	25.75	25.63	767,235	0.00025	494.00	5.0607E-07	37.5995
39	150	190	26.00	25.88	767,717	0.00025	482.00	5.1867E-07	38.7546
40	150	195	26.25	26.13	772,044	0.00025	4,327.00	5.7777E-08	39.9749
41	150	200	26.50	26.38	773,747	0.00025	1,703.00	1.4680E-07	41.2662
42	150	205	26.75	26.63	774,562	0.00025	815.00	3.0675E-07	42.6348
43	150	210	27.00	26.88	775,852	0.00025	1,290.00	1.9380E-07	44.0879
44	150	215	27.25	27.13	776,617	0.00025	765.00	3.2680E-07	45.6335
45	150	220	27.50	27.38	778,831	0.00025	2,214.00	1.1292E-07	47.2808
46	150	260	29.50	28.50	780,514	0.002	1,683.00	1.1884E-06	56.2660

