16 320 /H/02

PERPUSTAKAAN ITS

TUGAS AKHIR

(KP 1701)

ANALISA PENGARUH BENTUK PEMBEBANAN SEGITIGA TERHADAP LAJU PENJALARAN RETAK PADA BAJA SS-41 DALAM MEDIUM KOROSIF

RSPe
623.848
Wir
a-1
2002

Oleh :

DIDIK WIRATAMA
NRP. 4196 100 028

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

2002

Tgl. Terima 09/09/02
Terima H
No. Agenda Prp. 21-6225

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PENGARUH BENTUK PEMBEBANAN SEGITIGA TERHADAP LAJU PENJALARAN RETAK PADA BAJA SS-41 DALAM MEDIUM KOROSIF

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Perkapalan
Pada
Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Mengetahui / Menyetujui :

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Ir. Soeweify, M Eng.	**Wing Hendro P.A.P. ST. M Eng.**
NIP. 130 368 597	NIP. 132 133 972

DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

ANALISA PENGARUH BENTUK PEMBEBANAN SEGITIGA TERHADAP LAJU PENJALARAN RETAK PADA BAJA SS-41 DALAM MEDIUM KOROSIF

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan Hasil Sidang Ujian Tugas Akhir

Pada:

Jurusan Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

Mengetahui dan Menyetujui,

Dosen Pembimbing,

Ir. Soeweify, M Eng.	**Wing Hendro P.A.P, ST . M Eng**
Nip. 130.368.597	**Nip. 132.133.972**

SUERABAYA 2002

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah penguasa alam. Berkat rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir. Tugas Akhir ini merupakan sebagian dari upaya penerapan ilmu yang telah didapatkan di jurusan Teknik Perkapalan ITS Surabaya sebagai prasyarat meraih gelar kesarjanaan.

Laporan ini dibuat berdasarkan analisa hasil pengujian fatique menggunakan alat uji dinamis di Lab Kontruksi Teknik Perkapalan FTK ITS untuk mengetahui pengaruh dari bentuk pembebanan segitiga terhadap laju penjalaran retak dalam media korosif dan udara.

Terselesaikannya penulisan Tugas Akhir ini tentu tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir.Soewefy, M Eng.dan Bapak Wing Hendro P.A.T, ST. M Eng, selaku dosen pembimbing yang memberikan arahan dan bimbingan untuk kelancaran penulisan tugas akhir ini.
2. Ir. Djauhar Manfaat, MSc., PhD., selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS yang telah memberikan ijin penulisan ini.
3. Staf Lab Konstruksi dan Kekuatan Bapak Moerdjito, Bapak Yono dan Mas Didik yang telah memberikan ijin pemanfa'atan fasilitas Lab dan membantu proses pengujian.
4. Bapak, Ibu, dan Saudara-saudara yang lain, yang memberikan dorongan dan semangat kepada penulis.

5. Den Didit, Pac Goeh, Fasich (Xi Men), Uzhan, Nasir Bin Curut, Yoko (thanks for your facilities and kindness).
6. P'36 gank (Bekhuthak Crew), dan pihak-pihak lain yang juga tidak mungkin penulis sebut satu persatu.

Demikian, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan penulis khususnya.

Surabaya, Juli 2002

Penulis

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa laju pertambahan retak. Pengujian fatique dilakukan pada plat baja SS-41 berdasarkan ASTM E647 untuk type *compact tension* untuk media udara bebas dan larutan NaCl dengan cara disemprotkan pada bagian notch specimen. Bentuk pembeban yang digunakan adalah bentuk pembebanan segitiga, sinusoidal dan segiempat. Didalam satu siklus pembebanan (pengujian fatique dengan alat uji mesin uji dinamis), ratio pembebanan yang digunakan adalah 0,0; 0,2; 0,3; 0,5; 0,8, dimana untuk tiap ratio pembebanan dilakukan selama 12.000 cycle. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan data pertambahan retak, jumlah cycle dan range beban. Kemudian mengunakan rumus *fracture mechanics toughness tests* dalam perhitungan untuk mendapatkan grafik laju pertambahan retak vs factor intensitas tegangan.

Dari analisa hasil pengujian yang dilakukan diketahui bahwa bentuk beban segitiga pada medium larutan NaCl memiliki laju penjalaran retak yang paling tinggi dibandingkan dengan bentuk beban segiempat dan sinusoidal baik pada media udara maupun Nacl. Hal ini karena adanya pengaruh adsorbsi unsur korosif dan peristiwa *hydrogen embrittlement* pada daerah ujung retak yang dapat menyebabkan perapuhan material dan percepatan crack propagation. Adapun urutan laju perambatan retak adalah sebagai berikut:

$$\text{Segitiga}_{NaCl} > \text{Sinus}_{NaCl} > \text{Segitiga}_{udara} > \text{Sinus}_{Udara} > \text{Segiempat}_{NaCl} > \text{Segiempat}_{Udara}$$

ABSTRACT

This research was conducted to study crack growth rate for SS-41 steel based on ASTM E647 for compact tension. Experiment was conducted on free space air and NaCl solution that was sprayed to the notch of speciment. Shape of the load given were triangle, sinusoidal and square. In one cycle of loading (Dynamical machine use for fatique experimental), speciment had stress ratio 0,0; 0,2; 0,3; 0,5; and 0,8.. The number of loading for each stress ratio is 12.000 cycle. The experiment is aimed to obtain crack growth rate, number of cycle loading and loading range data. *Fracture mechanics toughness tests* formula was used to obtain the graph of crack growth rate versus stress intensity factor

Experimental data analysis showed that crack growth rate for triangle loading on NaCl is faster than square or sinusoidal loading in air or NaCl. This phenomenon could be caused by aggressive adsorbsion of corrosive element and hydrogen embrittlement at the edge of crack which could make material came brittleness and increased crack propagation. The crack growth rate in this experiment are as follow:

$Triangle_{NaCl} > Sinusoidal_{NaCl} > Triangle_{air} > Sinusoidal_{air} > Square_{NaCl} > Square_{air}$

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL		i
LEMBAR PENGESAHAN		ii
KATA PENGANTAR		iii
ABSTRAKSI		v
ABSTRACT		vi
DAFTAR ISI		vii
DAFTAR GAMBAR		x
DAFTAR GRAFIK		xii
DAFTAR TABEL		xv
DAFTAR NOTASI		xviii
BAB I	**PENDAHULUAN**	
	I.1. Latar Belakang Masalah	I-1
	I.2. Perumusan Masalah	I-2
	I.3. Tujuan Penulisan	I-2
	I.4. Metodologi Pembahasan	I-3
	I.5. Batasan Masalah	I-3
	I.6. Manfaat	I-4
	I.7. Struktur Penulisan	I-5
BAB II	**TINJAUAN PUSTAKA**	
	II.1. Pembebanan Statis dan Dinamis	II-1
	II.2. Pengertian Dasar Fatique	II-8
	II.3. Tahapan dalam Proses Fatique	II-10
	II.4. Faktor Intensitas Tegangan	II-11
	II.5. Laju Penjalaran Retak Menengah	II-15
BAB III	**ASPEK KOROSI**	
	III.1. Prinsip Korosi	III-1
	III.1.1. Energi Dalam Korosi	III-1

III.1.2. Dasar Teori Kimia III-2
III.1.3. Dasar Teori Listrik III-3
III.2. Teori Dasar Korosi III-4
III.3. Prinsip Dasar Terjadinya Korosi III-6
III.3.1. Reaksi kimia Listrik III-6
III.3.2. Polarisasi III-8
III.3.3. Pasivitas III-8
III.4. Stress Corrosion Cracking III-9
III.4.1. Pendahuluan III-9
III.4.2. Efek Tegangan III-10
III.4.3. Waktu Peretakan III-11
III.4.4. Faktor Lingkungan III-11
III.4.5. Faktor Metalurgi III-12
III.4.6. Klasifikasi Mekanisme III-12
III.4.7. Proses Stress Corrosion Cracking III-14
III.4.7.1. Tahap Pemicuan III-15
III.4.7.2. Tahap Penjalaran III-18
III.4. Stress Corrosion Fatique III-22

BAB IV PELAKSANAAN PENGUJIAN
IV.1. Pendahuluan IV-1
IV.2. Persiapan Pengujian IV-3
IV.2.1. Pembuatan Benda Uji IV-3
IV.2.2.1. Material Uji Tarik IV-3
IV.2.2.2. Material Uji Lelah IV-4
IV.2.2. Kalibrasi IV-6
IV.3. Pelaksanaan Pengujian IV-8
IV.3.1. Pengujian Tarik IV-8
IV.3.2. Pengujian Kelelahan/Fatique IV-9
IV.3.2.1. Beban Uji IV-9
IV.3.2.2. Prosedure Pengukuran IV-11

BAB V ANALISA HASIL PENGUJIAN

V.1. Pendahuluan V-1

V.2. Perhitungan Data Hasil Pengujian V-2

V.3. Analisa Grafik Hail Pengujian V-39

BAB VI KESIMPULAN

VI.1. Kesimpulan VI-1

VI.2. Saran VI-2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1.	Grafik Pembebanan Statis	II-1
Gambar II.2.	Definisi dan Istilah Dalam Pembebanan	II-2
Gambar II.3.	Pembebanan Sinusoidal	II-3
Gambar II.4.	Pembebanan Segitiga	II-4
Gambar II.5.	Pembebanan Segiempat	II-4
Gambar II.6.	Pembebanan Gergaji Positif	II-5
Gambar II.7.	Pembebanan Gergaji Negatif	II-5
Gambar II.8.	Pembebanan Diatas Sumbu Nol	II-6
Gambar II.9.	Pembebanan Melewati Sumbu Nol	II-7
Gambar II.10.	Pembebanan Dibawah Sumbu Nol	II-7
Gambar II.11.	Mode Pembebanan	II-8
Gambar III.1.	Electrolit Corrosion	III-3
Gambar III.2.	Proses Korosi Akibat Kimia Listrik.	III-7
Gambar III.3.	Activation Polarisation	III-8
Gambar III.4.	Concentration Polarisation	III-8
Gambar III.5.	Grafik Pengaruh Lingkungan terhadap Lama pembebanan	III-12
Gambar III.6.	Ringkasan Mekanisme Stress Corrosion Cracking	III-14
Gambar III.7.	Peranan Utama Undakan Sesar dalam Peretakan Peka Lingkungan	III-16
Gambar III.8.	Photo Mikro Material Pada Bagian Ujung Retak	III-18
Gambar III.9.	Mekanisme Retak	III-21

Gambar III.10. Karakteristik Lelah dan Lelah Korosi pada Baja Paduan Rendah Kondisi Lembam dan Lingkungan NaCl III-22

Gambar III.11. Pengaruh Air Laut Terhadap Perambatan Retak pada Struktur Baja III-23

Gambar III.12. Penjalaran Retak Dalam Air Laut III-25

Gambar III.13. Penjalaran Retak dalam Air Laut Jenuh III-26

Gambar III.14. Pertumbuhan Retak Lelah Korosi Untuk Baja 4340 Dalam 3.5 % NaCl III-27

Gambar III.15. Perumbuhan Retak Lelah Korosi untuk X-65 Pipa Penghubung Dalam 3.5 % Air Laut. III-28

Gambar IV.1. Bentuk dan ukuran Specimen Uji Tarik E8 IV-3

Gambar IV.2. Standard Bentuk dan Ukuran Specimen Uji Fatique untuk Type Compact Tension ASTM E647 IV-4

Gambar IV.3. Proses Pengerjaan Notch IV-5

Gambar IV.4. Ukuran dan Bentuk Specimen Uji Fatique IV-6

Gambar V.1. Meknisme Absorbsi dan Hidrogen Embrittlement V-41

Gambar V.2. Mekanisme Penjalaran Retak V-41

Gambar V.3. Penjalaran Retak Dalam Air Laut V-42

Gambar V.4. Bentuk Beban Segitiga V-43

Gambar V.5. Peranan Undakan Sesar dalam Peretakan Lelah dalam NaCl V-44

Gambar V.6. Pembagian Daerah Pembebanan Sinusoidal V-45

Gambar V.7. Pembagian Daerah Pembebanan Segiempat V-45

DAFTAR GRAFIK

Grafik	IV.1.	Regresi Linear Kalibrasi	IV-8
Grafik	V.1.	Perambatan Retak da/dN vs untuk Beban Sinusoidal Medium Udara, R = 0,0	V-5
Grafik	V.2.	Perambatan Retak da/dN vs untuk Beban Sinusoidal Medium Udara, R = 0,2	V-6
Grafik	V.3.	Perambatan Retak da/dN vs untuk Beban Sinusoidal Medium Udara, R = 0,3	V-7
Grafik	V.4.	Perambatan Retak da/dN vs untuk Beban Sinusoidal Medium Udara, R = 0,5	V-8
Grafik	V.5.	Perambatan Retak da/dN vs untuk Beban Sinusoidal Medium Udara, R = 0,8	V-9
Grafik	V.6.	Perambatan Retak da/dN vs untuk Beban Segitiga Medium Udara, R = 0,0	V-10
Grafik	V.7.	Perambatan Retak da/dN vs untuk Beban Segitiga Medium Udara, R = 0,2	V-11
Grafik	V.8.	Perambatan Retak da/dN vs untuk Beban Segitiga Medium Udara, R = 0,3	V-12
Grafik	V.9.	Perambatan Retak da/dN vs untuk Beban Segitiga Medium Udara, R = 0,5	V-13
Grafik	V.10.	Perambatan Retak da/dN vs untuk Beban Segitiga Medium Udara, R = 0,8	V-14
Grafik	V.11.	Perambatan Retak da/dN vs untuk Beban Segiempat	

		Medium Udara, R = 0,0	V-15
Grafik	V.12.	Perambatan Retak da/dN vs untuk Beban Segiempat	
		Medium Udara, R = 0,2	V-16
Grafik	V.13.	Perambatan Retak da/dN vs untuk Beban Segiempat	
		Medium Udara, R = 0,3	V-17
Grafik	V.14.	Perambatan Retak da/dN vs untuk Beban Segiempat	
		Medium Udara, R = 0,5	V-18
Grafik	V.15.	Perambatan Retak da/dN vs untuk Beban Segiempat	
		Medium Udara, R = 0,8	V-19
Grafik	V.16.	Perambatan Retak da/dN vs dK untuk Media Udara, R = 0,0	V-20
Grafik	V.17.	Perambatan Retak da/dN vs dK untuk Media Udara, R = 0,2	V-21
Grafik	V.18.	Perambatan Retak da/dN vs dK untuk Media Udara, R = 0,3	V-22
Grafik	V.19.	Perambatan Retak da/dN vs dK untuk Media Udara, R = 0,5	V-23
Grafik	V.20.	Perambatan Retak da/dN vs dK untuk Media Udara, R = 0,8	V-24
Grafik	V.21.	Perambatan Retak da/dN vs dK untuk Beban Sinusoidal	
		Medium NaCl, R = 0,0	V-25
Grafik	V.22.	Perambatan Retak da/dN vs dK untuk Beban Sinusoidal	
		Medium NaCl, R = 0,2	V-27
Grafik	V.23.	Perambatan Retak da/dN vs dK untuk Beban Segitiga	
		Medium NaCl, R = 0,0	V-28
Grafik	V.24.	Perambatan Retak da/dN vs dK untuk Beban Segitiga	
		Medium NaCl, R = 0,2	V-22
Grafik	V.25.	Perambatan Retak da/dN vs dK untuk Beban Segiempat	
		Medium NaCl, R = 0,0	V-30

Grafik V.26. Perambatan Retak da/dN vs dK untuk Beban Segiempat Medium NaCl, R = 0,2 V-31

Grafik V.27. Perambatan Retak da/dN vs dK untuk Beban Segiempat Medium NaCl, R = 0,3 V-32

Grafik V.28. Perambatan Retak da/dN vs dK untuk Beban Segiempat Medium NaCl, R = 0,5 V-33

Grafik V.29. Perambatan Retak da/dN vs dK untuk Beban Segiempat Medium NaCl, R = 0,8 V-34

Grafik V.30. Perambatan Retak da/dN vs dK Media NaCl dan R = 0,0 V-35

Grafik V.31. Perambatan Retak da/dN vs dK Media NaCl dan R = 0,2 V-36

Grafik V.32. Perambatan Retak da/dN vs dK untuk Media Udara, Media NaCl, R = 0,0 V-37

Grafik V.33. Perambatan Retak da/dN vs dK untuk Media Udara, Medium NaCl, R = 0,2 V-38

Grafik V.34. Perbandingan laju retak untuk R = 0,0 V-48

Grafik V.35. Perambatan Retak da/dN vs dK untuk Media Udara, Medium NaCl, Air Laut V-49

DAFTAR TABEL

Tabel IV.1.	Data Kalibrasi Beban	IV-7
Tabel IV.2.	Hasil Uji Tarik	IV-8
Tabel IV.3.	Pembebanan pada Spesimen	IV-11
Tabel V.1.	Data Harga Max dan Min Laju Perambatan Retak dari setiap Harga stress Ratio	V-3
Tabel V.2.	Laju Perambatan retak dan Faktor Intensitas Tegangan untuk Beban Sinusoidal, Medium Udara, R = 0,0	V-5
Tabel V.3.	Laju Perambatan retak dan Faktor Intensitas Tegangan untuk Beban Sinusoidal, Medium Udara, R = 0,2	V-6
Tabel V.4.	Laju Perambatan retak dan Faktor Intensitas Tegangan untuk Beban Sinusoidal, Medium Udara, R = 0,3	V-7
Tabel V.5.	Laju Perambatan retak dan Faktor Intensitas Tegangan untuk Beban Sinusoidal, Medium Udara, R = 0,5	V-8
Tabel V.6.	Laju Perambatan retak dan Faktor Intensitas Tegangan untuk Beban Sinusoidal, Medium Udara, R = 0,8	V-9
Tabel V.7.	Laju Perambatan retak dan Faktor Intensitas Tegangan untuk Beban Segitigal, Medium Udara, R = 0,0	V-10
Tabel V.8.	Laju Perambatan retak dan Faktor Intensitas Tegangan untuk Beban Segitiga, Medium Udara, R = 0,2	V-11
Tabel V.9.	Laju Perambatan retak dan Faktor Intensitas Tegangan untuk Beban Segitiga, Medium Udara, R = 0,3	V-12
Tabel V.10.	Laju Perambatan retak dan Faktor Intensitas Tegangan untuk	

Beban Segitiga, Medium Udara, R = 0,5 V-13

Tabel V.11. Laju Perambatan retak dan Faktor Intensitas Tegangan untuk Beban Segitiga, Medium Udara, R = 0,8 V-14

Tabel V.12. Laju Perambatan retak dan Faktor Intensitas Tegangan untuk Beban Segiempat, Medium Udara, R = 0,0 V-15

Tabel V.13. Laju Perambatan retak dan Faktor Intensitas Tegangan untuk Beban Segiempat, Medium Udara, R = 0,2 V-16

Tabel V.14. Laju Perambatan retak dan Faktor Intensitas Tegangan untuk Beban Segiempat, Medium Udara, R = 0,3 V-17

Tabel V.15. Laju Perambatan retak dan Faktor Intensitas Tegangan untuk Beban Segiempat, Medium Udara, R = 0,5 V-18

Tabel V.16. Laju Perambatan retak dan Faktor Intensitas Tegangan untuk Beban Segiempat, Medium Udara, R = 0,8 V-19

Tabel V.17. Laju Perambatan retak dan Faktor Intensitas Tegangan untuk Beban Sinusoidal, Medium NaCL, R = 0,0 V-25

Tabel V.18. Laju Perambatan retak dan Faktor Intensitas Tegangan untuk Beban Sinusoidal, Medium NaCl, R = 0,2 V-26

Tabel V.19. Laju Perambatan retak dan Faktor Intensitas Tegangan untuk Beban Segitiga, Medium NaCl, R = 0,0 V-28

Tabel V.20. Laju Perambatan retak dan Faktor Intensitas Tegangan untuk Beban Segitigal, Medium NaCl, R = 0,2 V-29

Tabel V.21. Laju Perambatan retak dan Faktor Intensitas Tegangan untuk Beban Segiempat, Medium NaCl, R = 0,0 V-30

Tabel V.22. Laju Perambatan retak dan Faktor Intensitas Tegangan untuk

Beban Segiempat, Medium NaCl, R = 0,2 V-31

Tabel V.23. Laju Perambatan retak dan Faktor Intensitas Tegangan untuk Beban Segiempat, Medium NaCl, R = 0,3 V-32

Tabel V.24. Laju Perambatan retak dan Faktor Intensitas Tegangan untuk Beban Segiempat, Medium NaCl, R = 0,5 V-33

Tabel V.25. Laju Perambatan retak dan Faktor Intensitas Tegangan untuk Beban Segiempat, Medium NaCl, R = 0,8 V-34

Tabel V.26. Komposisi Air Laut V-39

Tabel V.27. Persentase Pertambahan retak V-46

Tabel V.28. Harga Perbandingan Kecepatan retak untuk R = 0,0 dan R = 0,2 V-47

DAFTAR NOTASI

a	=	Panjang retak
A	=	Luas penampang material.
c	=	konstanta material
CTOD	=	Bukaan ujung retak
da	=	Pertambahan panjang retak
da/dN	=	Kecepatan perambatan retak
f	=	Frekuensi pembebanan
ΔK	=	Rentang factor intensitas tegangan
K_{max}	=	Faktor intensitas teganngan maximum
K_{min}	=	factor intensitas tegangan minimum
dN	=	Pertambahan sklus pembebanan
K	=	Faktor intensitas tegangan
K_{ic}	=	Fracture toughness
m	=	Konstanta material
N	=	Jumlah sklus pembebanan
P	=	Besar beban
π	=	Phi (3,14)
R	=	Stress ratio pembebanan
σ_a	=	Aplitudo tegangan
σ_{cy}	=	Tegangan yang bekerja
σ_{yp}	=	Tegangan luluh
$\sigma_{ultimate}$	=	Tegangan patah

σ_{max}	=	Tegangan maximum
σ_{min}	=	Tegangan minimum
w	=	lebar efektif

BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG MASALAH

Suatu struktur kontruksi dapat mengalami suatu kegagalan (collapse) dikarenakan struktur tersebut sudah tidak mampu menahan pembebanan yang diterimanya. Kegagalan ini sering terjadi, bahkan pada keadaan dimana tegangan yang bekerja cukup rendah (dibawah dari σyield material tersebut), yang secara statis sebenarnya dapat ditahan oleh struktur tersebut. Fenomena kegagalan ini ditengarai berawal dari cacat retak atau serupa retak yang selanjutnya menjalar sampai pada kegagalan konstruksi seperti disebut diatas.Masalah keretakan ini sering terjadi dilapangan ,terutama pada struktur yang mengalami pembebanan yang berulang-ulang atau yang disebut juga beban dinamis. Bentuk pembebanan pada pipa boiler dan turbin uap yang membutuhkan waktu lebih lama pada waktu pengisian dari pada pemakaian uap sehingga bentuk pembebanan menyerupai segitiga positif.

Meskipun banyak pengujian yang telah dilakukan oleh peneliti lain untuk mendapatkan data umur kelelahan baja struktur, namun data yang diperoleh merupakan hasil analisa secara terpisah antara pengaruh bentuk beban, media pengujian dan ratio pembebanan. Seperti dalam penulisan tugas akhir sebelumnya yang menganalisa hubungan antara stress ratio terhadap laju penjalaran retak untuk kondisi tension to tension dalam media uji udara dengan kesimpulan akhir bahwa semakin besar harga stress ratio maka semakin tinggi laju penjalaran retaknya [Saika, 1995]. Kecepatan penjalaran retak yang menyebabkan kepecahan suatu struktur

tergantung dari banyak aspek, diantaranya frekuensi lingkungan struktur bekerja, bentuk beban yang diterima, frekuensi beban, ratio pembebanan dan sebagainya

Menindak lanjuti penelitian yang sebelumnya maka dilakukan serangkaian pengujian yang memasukkan faktor korosifitas lingkungan, bentuk beban yang diterima dan stress ratio pembebanan terhadap kecepatan laju penjalaran retak pada $R \geq 0$, dimana $R=\sigma min/\sigma max$

I.2.PERUMUSAN MASALAH

Dalam penulisan tugas akhir ini yang menjadi pokok permasalahan adalah bagaimana perbedaan pengaruh bentuk pembebanan segitiga, segiempat dan sinusoidal dengan berbagai macam stress ratio terhadap laju penjalaran retak baja SS-41 untuk media udara dan Media larutan NaCl yang diberikan dengan cara disemprotkan kematerial uji ?. Karena yang perlu diperhatikan dalam kecepatan penjalaran retak material adalah lingkungan dimana material itu bekerja yang bisa menyebabkan terjadinya retak awal dan bentuk dan intensitas tegangan yang bisa menyebakan pertambahan retak yang akhirnya maerial menjadi pecah/patah

I.3. TUJUAN PENULISAN

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Untuk mendapatkan sifat penjalaran retak dari baja SS-41 dengan berbagai macam bentuk pembebanan (Segitiga, sinusoidal dan Segiempat).
2. Untuk mendapatkan hubungan antara laju penjalaran retak yang disebabkan oleh beban dinamis dan lingkungan yang korosif.

3. Untuk mendapatkan data tentang bentuk beban yang paling cepat menyebabkan fatique.

I.4 METODOLOGI PEMBAHASAN

- Metode pencarian data dilakukan dengan eksperimen guna mendapatkan data perambatan retak untuk beberapa harga stress ratio pada medium udara dan medium larutan NaCL. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin uji statis dinamis sebagai sarana utama. Dari pengamatan didapatkan data : a, N, da, dN, dalam satu interval pencatatan untuk menentukan da/dN untuk setiap harga R tertentu.
- Metode yang dipakai untuk pembahasan adalah dengan studi perbandingan hasil grafik perhitungan da/dN vs dΔK antara hasil pengujian untuk bentuk beban segitiga dengan sinus dan segiempat yang dilakukan untuk medium udara dengan hasil pengujian yang dilakukan untuk medium larutan NaCL untuk mendapatkan perbedaan pengaruh terhadap laju penjalaran retak pada baja SS-41. Selain itu juga melakukan studi literature sebagai acuan hasil penelitian.

I.5 BATASAN MASALAH

Untuk memperjelas ruang lingkup permasalahan, maka pembahasan ini dibatasi dengan:

1. Mode pembebanan yang dipakai adalah Mode I (arah pembebanan tegak lurus dengan arah penjalaran retak dan bidang retak).

2. Pembebanan dinamis yang diberikan kespesimen berbentuk gergaji/segitiga, sinusoidal dan segiempat dengan frekuensi pembebanan yang digunakan 2 Hz.
3. Material spesimen pengujian yang digunakan adalah SS 41 (structural steel) dengan tebal 6 mm.
4. Pengaruh suhu, bending akibat bentuk cacat,dan juga tegangan sisa akibat pengaruh pengerjaan material diabaikan.
5. Pengujian dilakukan dalam medium korosif dengan menggunakan larutan NaCL (Natrium Chlorida) dengan jalan disemprotkan kedaerah notch dan media udara.
6. Penyemprotan dilakukan setiap 500 cycle sekali
7. Jumlah cycle pembebanan yang diberikan untuk tiap stress ratio adalah 12000 cycle.
8. Standar pengujian yang dipakai adalah :Standar uji ASTM E 647 untuk retak lelah diatas 10^{-8} m/cycle, dengan type spesimen Compact Tension (CT).
9. Beban dinamis yang digunakan adalah dengan amplitudo beban konstan berbentuk sinusoidal dan stress Ratio yang digunakan adalah R = 0 , R = 0.2 , R = 0.3 , R = 0.5 dan R=0.8

I.6. MANFAAT

Manfaat dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Memberikan masukan dan informasi bagi peneliti yang lain serta pengembang dalam merencanakan desain kelelahan struktur yang berkaitan dengan permasalahan ini.
2. Mendapatkan data data baru mengenai hubungan antara laju penjalaran retak dengan stress ratio untuk R>0 pada medium NaCL dan udara.

I.7. STRUKTUR PENULISAN

Penulisan tugas akhir ini tersusun dalam bab-bab sebagai berikut:

1. Bab I berisi tentang latar belakang permasalahan, metodologi pembahasan, pembatasan masalah, perumusan masalah, tujuan, manfaat dan struktur penulisannya.
2. Bab II berisi tentang landasan teori fatique
3. Bab III berisi tentang Aspek korosi dan Stress Corrosion Cracking.
4. Bab IV berisi tentang metodologi pengujian.
5. Bab V membahas tentang analisa hasil percobaan.
6. Bab VI berisi tentang kesimpulan, saran, dan pengembangan lebih lanjut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

BAB II

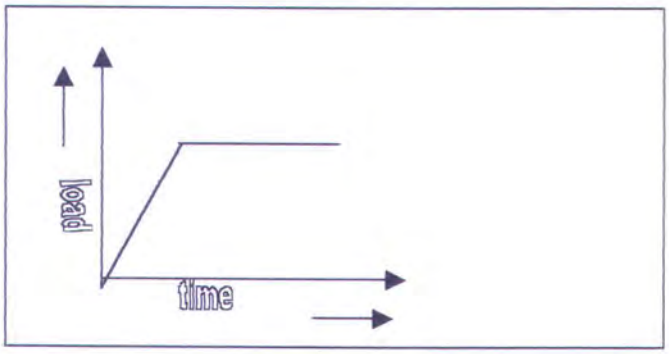
LANDASAN TEORI

II.1. Pembebanan Statis dan Dinamis.

Suatu struktur direncanakan untuk dapat menahan beban-beban yang bekerja padanya, dan diharapkan tidak terjadi suatu kegagalan.Pembebanan dapat dihubungkan sebagai fungsi waktu ,dan dikelompokkan menjadi :

A.Pembebanan Statis.

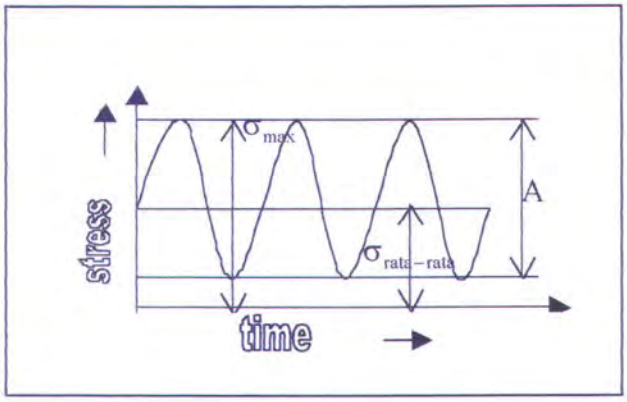
Pembebanan statis adalah pembebanan yang besarnya tetap tanpa ada perulangan dalam siklus waktunya.Beban yang bekerja mencapai suatu harga tertentu dan kemudian harga beban dipertahankan sampai beberapa waktu tertentu.



Gambar II.1 Grafik pembebanan statis

B.Pembebanan Dinamis.

Pembebanan dinamis adalah pembebanan-pembebanan yang dilakukan berulang ulang dimana sebagian atau seluruhnya terulang sebagai fungsi waktu t.



Gambar II.2. Definisi istilah dalam pembebanan dinamis

Pada gambar II.2.memperlihatkan siklus pembebanan dinamis. Sumbu X menunjukkan fungsi waktu sedangkan sumbu Y menunjukkan stress atau tegangan.Dalam gambar grafik terdapat beberapa istilah dan parameter yang perlu diketahui yaitu antara lain:

Tegangan Maksimum, σ_{max} , adalah tegangan yang mempunyai harga tertinggi dalam satu siklus beban.

Tegangan Minimum , σ_{min}, adalah tegangan yang mempunyai harga terendah dalam satu silkus beban.

Tegangan Rata-rata, σ_m , adalah setengah dari penjumlahan tegangan maksimum dan tegangan minimum.

$$\sigma_m = \tfrac{1}{2}\{\sigma_{max} + \sigma_{min}\}$$

Amplitudo Tegangan, a,adalah setengah dari selisih tegangan maksimum dan tegangan minimum.

$$\sigma_a = \tfrac{1}{2}\{\sigma_{max} - \sigma_{min}\}$$

Jumlah Siklus Pembebanan. Jumlah siklus pembebanan dilambangkan dengan N. Dalam grafik biasanya digambarkan dalam bentuk log sehingga membentuk garis lurus.

Laju Pengulangan Beban. yaitu banyaknya pembebanan yang terjadi dalam satu satuan waktu. Dinyatakan dalam perdetik atau disebut dengan frekwensi.

Rasio Beban , stress ratio ,R. Yaitu perbandingan antara tegangan minimum dengan tegangan maksimum atau beban minimum terhadap beban maksimum dalam satu siklus pembebanan.

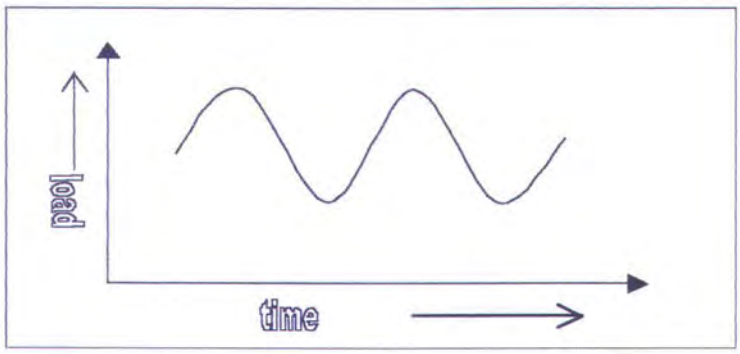
Berdasarkan besarnya amplitudo,pembebanan dibedakan :

1. Amplitudo bervariasi (Variable Amplitude)
2. Amplitudo konstan (Constant Amplitude)
3. Acak (Random)

Berdasarkan macam bentuk gelombang pembebanan dibedakan :

1. **Sinusoidal (sine wave form)**

   Bentuk gelombang pembebanan ini dalah bentuk sinus. Seperti terlihat gambar dibawah, beban akan meningkat dari beban minimum ke beban maksimum dengan slope sesuai dengan sinus.

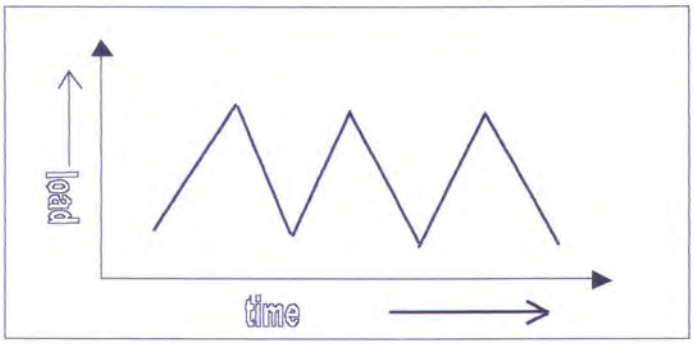


Gambar II.3.Pembebanan sinusoidal

2. **Segitiga (triangular wave form)**

   Pada bentuk pembebanan jenis ini terjadi perubahan tegangan yang tiba- tiba setelah mencapai harga maksimum dan minimum dari

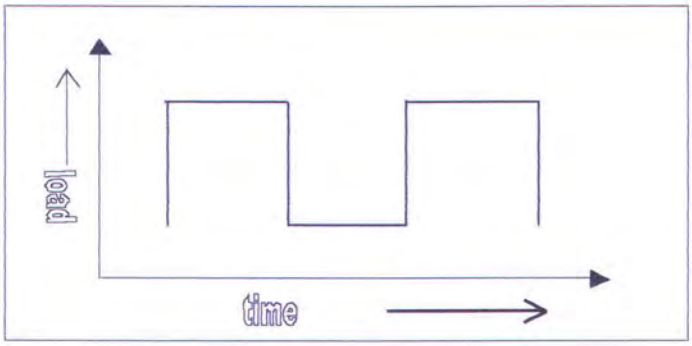
siklus pembebanannya. Perubahan ini terjadi dengan kemiringan yang tetap, dimana merupakan pencerminan terhadap sumbu tegak pada setengah periode sebelumnya. Perubahan ini terjadi berulang-ulang seperti siklus sebelumnya.



Gambar II.4. Pembebanan segitiga

3. **Persegi (square wave form)**

Mekanisme dari bentuk pembebanan ini adalah suatu tegangan manimum tertentu secara statis konstan yang bekerja sampai setengah dari periode siklus kemudian berubah dengan cecat sampai harga maksimum tertentu sampai akhir dari setengah periode berikutnya. Siklus ini akan berulang seperti sebelumnya.



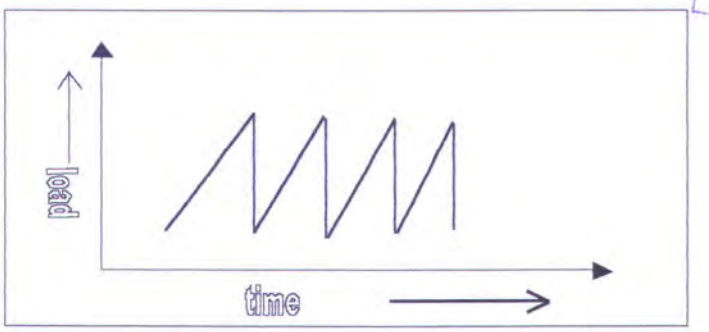
Gambar II.5.Pembebanan segiempat

4. **Gergaji positif (positive sawtooth wave form)**

Pembebanan dengan bentuk gelombang gergaji positif suatu harga tegangan minimum tertentu akan meningkat dengan kemiringan

tertentu sampai mencapai harga tegangan maksimumnya. Setelah harga maksimumnya tercapai tegangan dengan tiba tiba berubah dengan cepat sampai harga minimumnya, siklus ini terulang sebagai mana sebelumnya.

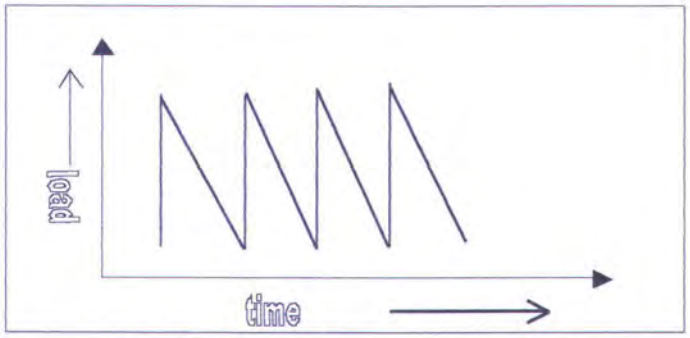
PERPUSTAKAAN ITS



Gambar II.6.Pembebanan gergaji positif

5. **Gergaji negative (negative saw tooth wave form)**

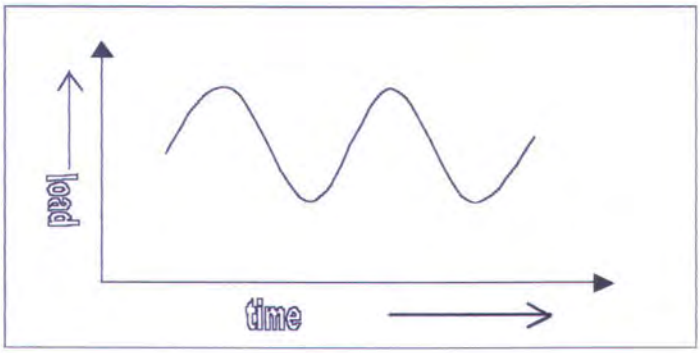
Pembebanan ini merupakan kebalikan dari jenis pembebanan gergaji positif. Setelah mencapai suatu harga tegangan minimum tertentu perubahan yang tiba-tiba sampai terjadi harga maksimum tertentu dan kemudian turun dengan kemiringan tertentu dengan relatif lebih lambat sampai pada harga tegangan minimumnya, silkus ini berulang seperti sebelumnya.



Gambar II.7.Pembebanan gergaji negatif

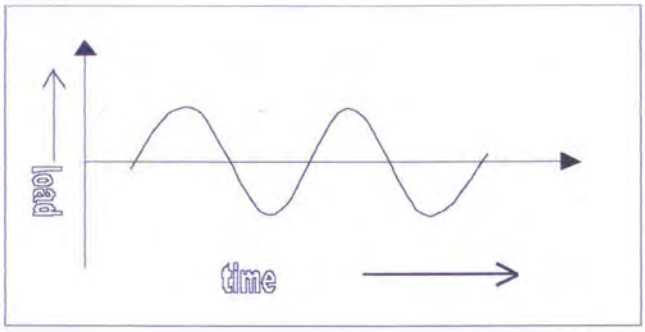
Seperti disebutkan dimuka , dalam suatu siklus pembebanan berulang, harga perbandingan antara tegangan minimum dengan tegangan maksimum yang bekerja disebut dengan perbandingan siklus atau stress ratio yang dilambangkan dengan R.Berdasarkan harga R dan tegangan rata-rata pembebanan dengan amplitudo konstan dapat dibedakan dalam beberapa jenis,yaitu:

1. Tegangan diatas sumbu nol .Hal yang demikian menunjukkan bahwa harga tegangan minimum dan tegangan maksimumnya adalah positif atau disebut juga tegangan tarik.Pembebanan jenis ini merupakan pembebanan tarik yang bekerja membesar dan mengecil dan berulang-ulang, atau juga tension to tension loading.



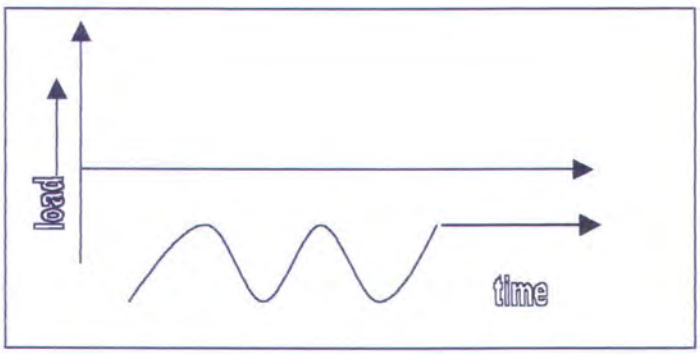
Gambar II.8.Pembebanan diatas sumbu nol

2. Tegangan melewati sumbu nol.Pada pembebanan jenis ini tegangan minimum yang bekerja adalah tegangan tekan atau tegangan negatif, sedangkan tegangan maksimumnya adalah tegangan tarik atau tegangan positif.



Gambar II.9. Pembebanan melewati sumbu nol.

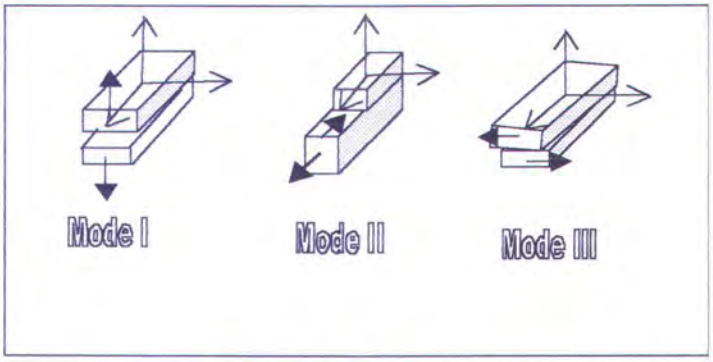
3. Tegangan dibawah sumbu nol.Hal yang demikian menunjukkan bahwa tegangan maksimum dan tegangan minimum adalah tegangan negatif atau tegangan tekan.



Gambar III.10.Pembebanan dibawah sumbu nol

Salah satu hal lagi yang penting dalam penjalaran retak adalah mode pembebanan, dimana mode pembebanan dapat dibedakan menjadi tiga macam:

a. Mode I (opening mode).
b. Mode II (shear mode).
c. Mode III (tearing mode).



Gambar II.11. Mode Pembebanan

Dari ketiga mode pembebanan diatas mode I adalah mode yang paling berpengaruh secara teknis terhadap kekuatan struktur,dimana arah pembebanan tegak lurus bidang retak.Mode ini sering dijumpai dalam kejadian dilapangan dan lebih mudah dalam pelaksanaan pengujian.Oleh karena itu mode I dipakai sebagai mode pembebanan dalam penulisan dan pengujian ini.

II.2.Pengertian Dasar Fatique.

Fatique adalah salah satu mode kegagalan yang harus dipertimbangkan dalam mendesain suatu struktur, bahkan dibeberapa literature menyebutkan bahwa 50%-90% dari seluruh kegagalan mekanis disebabkan oleh fatique.Fatique adalahmekanisme yang terjadi sebagai suatu hasil dari sejumlah pembebanan yang berulang ulang. Suatu pembebanan tunggal akan tidak mempengaruhi kekuatan suatu struktur, selama pembebanan tersebut terjadi jauh di bawah beban kerusakan statisnya.Tetapi jika pembebanan tersebut terjadi berulang-ulang, maka kegagalan fatique akan terjadi [Broek, 1982].

Definisi dari fatique atau kelehan ini, menurut ASTM (American Society for Testing Material) E206 hal 364 adalah :

Suatu ***proses progesif*** yang terjadi ***pada suatu area*** struktur permanen dimana terjadi perubahan pada material yang disebabkan suatu kondisi yang menghasilkan fluktuasi tegangan dan regangan pada suatu atau beberapa titik yang dapat memuncak menjadi ***retak*** atau ***kepecahan*** atau ***kegagalan struktur*** secara keseluruhan setelah sejumlah fluktuasi tertentu.

Terdapat empat kata penting dari definisi diatas yang dapat menjelaskan tentang pengertian kelelahan atau fatique.Dapat juga dikatakan bahwa keempat kata tersebut menjelaskan tahapan terjadinya suatu kelelahan .Keempat hal tersebut yaitu :

Kata " **progesif** ",yang menjelaskan bahwa proses fatique terjadi pada suatu periode waktu dan pemakaian tertentu. Kegagalan fatique sering terjadi secara mendadak tanpa ada peringatan sebelumnya.Walaupun demikian mekanisme ini mungkin melibatkan sejak awal beroperasinya suatu komponen atau struktur.

Kata " **terjadi pada suatu area** ", menjelaskan bahwa proses fatique berlangsung pada suatu bagian tertentu dari suatu struktur bukan pada keseluruhan komponen atau struktur. Bagian lokal ini dapat mengalami tegangan atau regangan yang tinggi disebabkan beban external, perubahan geometris, perbedaan temperatur atau ketidak sempurnaan material.

Kata " **retak** ", penyebab utama dari seluruh kegagalan fatique adalah yang merambat sampai pada suatu titik dimana material tidak sanggup lagi menahan tegangan atau regangan dan kegagalan strukturpun terjadi.

Kata " **kepecahan/kegagalan struktur** ", menjelaskan bahwa kondisi terakhir dari suatu proses fatique adalah pemisahan dari komponen atau struktur menjadi dua bagian atau lebih . Mekanisme perambatan retak secara umum dapat diasumsikan bahwa jika stress terjadi pada ujung retak melampaui suatu harga kritis

tertentu.Mekanika kepecahan (Fracture Mechanics) dipakai untuk menjelaskan tentang suatu criteria kepecahan untuk menjelaskan stress dan strain yang terjadi pada ujung retak atau nocth,meskipun untuk kondisi dibawah keadaan stress dan strain yang menyebabkan penjalaran retak belum dapat dijelaskan dengan baik.

II.3. Tahapan Dalam Proses Fatique

Kelelahan atau fatique dalam prosesnya mengalami beberapa fase yang terjadi selama umur kelelahan material.beberapa fase atau tahapan tersebut adalah [Hellan, 1985]:

1. Cyclic slip (penggelinciran berulang).

   Pada pembebanan berulang yang relatif rendah (rendah dibandingkan dengan beban kegagalan statis),suatu gelinciran berulang akan terjadi yang tersususun dari sejumlah kecil butiran pollycristalline material tersebut.Jika gelinciran berulang tidak terjadi maka fatique pun tidak akan terjadi.

2. Crack nucleation (retak inti).

   Penyelidikan mikroskopis menyebutkan crack nucleation terjadi pada awal umur kelelahan material, mungkin hanya berapa persen setelah umur kelelahan terlampaui. Penelitian lain menyatakan bahwa crack nucleation adalah fenomena permukaaan suatu material.

3. Perambatan retak mikro.

   Timbulnya retak mikro menyebabkan terjadinya kosentrasi tegangan pada ujung retak.Gelinciran berulang akan terkosentrasi pada ujung retak yang menyebabkan penjalaran retak selanjutnya.Penelitian mikroskopis menunjukkan bahwa perambatan retak mikro dapat

meliputi sebagaian besar dari umur kelelahannya.Dengan kata lain, pada saat terakhir dari umur kelelahannya retak menjadi dapat dilihat dengan mata telanjang.

4. Perambatan retak makro.

Perubahan dari perambatan retak mikro ke retak makro tidak mudah didefinisikan secara kuantitatif.Definisi secara nominal dari retak makro adalah jika suatu retak dapat dilihat dengan mata telanjang.Sebagai tambahan dari apa yang telah disebutkan sebelunya tentang umur kelelahan pada daerah retak mikro adalah perambatan retak makro berlaku jika tingkat perambatannya tidak tergantung lagi pada permukaan local dan kondisi seperti pada crack nucleation dan perambatan retak mikro.

5. Kegagalan akhir.

Pada saat retak makro berkembang besar, penampang melintang dari material yang tidak retak (ligament) menjadi mengecil. Akhirnya daerah ini akan menjadi terlalu kecil untuk menahan beban siklis maksimumnya.kemudian kegagalan akhir akan terjadi pada siklus pembebanan terakhir dari umur kelelahannya.

II.4. Faktor Intensitas Tegangan.

Salah satu perameter yang penting dalam menggambarkan suatu keadaan diujung retak adalah factor intensitas tegangan.Faktor intensitas tegangan dalam pembahasan ini adalah untuk pembebanan mode I, yang dilambangkan dengan

K_I.Secara umum untuk pelat tak terbatas factor intensitas tegangan dinyatakan dalam hubungan persamaan:

$$\sigma_{ij} = KI\ Fij(\beta)$$

$$2\pi a$$

Dimana : $K_I = \sigma\sqrt{\pi a}$

σ = tegangan

a = panjang retak

Untuk keadaan yang sebenarnya factor intensitas berbeda dengan seperti yang ditunjukkan diatas disebabkan bentuk pelat atau spesimen yang terbatas.Untuk harga K_I dinyatakan sebagai:

$$K_I = \sigma\sqrt{\pi a}\, f\left(\frac{a}{W}\right)$$

dimana W = tebal pelat

Dalam pembahasan ini sesuai dengan standar yang telah dipilih yaitu ASTM E 647. Untuk spesimen dengan type Compact Tension (CT), dengan retak fatigue amplitudo pembebanan konstan dan laju penjalaran lebih besar dari 10^{-8} m/cycle mempunyai harga f(a/w).

$$f\left(\frac{a}{W}\right) = \frac{\left(2+\left(\frac{a}{W}\right)\right)}{\left(1-\left(\frac{a}{W}\right)\right)^{\frac{3}{2}}}\left[0.886 + 4.64\left(\frac{a}{W}\right) - 13.32\left(\frac{a}{W}\right)^2 + 14.72\left(\frac{a}{W}\right)^3 - 5.6\left(\frac{a}{W}\right)^4\right]$$

Harga $f\left(\frac{a}{W}\right)$ valid untuk harga $\frac{a}{W} \geq 0.2$

Persamaan faktor intensitas tegangan diatas juga hanya berlaku untuk keadaan dimana ukuran daerah plastis disekitar ujung retak jauh lebih kecil

dibandingkan panjang retak . Pada keadaan ini penjalaran retak dapat dihitung dengan faktor intensitas tegangan.Oleh karena itu maka bila terdapat dua retak yang berbeda yang mempunyai faktor intensitas tegangan yang sama maka laju perambatan retaknya akan sama .

Harga penjalaran retak fatique tiap siklus pembebanan, $\frac{da}{dN}$,adalah fungsi dari faktor intensitas tegangan, ΔK ,atau dapat dinyatakan:

$$\frac{da}{dN} = f(\Delta K)$$

Sedangkan, $\Delta K = [\sigma_{max} - \sigma_{min}] \sqrt{\pi a}$,maka:

$$\frac{da}{dN} = f[\sigma_{max} - \sigma_{min}] \sqrt{\pi a} = f[2\sigma_a \sqrt{\pi a}]$$

Dimana :

σ_{max} = tegangan maximum

σ_{min} = tegangan minimum

σ_a = amplitudo tegangan

Paris menyatakan bahwa data titik-titik yang diperoleh dari spesimen uji pada tingkatan tegangan yang bermacam-macam seluruhnya berada dalam kurva tunggal.Pada persamaan Paris Erdogan, bentuk kurva dalam logaritma untuk harga $\frac{da}{dN}$,dan ΔK akan menunjukkan bentuk garis lurus, walaupun persamaan diatas tidak dapat mewakili secara keseluruhan dari keadaan sebenarnya . Bentuk yang sebenarnya adalah signoidal, dimana, grafik penjalaran retak $\frac{da}{dN}$ terhadap ΔK , dapat dibedakan dalam tiga bagian, hal ini akan dibahas lebih lanjut .

Proses siklus fatique dapat didefinisikan dengan frekuensi dan dua parameter tegangan yaitu tegangan rata-rata, σ_m , dan amplitudo tegangan,σ_a ,jadi kita dapat menentukan besarnya tegangan maksimum atau tegangan minimum.

$$\sigma_{max} = \sigma_m + \sigma_a$$

$$\sigma_{min} = \sigma_m - \sigma_a$$

Sedangkan pada R= 0, tegangan maksimum dapat dinyatakan sebagai $\sigma_{max} = 2\sigma_a = \Delta\sigma$. Hipotesa untuk penjalaran retak adalah sebagai fungsi intensitas tegangan. Jika R $\neq 0$, maka harga rentang intensitas tegangannya $\Delta K = 2\sigma_a\sqrt{\pi a}$ yang tidak cukup untuk menggambarkan keadaan daerah tegangan disekitar ujung retak.

Untuk harga R < 0, misalnya dengan terjadinya tegangan kompresi pada keadaan yang demikian ternyata harga penjalaran retak tidak mengalami penambahan sehingga pada keadan yang demikian hanya ada hubungan :

$$\frac{da}{dN} = f(K_{max}) \text{ untuk } R < 0.$$

Pada bentuk pembebanan yang demikian, retak tidak selalu menutup dengan tepat pada gerakan tegangan balik dari tarik ke tekan. Gerakan menutup tergantung kepada besarnya bukaan yang terjadi pada ujung retak. Sehingga persamaannya dimodifikasi dalam bentuk.

$$\frac{da}{dN} = f_1(\Delta K, K_{max}) = f_2(K_{max}, R) \text{ untuk } R > \delta$$

$$\frac{da}{dN} = f_3(K_{max}) \text{ untuk } R < \delta$$

dimana, $\delta = f_4$ (property mayerial) ≈ 0

Hubungan harga penjalaran retak dengan factor intensitas tegangan sangat berguna, karena factor intensitas tegangan ini dapat dihitung untuk beberapa macam desain geometris.

II.5.Laju Penjalaran Retak Menengah

Paris dan Erdogan mengajukan suatu persamaan yang menyatakan bahwa laju penjalaran retak $\frac{da}{dN}$ sebagai fungsi dari factor intensitas tegangan ΔK, seperti dalam formula:

$\frac{da}{dN} = c\,\Delta K^{m}$; m,c = konstanta material

a = panjang retak

N = jumlah siklus tegangan

$\Delta K = K_{max} - K_{min}$ dimana:

K_{max} = factor intensitas tegangan maksimum dalam siklus fatique

K_{min} = factor intensitas tegangan minimum dalam siklus fatique

Pada penelitian lebih lanjut menunjukkan bahwa berdasarkan grafik logaritma dari laju penjalaran retak $\frac{da}{dN}$ terhadap rentang factor intensitas tegangan ΔK, persamaan Paris-Erdogan hanya valid pada daerah menengah (intermediate range)

Dari rentang laju penjalaran, yaitu antara 10^{-8}~ 10^{-6} m/cycle atau 10^{-5}~ 10^{-3} mm/cycle.Beberapa pemodelan dan pengujian dengan pembebanan yang terprogram

telah disusun beberapa peneliti untuk menjelaskan mekanisme dari retak, dari laju perambatan retak menengah ini. Mekanisme retak yang paling umum diterima adalah melibatkan proses penumpulan dan penajaman dari ujung retak (blunting, resharpingening). Jika besarnya regangan geser sebanding dengan bukaan retak (crack opening displacement),maka pertambahan penjalaran retak tiap siklus pembebanan adalah:

$$\frac{da}{dN} = \beta\Delta(CTOD) = \beta\,\Delta\frac{\Delta K^2}{E\sigma_{cy}}$$

E = modulus young

σ_{cy} = tegangan yang bekerja

β = effesiensi proses penumpulan

CTOD = bukaan ujung retak

Pada model laird Smith dan beberapa model penumpulan plastis (palastic blunting) didasarkan pada teori bukaan retak (CTOD) menghasilkan beberapa prediksi dari persamaan Paris-Erdogan, yaitu persamaan dengan harga koefisien m=2, (second power Paris- Erdogan). Sedangkan teori yang didasarkan pada kerusakan kumulatif (cumulative damage) pada daerah plastis didepan ujung retak menghasilkan koefisien m = 4 (fourth Paris-Erdogan).

1. Harga m = 2 terjadi bila kepecahan disebabkan oleh mekanisme mikro yang terjadi hanya pada daerah proses kepecahan yang dekat dengan ujung retak, yang panjangnya berbanding lurus dengan Δ(CTOD).Kategori ini adalah model-model penumpulan plastis.

2. Harga m = 4 terjadi bila kepecahan disebabkan oleh mekanisme mikro yang terjadi pada tingkat penjalaran rendah apabila daerah plastis balik kira-kira berukuran sama dengan daerah proses kepecahan.

Pada penelitian selanjutnya yang mengikut sertakan fraktografi secara detail, Richard dan Lindley menghasilkan persamaan penjalaran retak:

$$\frac{da}{dN} = 1 \times 10^{-11} \Delta K^3$$

dengan ΔK dalam MPa$\sqrt{m}$ dan $\frac{da}{dN}$ dalam m/cycle. Harga m = 3, hal ini disebabkan model dan pengamatan eksperimen sangat bervariasi untuk dapat menjelaskan proses mekanisme mikro.

BAB III

ASPEK KOROSI

BAB III

ASPEK KOROSI

III. PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijelaskan berbagai aspek mengenai korosi, hal ini mengingat pentingnya pengertian dan lingkup korosi terhadap laju penjalaran retak sehingga mempunyai gambaran awal yang jelas tentang korosi sebelum kita memasuki pengertian Fatique Corrosion Cracking, Stress Corrosion Cracking, pengaruh lingkungan yang korosif terhadap laju perambatan retak dan sebagainya yang akan dibahas dibab berikutnya.

III.1. PRINSIP KOROSI

Korosi merupakan iter disiplin subjek, yang merupakan kombinasi dari unsur fisika, kimia, metalurgi, elektonik dan rekayasa. Untuk mempelajari ilmu korosi secara umum, berikut ini dijelaskan prinsip dasar korosi :

1. Energi dalam korosi
2. Dasar teori kimia
3. Dasar teori listrik

III.1.1. Energi Dalam Korosi

Korosi merupakan masalah teknologi yang disebabkan oleh alam dengan ditandai perubahan energi. Lingkungan suatu benda merupakan media yang cenderung untuk berinteraksi dengan benda tersebut dalam hal pertukaran energi. Bentuk energi yang biasa menimbulkan korosi adalah energi kimia, energi ini diturunkan dari energi tersimpan akibat ikatan kimia dari zat-zat pembentuk benda tersebut, dan disebut ***internal energi.***

Pertukaran energi terjadi dengan energi yang tersedia disekeliling benda yang disebut dengan ***free energi.***

Contoh : $X + Y \longrightarrow Z + O + \Delta G$

Unsur X dan Z bereaksi membutuhkan atau mengeluarkan energi sebesar ΔG untuk membentuk unsur Z dan O. Besarnya ΔG ini sangat dipengaruhi jenis material dan juga lingkungan dimana material tersebut berada. Didalam pembuatan metal baja, stainless steal, emas, dsb, tersimpan dalam material tersebut (internal energy). Perbedaan energi dengan lingkungannya akan mempengaruhi perilaku korosi terhadap material tersebut.

III.1.2. Dasar Teori Kimia

Korosi terjadi akibat adanya reaksi oksidasi dan reduksi antara material dan lingkungannya. Reaksi oksidasi diartikan sebagai reaksi yang menghasilkan electron dan reduksi adalah yang menggunakan electron.

Contoh : $Na \longrightarrow Na + 1\,e$ (oksidasi)

$Cl + 1e \longrightarrow Cl$ (reduksi)

$Na + Cl \longrightarrow Na + Cl$ (redoks)

Pada proses korosi, salah satu hasil reaksi tersebut akan bereaksi lagi dengan logam dan mengakibatkan pengikisan unsur logam tersebut. Proses ini disebut korosi dan diawali terlebih dahulu dengan berubahnya logam menjadi ion logam.

$$M \longrightarrow M^{Z+} + Z\,e^-$$

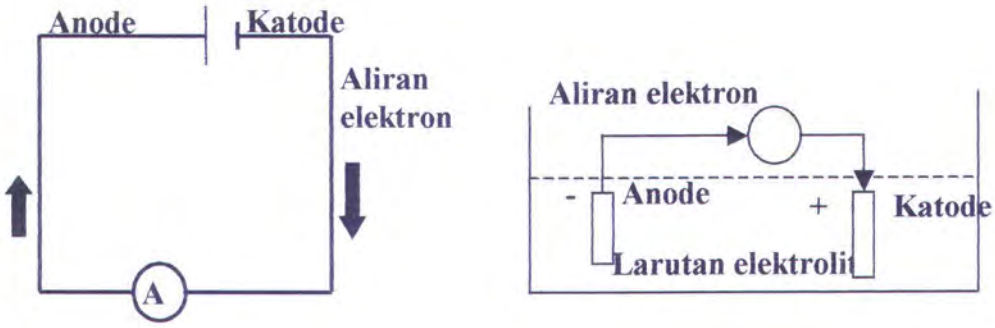
Media larutan utama korosi adalah air dengan segala komposisinya, air adalah molekul netral dimana 2 atom hydrogen bergabung dengan 1 atom oxygen dan bersifat reversible.

$$H_2O \longrightarrow H^+ + OH^-$$

Salah satu karakteristik air adalah pH, yang sangat besar pengaruhnya terhadap proses korosi. Dengan semakin tinggi harga pH berarrti derajat keasaman dari air tersebut besar, dan beberapa material logam kecepatan korosi akan menjadi berlipat ganda.

III.1.3. Dasar Teori Listrik

Pada teori listrik umum , setiap benda logam mempunyai muatan listrik statis yang besarnya bervariasi. Apabila kedua benda yang mempunyai muatan listrik statis berbeda ditempatkan pada larutan elektrolit dan dihubungkan dengan kabel, maka akan terjadi aliran elektron. Terdapat sedikit perbedaan antara aliran listrik umum dengan proses korosi. Hal ini digambarkan sebagai berikut:



Ganbar III.1 Electrolit Corrosion

Dari beberapa penjelasan diatas dan berdasarkan pada teori listrik dapat dijelaskan bahwa korosi dapat terjadi karena lingkungan yang ada terdapat aliran listrik dari suatu daerah permukaan logam ke daerah permukaan logam lainya melalui media larutan, yang mempunyai sifat penghantar arus listrik (elelktrolit).

Aliran listrik yang dihantarkan oleh elektrolit tersebut berupa ion- ion. Akibat adanya aliran listrik, maka akan terbentuk atom-atom yang bermuatan positif maupun negatif. Peninjauan elektrolit sebagai media korosi pada pembahasan ini sangat relevan bila diambil air laut dan udara laut (NaCL) sebagai media pengujian.

III.2. TEORI DASAR KOROSI

Korosi diartikan sebagai kerusakan atau keausan dari material akibat terjadinya reaksi dengan lingkungannya yang didukung oleh faktor-faktor tertentu. Pengaruh lingkungan yang menyebabkan kerusakan pada material disebut lingkungan yang korosif.

Lingkungan yang korosif dibagi menjadi beberapa macam yaitu :

1. Lingkungan udara beruap air segar, destilasi bergaram dan air mineral.
2. Udara yang bersifat atmosfir insdustri, yang meliputi uap air, gas-gas Cl_2, HSO, asam-asam organik.
3. Solven (pelarut).
4. Minyak.
5. Lingkungan bersuhu tinggi.

Tiap-tiap logam maupun paduannya yang bercampur dan bereaksi dengan suatu larutan, akan banyak tergantung oleh faktor-faktor sebagai berikut [Joudar, 1995]:

1. Deformasi plastis dan deformasi elastis.

Deformasi plastis dan elastis akan menyebabkan free energi dari logam menjadi tinggi dan akan menyebabkan suatu logam berkurang ketahanannya terhadap korosi. Pengkaratan pada umumnya mengarah pada permukaan logam yang mempunyai sifat-sifat tidak merata struktur materialnya, yang disebabkan karena pengerolan pada waktu pembuatan logam.

Tegangan elastis yang terdiri dari tegangan statis dan tegangan dinamis akan menyebabkan permuakan logam mempunyai sifat sebagai anode. Pada struktur kapal dan bangunan lepas pantai, hal ini terjadi bila tegangan terjadi pada kampuh las atau pada waktu eksploitasi dengan terjadinya tegangan berulang. Pada tegangan berulang, pengkaratan terjadi ekstrim pada saat lelahnya material.

2. Struktur Material yang Tidak Merata atau Homogen

Homogenitas suatu material dapat disebabkan oleh beberapa faktor, meliputi susunan kimia, pekerjaan mekanis dan pekerjaan panas dari material itu. Pekerjaan mekanis yang berbeda akan menyebabkan susunan kristal yang saling berdekatan akan berbeda pula. Apabila logam ini tercelup dalam larutan elektrolit, maka akan terjadi aliran listrik yang menyebabkan sebagian dari kristal tersebut bertindak sebagai katode terhadap kristal yang lainnya.

Selain dari itu pekerjaan mekanis dan panas selalu menimbulkan usaha perlawanan terhadap tiap-tiap perubahan yang terjadi baik perubahan kristal maupun susunannya. Perubahan-perubahan banyak terjadi pada proses pengelasan yang akhirnya sedikit banyak menyebabkan struktur material menjadi tidak homogen.

3. Bentuk Permukaan Logam

Permukaan logam menpunyai struktur tersendiri mengenai keaktifannya membentuk lapisan oksida logam yang berfungsi menghambat pengkaratan. Oleh karena itu diupayakan agar lapisan ini selalu ada pada logam tersebut.

4. Sifat-sifat Elektrolit

Ada beberapa faktor yang menentukan sifat-sifat elektrolit ini, yaitu :

(1). Lapisan elektrolit yang berhubungan dengan logam.

Dalam hal ini susunan lapisan elektrolit yang berhubungan dengan logam tadi mempunyai pengaruh pada difusi, hasil pengkaratan, kecepatan bereaksinya oksigen, jumlah ion yang dikehendaki yang menutup permukaan logam dan lain-lain.

(2). Sifat-sifat Umum Kimia dan Fisika dari Elektrolit

Meliputi besarnya kemampuan menghantar listrik, jenis garam yang melarut atau oksida pada larutan elektrolit tersebut.

5. Gerakan Elektrolit

Gerakan elektrolit mempunyai pengaruh sangat penting yaitu satu sisi, elektrolit dapat mempengaruhi kecepatan larutan anode, dan dari sisi lain akan mempercepat proses pengkaratan. Disamping itu gerakan elektrolit ini akan menimbulkan gaya gerak listrik

III.3. PRINSIP DASAR TERJADINYA KOROSI

MILIK PERPUSTAKAAN ITS

III.3.1. Reaksi Kimia Listrik

Seperti dijelaskan dimuka, salah satu penyebab korosi adalah terjadinya reaksi redoks [Fontana, 1978].

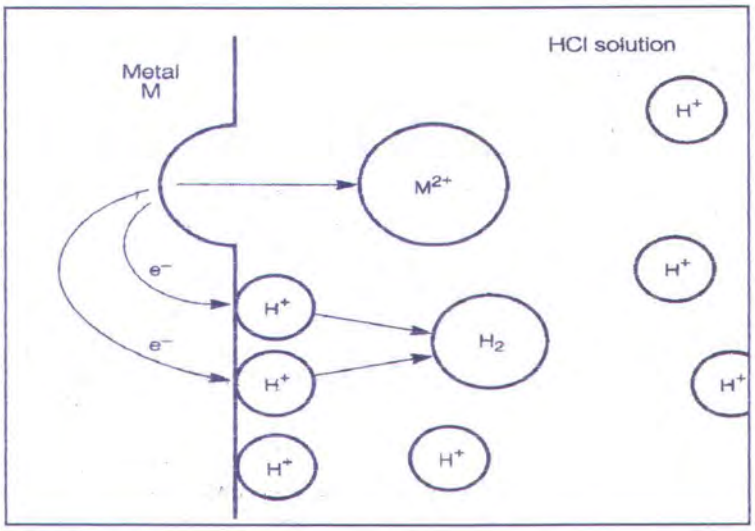
$$Fe + 2\ NaCL \longrightarrow FeCl_2 + Na_2$$

$$Fe + 2\ Na^+ \longrightarrow Fe^{2+} + Na_2$$

$$Fe + \longrightarrow Fe^{2+} + 2\ e^-$$

$$2\ Na^+ + 2\ e^- \longrightarrow Na_2$$

Berdasarkan reaksi diatas maka logam akan mengalami pelepasan elektron sehingga terbentuk ion logam. Besarnya elektron yang dilepaskan tergantung ekivalensi logam tersebut. Secara garis besar dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar III.2. Proses Korosi Akibat Kimia Listrik

Apabila sebatang baja atau besi dicelupkan pada air atau air laut maka reaksi yang terjadi dapat di interpretasikan sebagai berikut [Francis, 1972] :

Reaksi Anodik : $Fe \longrightarrow Fe^{2+} + 2\,e^-$

Jika dianggap logam terletak pada udara terbuka ataupun air laut, maka unsur oksigen dan air akan mengalami reaksi katodik:

Reaksi Katodik : $O_2 + H_2O + 4e^- \longrightarrow 4\,OH^-$

Sedangkan ion Clorid dan sodium tidak bereaksi, maka reaksi yang terjadi merupakan penggabungan reaksi katodic dan anodic, yaitu :

$2\,Fe + 2H_2O + O_2O \longrightarrow 2\,Fe^{2+} + 4OH^- \longrightarrow 2\,Fe(OH)_2$

Tetapi oksdida ini tidak stabil dalam larutan yang mengandung oksigen dan cenderung membentung ferric salt :

$2\,Fe(OH)_2 + H_2O + \frac{1}{2}\,O_2 \longrightarrow 2\,Fe(OH)_2$ (karat)

Besi dalam reaksi korosi tidak pernah akan terhenti karena karat yang telah ada akan bereaksi secara terus-menerus dengan logam besi yang belum terkorosi.

III.3.2. Polarisasi

Dalam suatu larutan, proses polarisasi akan terjadi dan merupakan faktor yang berpengaruh terhadap kecepatan proses korosi. Proses polarisasi adalah merupakan proses terbentuknya gas hidrogen karena reaksi kimia listrik. Macam polarisasi ada 2 macam yaitu :

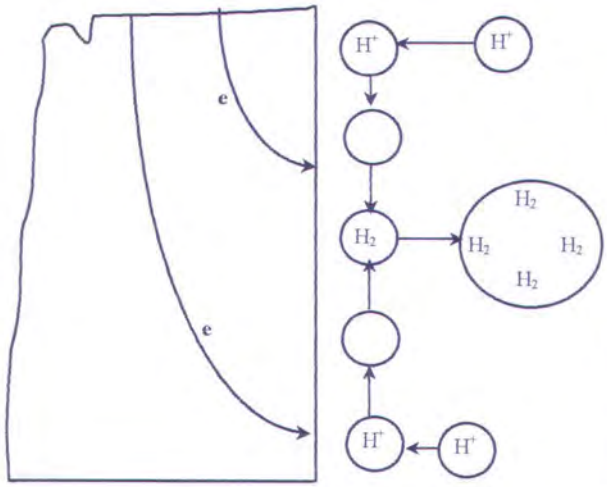
1. Activation Polarisation

   Dikontrol oleh urutan reaksi pada logam dengan larutan elektrolit.

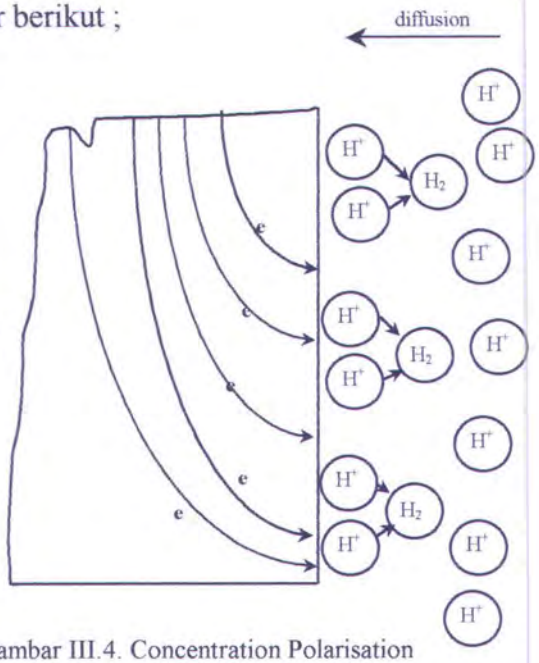
2. Concentration Polarisation

   Dikontrol oleh proses difusi pada larutan elektrolit akibat sedikitnya jumlah ion hidrogen.

Keduanya akan tampak jelas terlihat pada gambar berikut ;



Gambar III.3. Activation Polarrisation



Gambar III.4. Concentration Polarisation

III.3.3. Pasivitas

Merupakan proses pengurangan daya reaktivitas pada logam terhadap kondisi lingkungan tertentu. Dengan reksi pasivitas seolah-olah logam akan bersifat mulia seperti platinum. Proses ini dapat digambarkan sebagai berikut: sebuah logam normal yang

diletakkan pada mesia oksidasi mengalami reaksi oksidasi, jika kadar oksidazer ditambah maka kecepatan korosipun bertambah. Namun dengan penambahan jumlah kosentrasi oxidazer tertentu kecepatan korosipun akan mengalami penurunan drastis. Keadaan ini disebut kondisi logam Passive.

III.4. STRESS CORROSION CRACKING

III.4.1. Pendahuluan

Stress Corrosion didefinisikan sebagai mekanisme failure yang menghendaki perpaduan/gabungan dari korosi dan tegangan tarik static [Jones, 1996]. Dari definisi tersebut dapatlah kita menyatakan bahwa korosi itu sendiri tidaklah mempunyai peranan yang penting terhadap crack (retak). Karena apabila situasi perpaduan logam/lingkungan sudah terpenuhi tetapi tegangan tidak ada korosi tidak akan menjadi masalah serius. Demikian pula kehadiran dari tegangan tarik sendiri tidaklah menyebabkan retak. Bagaimanapun, hanya aksi bersama dari korosi dan tegangan tarik menghasilkan retak dan akhirnya pencapaian failure. Juga untuk stress corrosion tidaklah membuat beberapa perbedaan apakah tegangan tarik adalah hasil dari beban eksternal atau apakah itu sebuah tegangan internal (residual stress, built-in stress/ tegangan dalam). Bagaimanapun, ini berarti bahwa tegangan internal ada setiap waktu. Sebaliknya tegangan eksternal hanya ketika komponen di bawah beban. Banyak masalah stress corrosion dalam service/ dinas (kerja) disebabkan oleh sistem tegangan internal. Dan Residual stress sisanya dari heat treatment menyebabkan fracture/ patah. Stresss corrosion cracking adalah keretakan akibat kehadiran tegangan tarik dan media korosif secara bersamaan. Suatu hal yang penting adalah harus dibedakan antara SSC dan hydrogegn-embrittlement dari lingkungannya

(environmental variables). Keretakan biasanya mengarah secara tegak lurus dari arah tegangan.

Ciri-ciri korosi tegangan menurut [Brown, 1985] :

a. Tegangan tarik harus ada, merupakan hasil kerja sama antara tegangan dan korosi. Tegangan mungkin terjadi ketika komponen sedang operasional, tetapi mungkin juga telah memilikinya sejak tahapan fabrikasi atau instalasi.

b. Umumnya paduan lebih rentan dibanding logam murni, kecuali tembaga.

c. Peretakan pada logam tertentu yang teramati disebabkan oeh seikit saja unsur kimia di lingkungannya, dan unsur-unsur tersebut tidak perlu dalam konsentrasi besar.

d. Bila tegangan tidak ada, paduan biasanya lembam terhadap unsur yang sama dalam lingkungan, yang semestinya menyebabkan peretakan.

e. Bila bahan bersifat mulur, retak korosi-tegangan tampak seperti perpatahan rapuh.

f. Biasanya kita dapat menentukan tegangan ambang batas, di bawah tegangan itu SSC tidak akan terjadi.

III.4.2. Efek Tegangan

Semakin tinggi tegangan, maka waktu yang dibutuhkan untuk menculnya retak semakin turun. Ada fenomena yang menyatakan harus adanya suatu harga tegangan minimum untuk menghidari retak. Tegangan minimum ini tergantung pada temperatur, komposisi paduan dan kondisi lingkungan.

Tegangan tersebut bersifat sebagai aksi pembuka (wedging action) dari pada retak yang menciptakan suatu harga tegangan sangat tinggi di ujung retak yang memiliki stress concentration factor (SCF) tinggi karena bentuknya yang tajam.

III.4.3. Waktu Peretakan

Variabel waktu sangatlah penting dalam fenomena SCC karena kerusakan fisik pertama terjadi pada tahap-tahap akhir. SSC menembus material mengurangi luas penampang lintang, dan tegangan membesar. Kerusakan akhir akibat retak timbul dari aksi mekanis. Otomatis dapat disimpulkan bahwa pergerakan retak bertambah cepat dengan bertambahnya kedalaman retak. Pada saat kondisi rupture/terbelah tercapai, maka luas penampang telah sampai pada titik dimana tegangan yang ada sudah sama dengan atau lebih besar dari pada kekuatan maksimum material.

III.4.4. Faktor Lingkungan

Beberapa faktor yang sangat berpengaruh adalah temperatur dan kondisi fisik dari lingkungannya. Prinsip yang harus dipegang teguh adalah apabila ada kondisi lingkungan yang diubah dalam suatu sistem (misalnya : jenis paduan logam), maka harus diadakan SSC test kembali agar diketahui karakteristik dari SSC-nya.

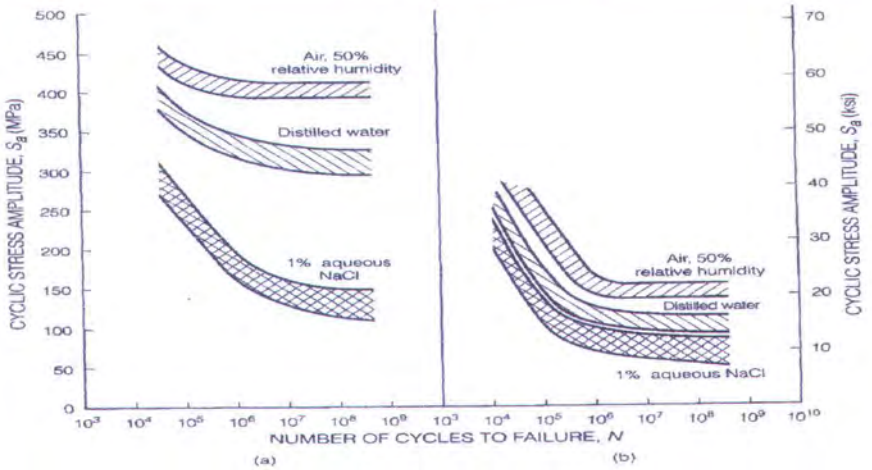


FIGURE 8.10 Fatigue curves showing reduced service life (number of cycles to failure) in the presence of (a) corrosive environment and (b) added notches. *(From M. O. Speidel,* Proc. Int. Conf. on Stress Corrosion and Hydrogen Embrittlement of Iron Base Alloys, *NACE, Houston, p. 1071, (1977). Reprinted by permission, National Association of Corrosion Engineers.)*

Gambar III.5. Grafik pengaruh lingkungan terhadap lama pembebanan.

III.4.5. Faktor Metalurgi

Kerentanan SSC sangat dipengaruhi oleh komposisi kimia rata-rata, orientasi pemilihan grain, distribusi dan komposisi percepatan, interaksi dislokasi dan kemajuan transformasi fase (derajat metastabilitas). Faktor-faktor ini selanjutnya mempengaruhi komposisi lingkungan dan tegangan yang akhirnya mempengaruhi waktu peretakan.

Korosi sangat berpengaruh pada initiasi retak. Cacat pada permukaan logam dapat menjadi peninggi tegangan. SCF pada ujung cacat bertambah tinggi dengan semakin tajamnya bentuk ujung cacat tersebut. SCC seringkali dianggap bermula pada dasar cacat/lubang.

Apabila diperlakukan cathodic protection, maka perambatan retak akan terhenti. Hal ini dapat terjadi karena proses korosi pun terhenti.

III.4.6. Klasifikasi Mekanisme

Interaksi antara bermacam-macam lingkungan, sifat dari campuran, struktur metalurgi dan lain-lain menunjukkan ketidakmungkinan dari kesatuan mekanisme untuk

stress corrosion dari semua sistem lingkungan logam. M.A. Streicher mengklasifikasikan beberapa mekanisme SCC yang mungkin beroperasi dalam sistem yang berbeda sebagai berikut :

(1). Mekanisme metalurgi

a. Dislocation complanarity

Tahanan retak untuk dislocation yang bersesuaian. Pola pada stainless steel cenderung kedalam bentuk planar.

b. Stress-aging dan microsegregation

Di dalam stress yang tersimpan dari stainless steel yang bersifat austenic, terjadi aliran plastik Jerky. Kejadian ini adalah gabungan antara pemisahan secara mikro dari senyawa mikro dari senyawa atom dan kerusakan dinamis.

c. Adsorpsion

Permukaan aktif menyerap dan berinteraksi dengan ikatan yang dibatasi pada ujung retak, menyebabkan pengurangan kekuatan ikatan dan mengarah pada perambatan retak.

(2). Mekanisme dissolution

a. Sterss-accelerated dissolution

Peran utama dari deformasi plastik adalah untuk mempercepat proses dissolution.

b. Formasi lapisan tipis pada dinding pada retak

Karena perambatan retak, lapisan tipis pada dinding retak dianggap sebagai katodik.

c. Penambahan elemen mulia

d. Pemecahan lapisan tipis

e. Pemindahan ion klorida

(3). Mekanisme hidrogen

a. Hydride formation

b. Hydrogen embrittlement

(4). Mekanisme mekanik

a. Tunnel pitting dan tearing

b. Corrosion product wedging

Yang kesemuanya dapat digambarkan sebagai berikut :

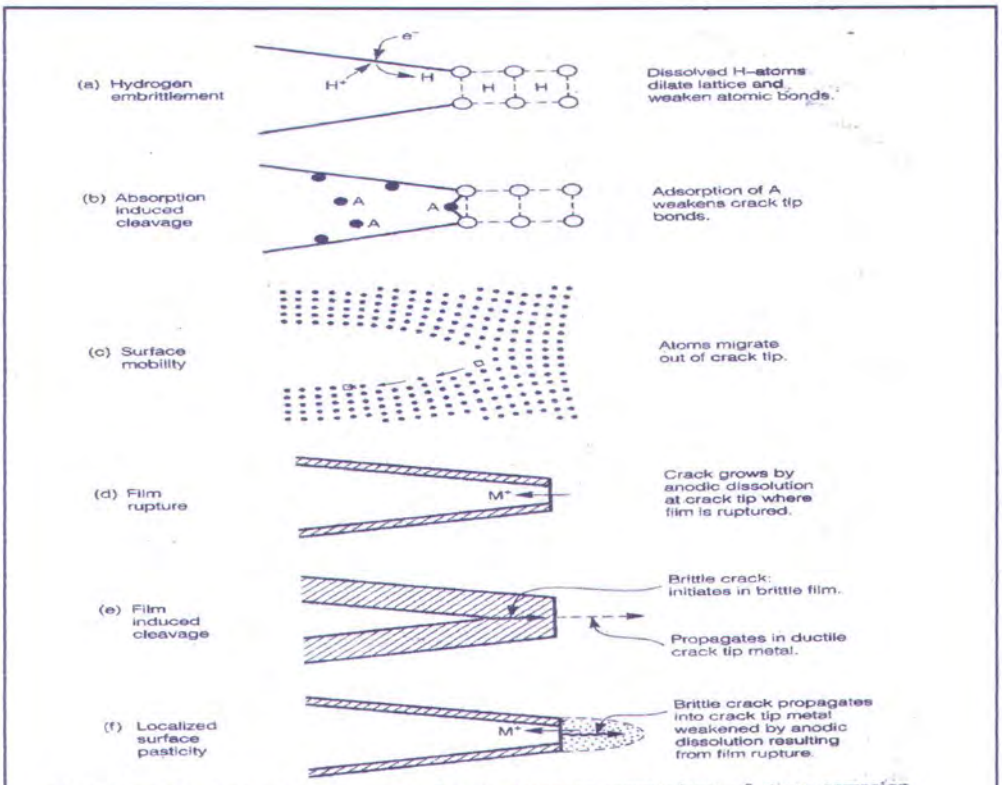


FIGURE 8.36 Schematic summary of some proposed mechanisms of stress corrosion crack growth.

Gambar III.6.Ringkasan mekanisme stress corrosion cracking

III.4.7. Proses Stress Corrosion Cracking

Proses stress corrosion terjadi dalam dua tahap:

1. Periode crack nucleation (tahap pemicu).

2. Periode crack propagation (tahap penjalaran).

III.4.7.1. Tahap Pemicuan.

Dalam tahap pertama, telah terjadi serangan terhadap bagian bagian local pada permukaan logam yang bersifat anoda, yang akibatnya timbul berupa ceruk atau lubang. Kegiatan tegangan tarik terhadap bahan dapat menimbulkan berbagai efek, dan kemungkinan yang paling mendasar adalah tegangan tarik akan menyerang kisi-kisi kristal dari material, yang semestinya dalam kesetimbangan, dan berakibat bangkitnya energi termodinamika ikatan-ikatan atom. Dan apabila efek ini terlokasi pada permukaan retak, maka anoda-anoda akan terbentuk disekitar ujung retak.

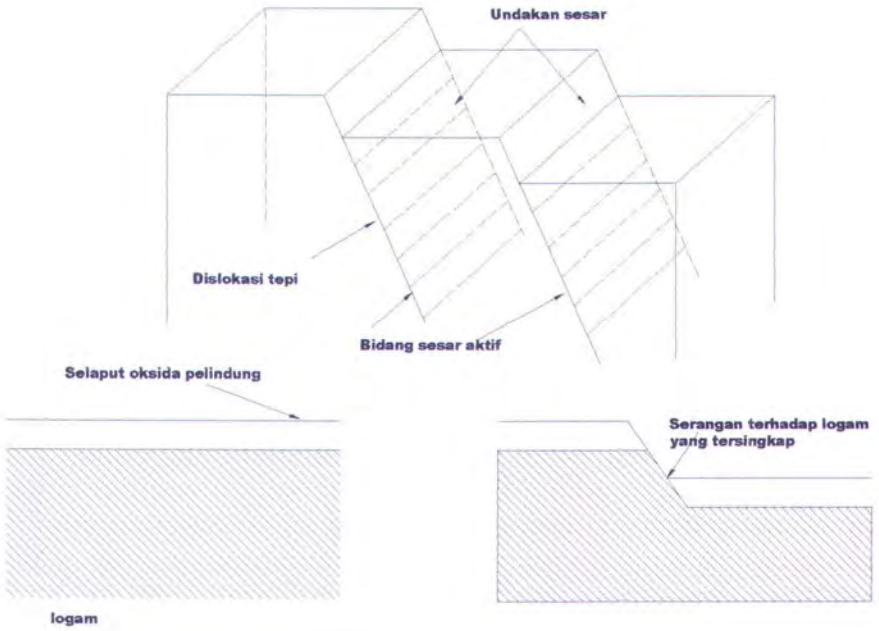
Dalam periode nucleation, korosi adalah factor utama. Korosi mulai pada permukaan ujung retak, yang dikenal sebagai korosi basah. Baik reaksi anodik dan katodik akan terjadi, yang memerlukan perbedaan potensial listrik dalam material sama. Banyak perbedaan dapat terjadi pada tingkat mikro. Sumber utama adalah pada daerah grain boundary, yang dapat menghasilkan sebuah perbedaan potensial. Perbedaan potensial juga dapat disebabkan oleh variasi dalam electrolyte (kandungan O_2). Ini diperkirakan dalam crevice corrosion dan dalam pitting corrosion.

Mekanisme peretakan lingkungan peka lingkungan (Environment Sensitive Cracking) untuk tahap pemicuan dapat dijelaskan sebagai berikut :

Begitu tegangan melebihi kekuatan luluh , bahan mengalami deformasi plastis yaitu ikatan-ikatan pada struktur kristalnya putus sehingga bentuk bahan berubah secarah permanen. Mekanisme ini dapat dianggap sebagai pembentukan atau gerak cacat (biasanya dislokasi), paling sederhana pada struktur kristalnya. Gerakan dislokasi akan terhenti apabila telah mencapai permukaan logam atau batas butir. Penumpukan dislokasi pada batas butir akan menyebabkan polarisasi anodik pada daerah ini, karena meningkatnya

ketidakteraturan dalam struktur kristal. Hal ini tidak berpengaruh terhadap fase pemicuan jika terjadi disebelah dalam bahan, tetapi paling berperan pada tahap penjalaran (yang akan dijelaskan kemudian).

Pada permukaan yang semestinya halus, kini terbentuk cacat-cacat local yang disebut undakan sesar (slip step) dan merupakan bagian pada bahan yang paling rentan terhadap serangan korosi [Fontana, 1978]. Beberapa paduan yang mempunyai selaput tipis oksida korosi atau bahan lain untuk perlindungan terhadap korosi. Meskipun dalam ukuran mikroskopik, penyingkapan permuakan logam yang dikarenakan gaya internal atau eksternal bahan atau karena tahap pemicuan menyebabkan bagian ini sangat anodik dibandingkan permukaan sekelilingnya.



Gambar III.7.Peran utama undakan sesar dalam peretakan peka lingkungan

a) Pembentukan undakan sesar pada permukaan logam oleh pergerakan dislokasi disepanjang bidang sesar aktif akibat tegangan tarik.

b) Undakan sesar pada permukaan logam yang sedang pasif meningkap daerah-daerah aktif yang dapat memicu korosi sumuran.

Jika logam mampu menjadi pasif kembali dengan cepat, maka bahaya berkurang, dan sebaliknya jika pemasifan membutuhkan waktu cukup lama maka akan memungkinkan terbentuknya korosi pada bagian yang tersingkap. Bahkan untuk logam-logam yang tidak mengalami pemasifan, pembentukan undakan-undakan sesar pada permukaaan mendatangkan masalah korosi karena ketidaksambungan struktur kristalnya sehingga menimbulkan anoda-anoda lokal.

Setelah serangan korosi telah dicapai tahap dari takik microscopikal ada perbedaan situasi [Schijve, 1982] :

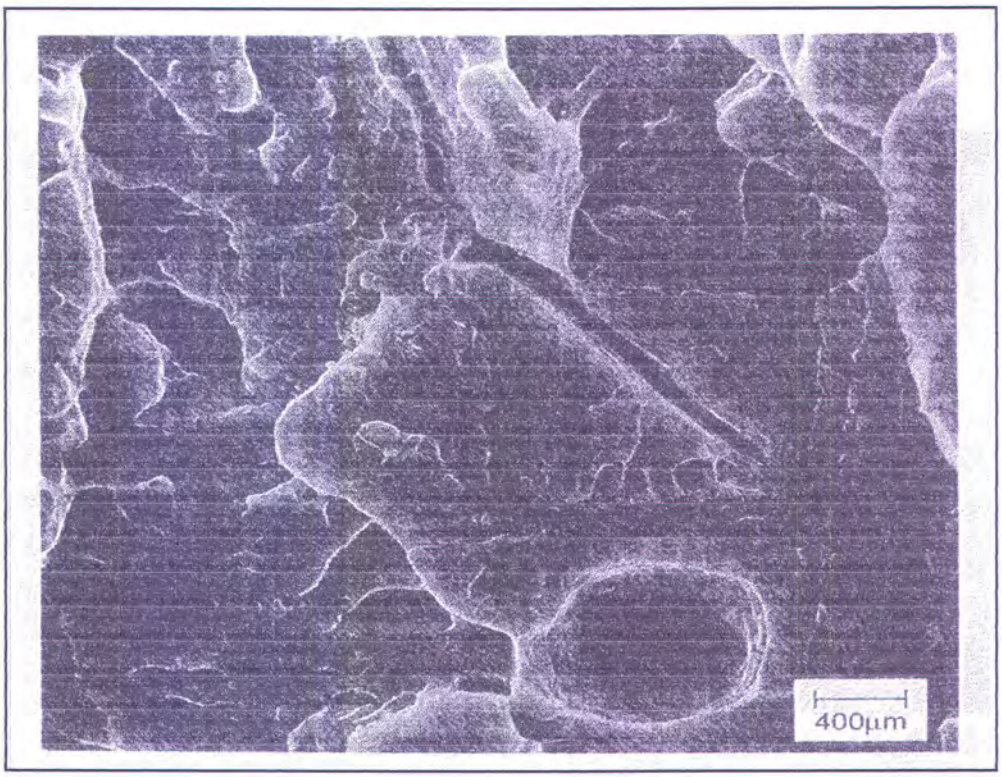
a) Micronotch akan menghasilkan stress concentration diujungnya, dan hal ini dapat mengubah potensial anodic pada ujungnya dan bisa mempercepat korosi lokal, sehingga tegangan tarik begitu penting untuk tahap berikutnya.
b) Tegangan tarik akan membuka micronotch sehingga memberi jalan ke electrolyte. Akibatnya akan membuat lebih banyak kondisi korosi yang tidak menguntungkan.

Aspek pada fase awal inilah yang tidak dapat diprediksi, mungkin terjadi dalam beberapa hari, tetapi juga dalam beberapa tahun. Para peneliti banyak beranggapan bahwa proses dalam tahap ini tidak begitu penting, karena mereka beranggapan bahwa disetiap bahan-bahan rekayasa normal, cacat dan ketidak teraturan permukaan selalu ada akibat dari proses pembuatan. Dan semua itu merupakan syarat untuk terjadinya pemicuan . Didalam penulisan tugas akhir ini tahap pemicuan sudah dianggap sudah ada, yaitu dengan memberikan retak awal masing-masing specimen (pembuatan notch dipinggir material). Sehingga dalam kasus demikian, penanganan retak hanya dalam tahap penjalarannya, sementara tahap pemicuan dianggap nol.

III.4.7.2. Tahap Penjalaran

Pada kondisi ini korosi akan diproses kepenembusan lebih jauh kedalam material, dan periode crack propagation dimulai. Tegangan tarik adalah penting karena retak tumbuh lebih cepat pada tingkat tegangan yang lebih tinggi. Tegangan tarik akan membuka retak awal yang mana memberikan electrolyte untuk masuk sampai keujung retak

Sumbangan utama dari tegangan tarik adalah menambah kecepatan pertumbuhan retak. Dalam beberapa material retak tegangan korosi tumbuh lebih atau kurang kontinue, tetapi pada material yang lain nampak terjadi dalam lompatan yang kecil. Bagaimanapun juga tegangan tarik menunjukkan kosentrasi tegangan diujung retak, dan proses ini akan merangsang proses decohesion. Seperti terlihat pada gambar dibawah ini ;



Gambar III.8.Photo mikro material pada bagian ujung retak

Banyak pendapat tentang mekanisme penjalaran retak dalam peretakan peka lingkungan, tetapi hanya tiga mekanisme yang paling umum diterapkan yaitu:

a) Mekanisme melalui lintasan aktif sudah ada sejak semula.

b) Mekanisme melalui lintasan aktif akibat regangan.

c) Mekanisme menyangkut adsorpsi.

Peretakan peka lingkungan yang teramati pada semua eksperimen ini tidak ada yang berlangsung menurut mekanisme tunggal, dan kemungkinan besar mekanisme yang manapun akan dijumpai pada kondisi berbeda.

a. Mekanisme melalui lintasan aktif sudah ada sejak semula

Dalam mekanisme ini, penjalaran retak cenderung terjadi disepanjang batas butir yang yang aktif. Mekanisme ini pada dasarnya sama seperti pada korosi intergranuler. Besar kemungkinan penumpukan dislokasi dapat menghasilkan efek yang sama, walaupun kemungkinan itu berkurang jika SCC terjadi pada tingkatan yang lebih rendah, sebab peranan tegangan tarik pada eksperimen ini bukan hanya sekedar membuat retakan tetap terbuka sehingga electrolyte dapat masuk keujungnya tetapi juga bisa membuat penambahan retak, sebab beban yang diberikan dalam bentuk beban yang berulang-ulang..

b. Mekanisme melalui lintasan aktif akibat regangan

Berlawanan denagn kasus peretakan yang didominasi oleh pengaruh korosi dengan regangan sebagai unsur pengendali. Salah satu ciri SCC adalah bahwa jika tegangan tidak ada, paduan biasanya tidak reaktif terhadap lingkungan penyebab keretakan, biasanya karena adanya selaput pelindung permukaan. Jika penjalaran retak terjadi, maka laju pertumbuhan di ujung retak tempat penguraian anodik berlangsung paling besar dibandingkan dengan bagian sisi retakan yang telah terpasifkan karena telah berhubungan dengan lingkungan lebih lama.

Mekanisme melalui lintasan yang aktif akibat regangan ini didasarkan pada pecahnya selaput karena mengalami regangan, yang diikuti penguraian logam dibagian yang pecah. Laju penjalaran retak disini ditentukan oleh tiga kriteria yang ada:

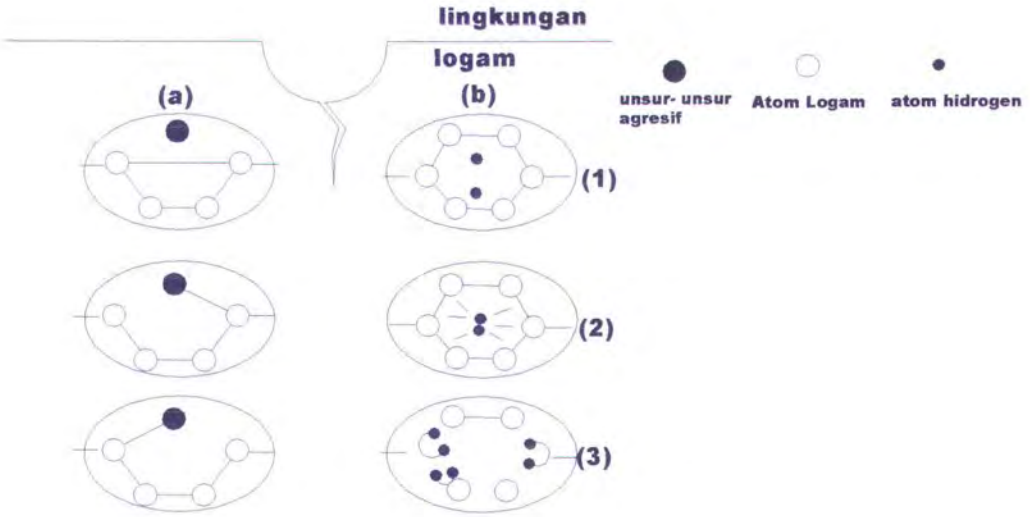
- ***Laju pecahnya selaput***. Ini ditentukan oleh laju regangan yang dialami.
- ***Laju penggantian dan pembuangan larutan diujung retak***. Proses yang dikendalikan oleh ini juga ditentukan oleh kemudahan masuknya unsur-unsur agresif keujung retakan.
- ***Laju pemasifan***. Ini merupakan persyaratan yang vital, karena jika pemasifan sangat lambat, penguraian material dapat terjadi secara berlebihan baik diujung retak maupun sisi-sisi retakan. Sehingga retak akan terjadi cukup lebar, dan akibatnya pertumbuhan retak tertahan. Kondisi yang mungkin menimbulkan peretakan adalah yang mirip dengan kondisi aktif dan pasif.

c. Mekanisme yang menyangkut absorbsi

Unsur-unsur yang menyangkut adsorbsi mengandung arti bahwa unsure-unsur aktif dalam elektrolit menurunkan integritas mekanik bagian ujung retakan, jadi memudahkan putusnya ikatan-ikatan pada tingkat energi jauh lebih rendah dari semestinya.

Ion-ion agresif yang spesifik untuk setiap kasus diperkirakan mengurangi kekuatan ikatan-ikatan antara atom logam diujung retakan akibat proses adsorbsi dan ini menyebabkan terbentuknya ikatan antara logam dan unsur-unsur agresif. Energi yang digunakan untuk mengikat antara atom logam dan unsur agresif menyebabkan berkurangnya energi ikatan logam dengan logam sehingga pemisahan secara mekanik mudah terjadi. Ion spesifik tersebut (dalam keadaan normal tidak reaktif terhadap logam)

menjadi lebih reaktif karena meningkatnya energi termodinamik diantara logam-logam akibat tegangan tarik.



Gambar III.9. Mekanisme Penjalaran Retak

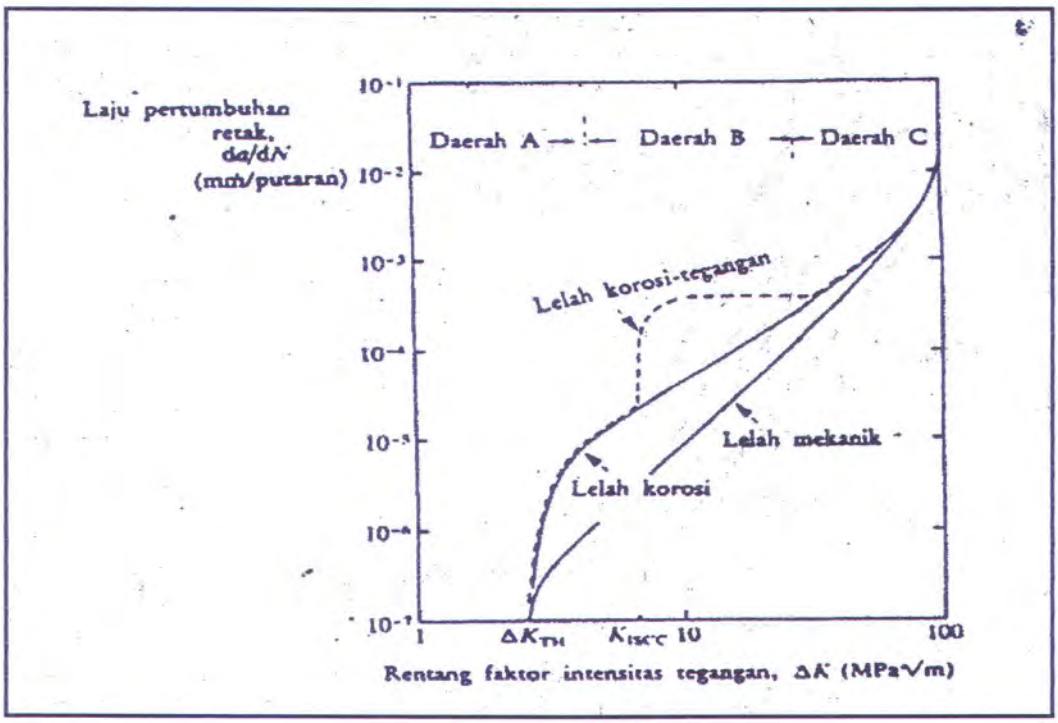
Mekanisme kedua didasarkan pada pembentukan atom-atom hydrogen akibat reduksi ion-ion hydrogen dalam retakan. Atom-atom hydrogen yang terbentuk diabdsorpsi oleh logam, dan ini diperkirakan menyebabkan pelemahan atau perapuhan ikatan logam-logam yang terletak tepat dibawah permukaan ujung retak.

Yang pertama mesyaratkan terbentuknya hibrida logam, yaitu unsur kimia diskrit yang menyebabkan kerapuhan pada logam. Kemungkinan ketiga adalah gas hidrogen terbentuk banyak sekali, atom-atom hydrogen dapat meresap kedalam baja, tetapi segera membentuk gas hidrogen dalam rongga-rongga ujung retak. Dalam molekul, hidrogen tidak dapat terdifusi melalaui kisi-kisi logam sehingga tekanan dalam rongga meningkat. Apabila waktu cukup, maka tekanan akan semakin tinggi sehingga membuat ujung retak melepuh pecah-pecah.

Perapuhan oleh mekanisme adsorbsi dianggap lebih mungkin terjadi dibandingkan perapuhan oleh tekanan hidrostatik akibat pembentukan gas hydrogen.Dan hal ini berupa asumsi dan mungkin masih bisa ditemukan asumsi lain yang mungkin lebih mendekati untuk proses pertambahan retak dengan beban dinamis dan pada lingkungan yang korosif.

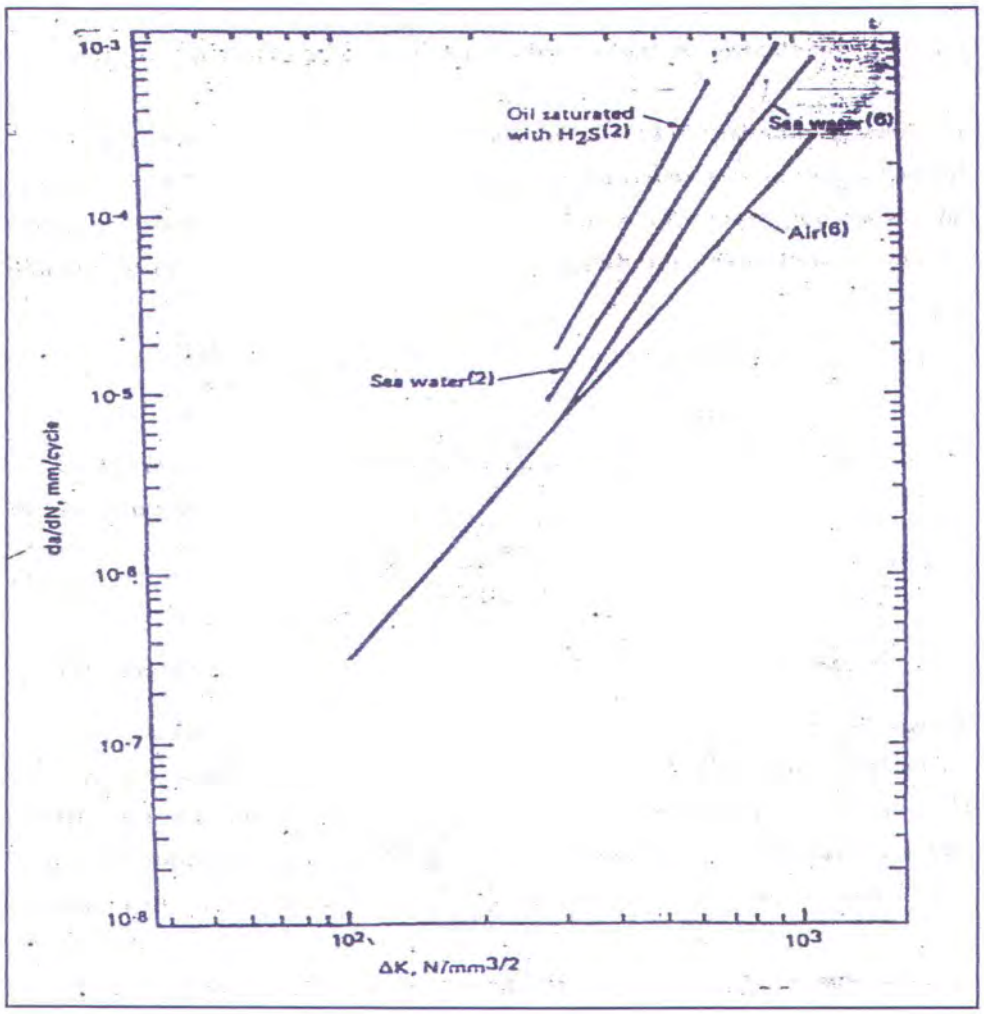
III.5. Stress Corrosion Fatique

Kegagalan karena fatique terjadi pada tegangan dibawah yield point dan setelah adanya pembebanan cyclic. Retak merambat sehingga luas penampang lintang dari logam berkurang, dan sampai pada suatu titik dimana ultimate strength dilalui dan brittle fracture terjadi secara cepat. Corrosion fatique didefinisikan sebagai penurunan dari ketahanan fatik akibat adanya media yang korosif, dan hal ini merupakan kasus khusus dari stress corrosion cracking.



Gambar III.10. Karakteristik lelah dan lelah korosi pada baja paduan rendah kondisi lembam maupun dilingkungan natrium klorida berair

Pengaruh lingkungan material menyebabkan penambahan kecepatan retak suatu material, dimana untuk berbagi jenis kondisi lingkungan juga membawa perbedaan kecepatan laju retak pada suatu material. Sebagai salah satu contoh adalah pengaruh air laut terhadap kecepatan retak struktur baja yang dapat dilihat pada gambar 3.10. oleh Bristoll [Ashby, 1989],



Dalam grafik terlihat kecenderungan penurunan pengaruh air laut dengan pengurangan kecepatan rambat retak. Ini dimungkinkan mekanisme dissolution dominan dan menyebabkan blunting crack, sehingga menaikan threshold dalam air laut, yang mana ini membuktikan bahwa ada threshold dari pendekatan fatique.

Pengaruh air laut (buatan) dan air laut + H_2S terhadap perambatan retak dalam struktur baja dapat kita lihat pada hasil penelitian yang dilakukan oleh P. Bristoll and J.A.Roeleveld (gambar 3.12 dan 3.13). Dari percobaan yang dilakukan tersebut didapatkan hubungan pertumbuhan retak dalam air laut dengan stress intesitas :

$$\frac{da}{dN} = 1.10x10^{-13}\Delta K^{3.29} \quad \text{.....[3.1]}$$

Sedangkan untuk percobaan yang dilakukan pada air laut dan H_2S didapatkan hubungan pertumbuhan retak :

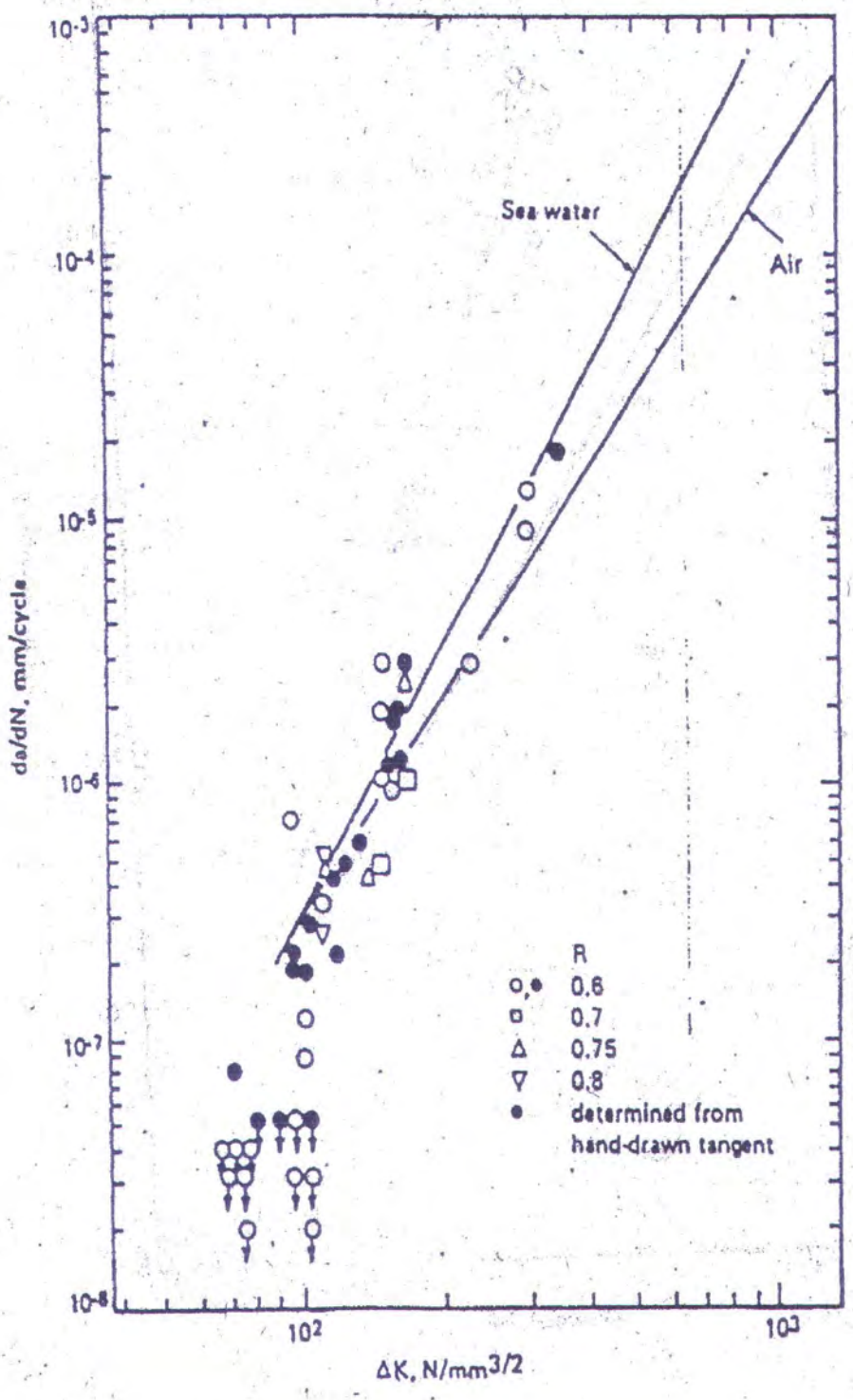
$$\frac{da}{dN} = 1.08x10^{-16}\Delta K^{4.96} \quad \text{.....[3.2]}$$

Penyelidikan sistematik pertama kali pengaruh lingkungan dan variable beban dari pertumbuhan retak fatik dibawah K dilakukan dalam 12Ni-5Cr-3Mo baja maraging (yield strength = 180 ksi) dalam 3 % NaCl. Data menunjukkan bahwa lingkungan dari pertumbuhan retak fatik terjadi dibawah K (gambar 3.13) dan besar dari percepatan ini tergantung dari frekuensi cyclic

Hasil test dalam temperatur ruang , lingkungan udara dan temperatut ruang 3 % Sodium klorida ditunjukkan :

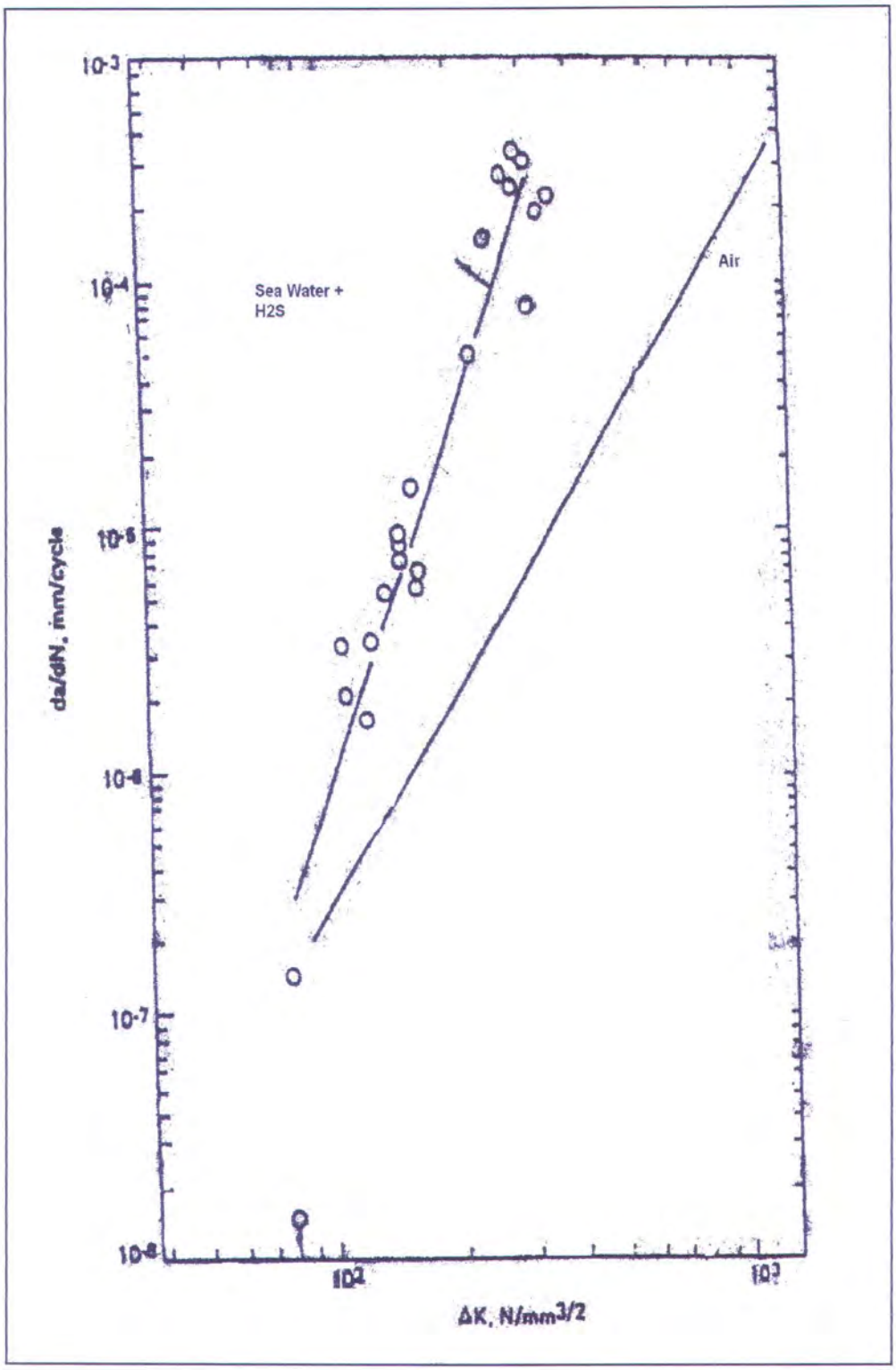
$$\frac{da}{dN} = D(l)(\Delta K)^2 \quad \text{.....[3.3]}$$

Laju pertambahan retak dalam air laut oleh P. Bristoll and J.A.Roeleveld :



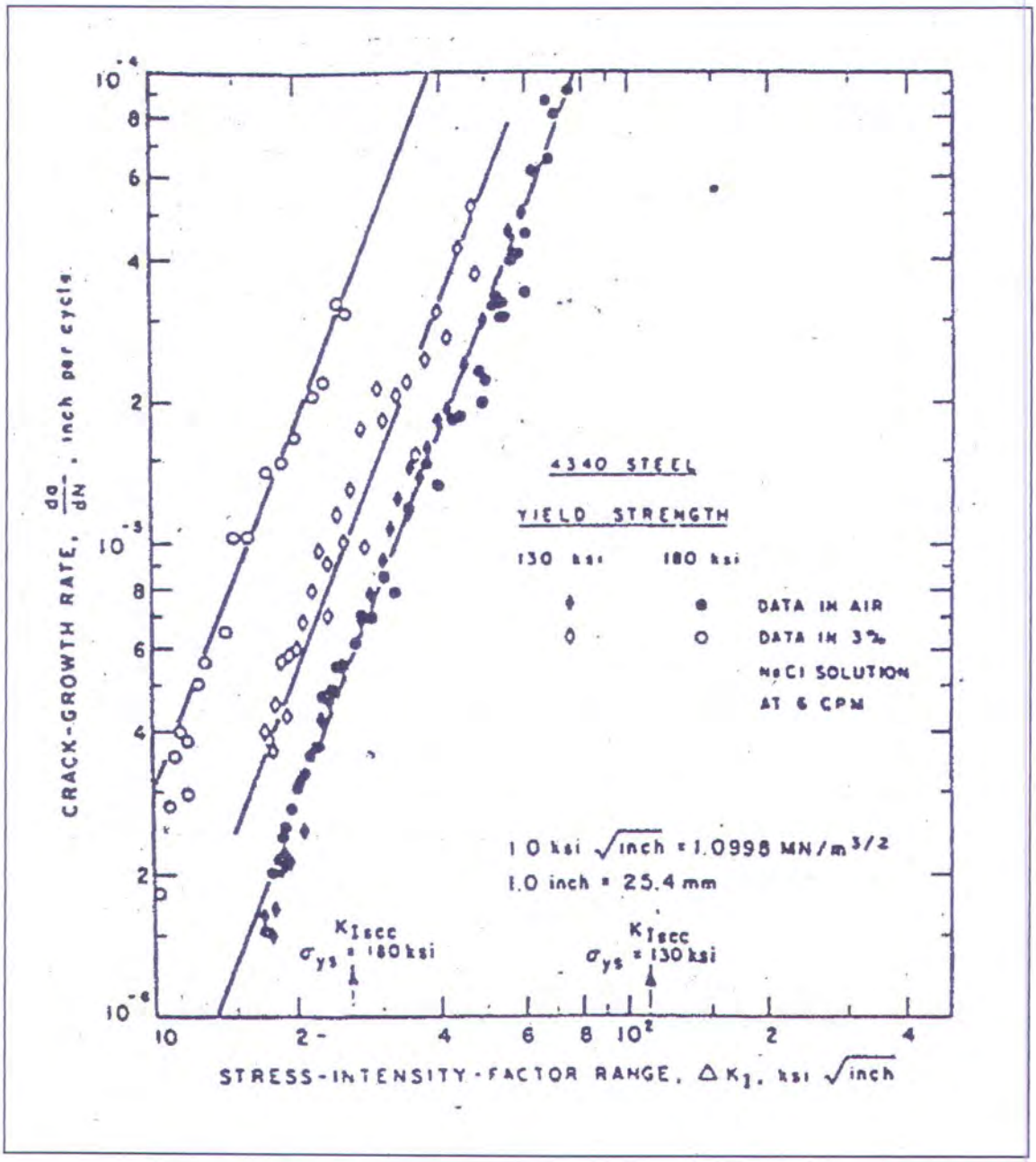
Gambar III.12. Penjalaran retak dalam air laut

PERPUSTAKAAN ITS



Gambar III.13. Penjalaran retak dalam air laut jenuh

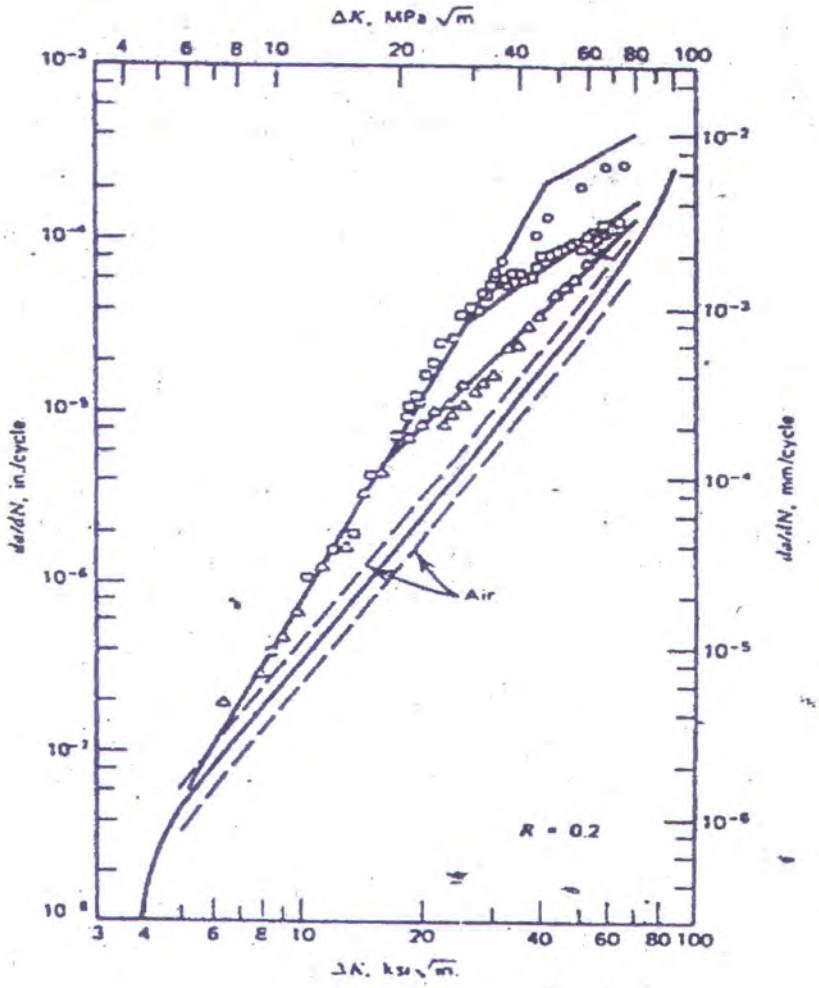
Sedangkan Imhof dan Barsom menemukan bahwa dengan yield strength dalam baja 4340 maka kecepatan pertumbuhan retak lelah korosi bertambah dalam 3 % NaCl (lihat gambar 3.14.). Kecepatan pertumbuhan retak dalam udara untuk dua baja adalah sama K_{ISCC} untuk dua baja dan semua data pertumbuhan retak lelah korosi didapatkan pada tingkat tegangan dibawah harga masing-masing itu.



Gambar III.14. Pertumbuhan retak lelah korosi untuk baja 4340 dalam 3 5 NaCl

Didalam retak lelah korosi, factor frekkuensi sangat memegang peranan penting untuk penambahan kecepatan penambahan retak. Hal ini tidak lain karena besar kecilnya harga frekuensi pembebanan yang digunakan akan mengakibatkan lama tidaknya waktu interaksi antara lingkungan yang korosif dengan bahan tersebut.

Pengaruh dari frekuensi diselidiki oleh Vosikovsky, ditunjukkan dalam gambar 3.14. untuk X-65 baja pipa dalam 3.5 % air laut. Kecepatan rambat retak yang tinggi pada frekuensi yang lebih rendah , tetapi hanya pada harga ΔK yang lebih tinggi.



Mekanisme perambatan retak suatu specimen dalam media lingkungannya dapat diklasifikasikan dalam tiga hal : [Brodjonegoro, 1987]:

- Apabila $K_I < K_{ISCC}$ ..... Tidak akan terjadi kegagalan meskipun komponen berada dalam lingkungan yang korosif.
- Apabila $K_{iscc} < KI < KIC$..... Terjadi Perambatan Retak akibat pembebanan dan lingkunganyang korosif.
- Apabila $KI > KIC$ ..... Terjadi kegagalan dalam suatu struktur.

BAB IV

PELAKSANAAN PENGUJIAN

BAB IV

PELAKSANAAN PENGUJIAN

IV.1. PENDAHULUAN

Pengujian yang dilakukan adalah pengujian fatique dalam media udara dan media NaCl dengan menggunakan tiga macam bentuk pembebanan, yaitu ; bentuk segitiga, sinusoidal dan segiempat. Pengujian ini untuk mengamati laju penjalaran retak pada baja SS-41 secara visual, yang diberikan beban dinamis dengan amplitudo beban yang berubah-ubah berdasarkan ratio beban yang digunakan untuk tiap spesimen uji,dimana ratio beban yang digunakan untuk tiap media dan beban uji dari setiap spesimen uji adalah : 0; 0,2; 0,3; 0,5; 0,8.

Pada pengujian fatique ini pada tiap cycle tertentu akan dilakukan pencatatan pertambahan retak dari spesimen uji, dimana dari masing-masing ratio diberikan cycle pembebanan sebanyak 12.000 kali. Pengujian akan dihentikan apabila telah mencapai cycle pembebanan yang telah direncanakan yaitu 60.000 cycle atau material telah patah sebelum mencapai batas cycle tersebut.

Proses kelelahan struktur dapat dibedakan menjadi dua :

1. crack initiation, proses ini meliputi proses slip pada struktur mikro material sampai terjadi retak awal.
2. crack propagation, proses ini merupakan proses lanjutan setelah terjadi initial crack.

Retak awal pada pengujian fatique ini (crack initiation) dianggap telah ada atau telah terjadi yaitu dengan membuat retak awal buatan sesuai dengan yang disyaratkan oleh standard pengujian yang dipakai (ASTM E 647), sel;anjutnya pengamatan difokuskan pada proses penjalaran retak.

Dari pengujian ini akan didapatkan data pertambahan retak, jumlah cycle pembebanan dan rentang pembebanan dari setiap proses pembebanan untuk masing-masing bentuk beban dan media uji. Dari data-data tadi dapat ditentukan rentang faktor intensitas tegangan (stress intensity faktor range) dan selanjutnya dapat dianalisa dalam bentuk grafik intensitas tegangannnya.

Sebelum dilakukan pengujian fatique dilakukan pengujian tarik untuk mengetahui sifat-sifat mekanis dari material yang akan diuji. Hasdil yang didapatkan adalah tegangan yield, teganfgan ultimate dan elangation dari benda uji. Standard yang digunakan dalam uji tarik adalah ASTM E 8. Hal yang penting dari uji tarik ini adalah tegangan yield yang akan digunakan untuk menentukan besar kecilnya pembebanan dinamis yang akan diterima oleh material dalam pengujian fatique berikutnya.

Setelah melakukan pengujian tarik, maka selanjutnya dilakukan kalibrasi mesin uji guna mendapatkan penyesuaian dari mesin uji statis dengan mesin uji dinamis. Dari proses kalibrasi akan didapatkan suatu persamaan garis yang dapat digunakan untuk mengetahui beban yang bekerja dari mesin uji dinamis.

Pengujian dilakukan dilaboratorium konstruksi, laboratorium produksi dan teknologi mekanik FTK_ITS. Peralatan utama yang digunakan adalah mesin uji statis- dinamis. Pada pengujian tarik dilakukan dengan mesin uji statis disertai dengan peralatan pendukungnya, diantaranya adalah : jangka sorong, kertas milimeter block, kikir, dan lain-lain. Untuk mengamati pertambahan retak pada pengujian fatique dengan mesin uji dinamis, digunakan teleskop ukur dan kaca pembesar. Persiapan dan pelaksanaan pengujian seluruhnya dilakukan oleh mahasiswa dibantu oleh teknisi laboratorium dan atas arahan dosen pembimbing.

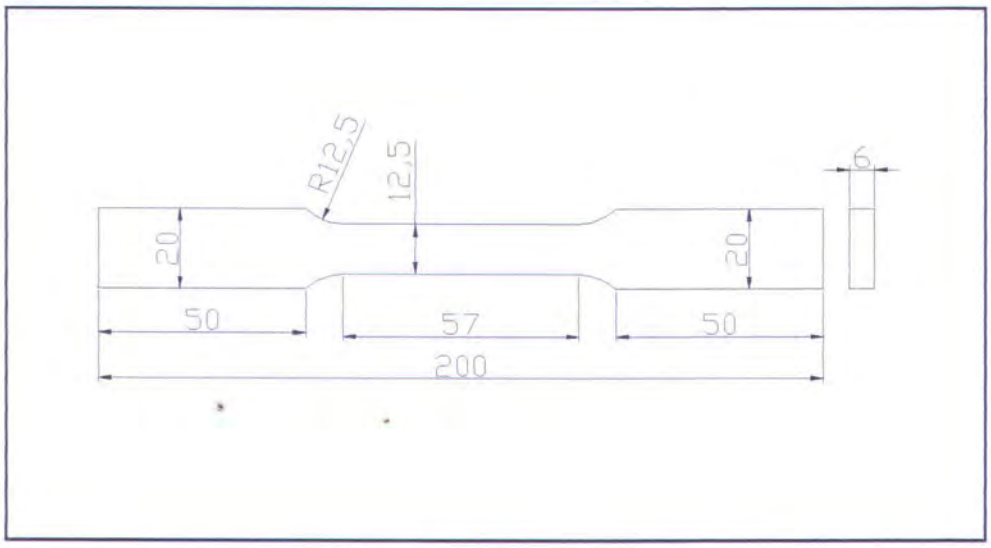
IV.2. PERSIAPAN PENGUJIAN

IV.2.1. Pembuatan Benda Uji

Benda uji dibuat berdasarkan standard uji ASTM, yaitu ASTM E 8 untuk uji tarik dan ASTM E 647 untuk uji fatique. Material yang digunakan adalah baja lunak (mild steel) jenis SS-41.

IV.2.1.1. Material Uji Tarik

Berdasarkan standard uji ASTM E 647 maka dipilih bentuk spesimen type sheet yang mensyaratkan ketebalan material uji antara 0,13 ~ 15 mm, maka digunakan material uji dengan ketebalan 6 mm. Proses pembuatannya dimulai dengan mengukur panjang dan lebar berdasarkan syarat yang digunakan, kemudian pelat dipotong dengan gergaji dengan melebihkan ukuran sebesar ± 1 mm. Untuk mendapatkan bentuk sesuai yang disyaratkan, pengerjaan kemudian dilanjutkan dengan menggunakan mesin sekrap, diperhalus dengan kikir dan kertas gosok. Bentuk dan ukuran spesimen uji seperti pada gambar IV.1.



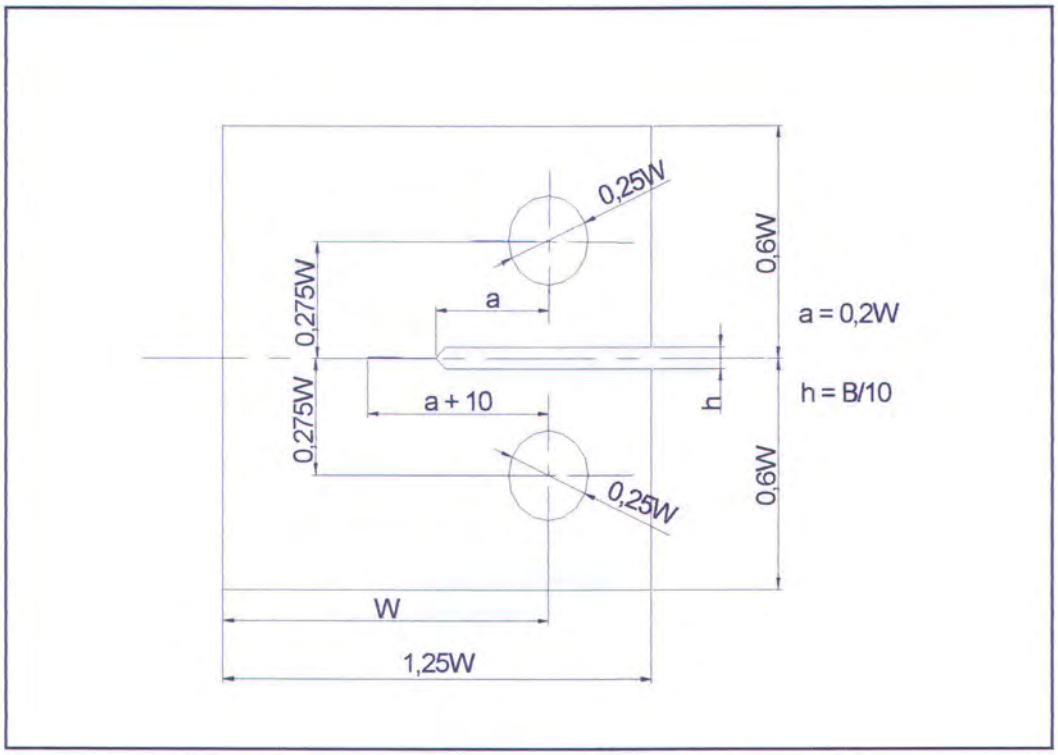
Gambar IV.1 Bentuk dan ukuran spesimen uji tarik E 8

IV.2.1.2. Material Uji Lelah

Pada standard uji fatique dalam ASTM E 8 terdapat dua jenis bentuk spesimen:

- Compact Tension (CT)
- Centre Crack Tension (CCT)

Untuk memudahkan proses pengujian dan pengamatan ,maka dipiligh type Compact tension (CT). Pada type ini spesimen memiliki retak awal ditepi (crack edge). Untuk type CCT, retak berawal ditengah yang mana lebih sulit dalam proses pembuatan dan pengamatan selama proses pengujian. Bentuk dan ukuran spesimen Compact Tension ini dapat dilihat pada gambar IV.2.



Gambar IV.2. Standard bentuk dan ukuran spesimen uji fatique untuk type compact tension ASTM E 647

Ukuran dalam spesimen adalah fungsi dari lebar spesimen (W), dalam perencanaan ini ditentukan W = 100 mm, sedangkan ukuran lainnya adalah fungsi dari lebar spesimen. Pada penentuan tebal spesimen disyaratkan bahwa :

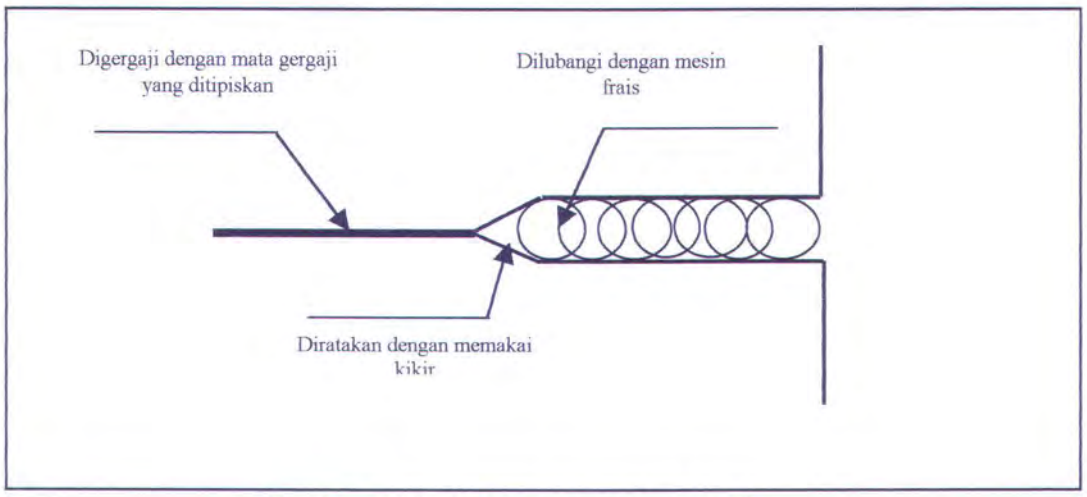
$$\frac{W}{20} \leq B \leq \frac{W}{4}$$

Berdasarkan hal ini spesimen tebal spesimen dibatasi :

$$5 \leq B \leq 20$$

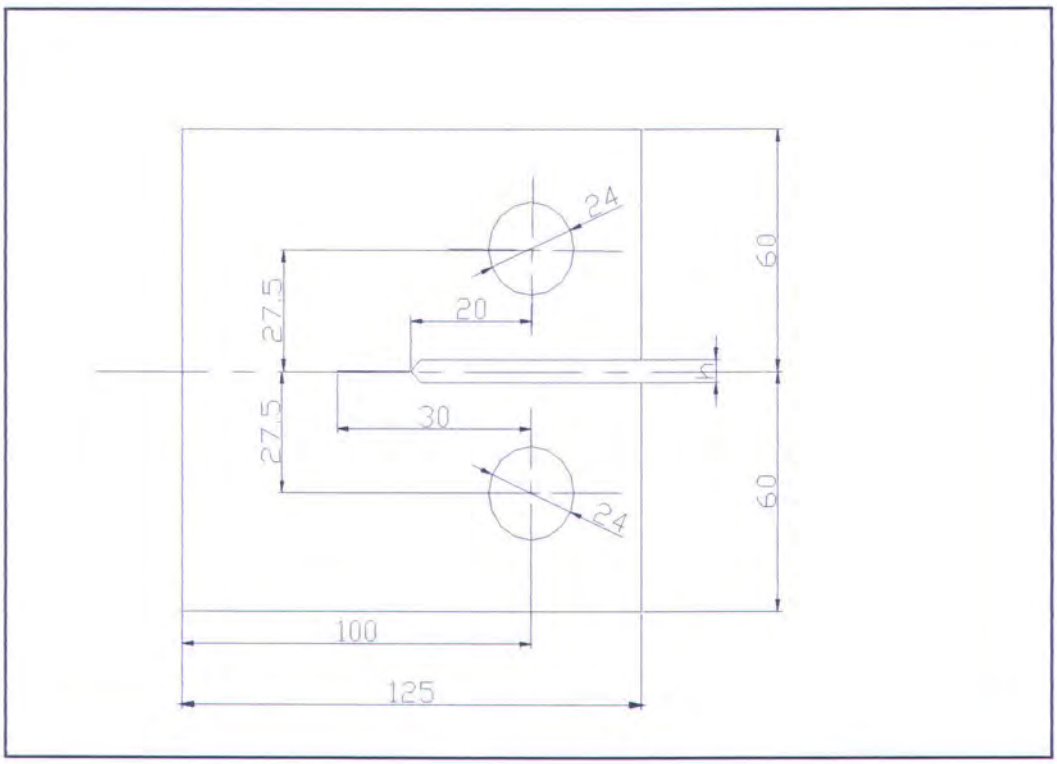
Maka spesimen uji fatique dipilih ketebalan 6 mm guna menyamakan ketebalan dengan uji tarik tetapi masing masuk dalam batasan yang ditentukan diatas. Didalam perencanaan diameter lubang pin terdapat pengecualian dimana dalam persyaratan disebutkan diameter lubang pin adalah 0,25W = 25 mm, sedangkan diameter pin dalam mesin uji fatique adalah 20 mm. Untuk meyesuaikan maka dipilih ukuran yang sama dengan dilaboratorium, diasumsikan bahwa tidak terjadi perubahan yang berarti pada pin dan pusat pembebanan (klem penggemgam).

Proses pengerjaan spesimen dimulai setelah penentuan ukuran selesai, termasuk dengan penyesuaian-penyesuain yang harus dilakukan. Ukuran spesimen yang telah disesuaikan seperti pada gambar IV.4.



Gambar IV.3. Proses pengerjaan notch

Proses pengerjaan gambar diatas diawali dengan pekerjaan frais, dengan diameter pahat sesuai dengan lebar dari notch, setelah itu dikikir untuk mendapatkan hasil yang lebih halus dan presisi. Pada ujung takikan tadi dibuatkan lagi takikan yang lebih kecil yaitu dibuat dengan menggunakan gergaji yang telah ditipiskan sampai ketebalan ± 0,5 mm.



Gambar IV.4. Ukuran dan bentuk specimen uji fatique

IV.2.2. Kalibrasi

Pelaksanaan kalibrasi bertujuan untuk mendapatkan kesetaraan antara loadcell pada specimen uji statis dengan mesin uji dinamis. dengan melakukan serangkaian kalibrasi dapat ditentukan beban kerja pada mesin uji dinamis, dengan mengamati angka digital yang ditunjukkan pada indikator beban mesin dinamis. Kalibrasi dilakukan dengan memasang load cell pada mesin uji statis, kemudian diberikan beban statis dan dilakukan pengamatan angka pada indikator beban pada setiap kenaikan beban 1 Kilo Newton. Untuk

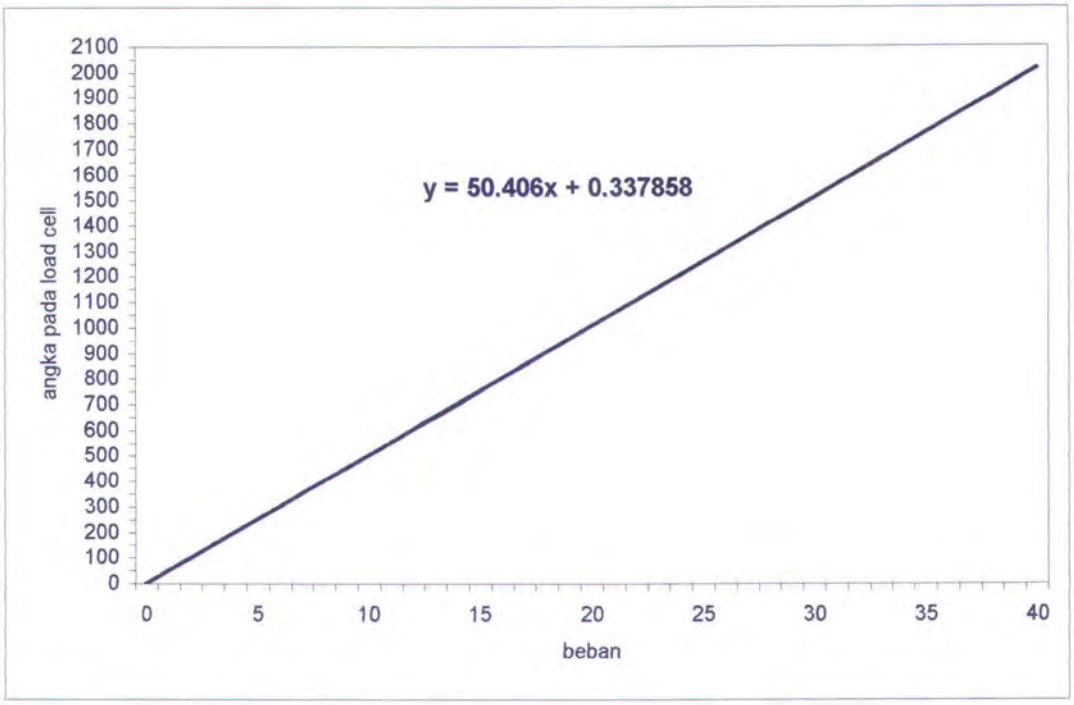
mendapatkan hasil yang akurat, proses ini dilakukan sebanyak dua kali. Dari hasil kalibrasi beban tersebut dapat dibuat persamaan garis. Data-data yang didapatkan dari pengujian kalibrasi seperti dibawah ini :

Beban Statis (KN)	Pengamatan pada strain indikator	
	Strain Indicator I	Strain Indicator II
0	0	1
1	51	55
2	97	106
3	155	153
4	203	206
5	251	256
6	300	308
7	353	356
8	405	406
9	451	454
10	502	505
11	555	556
12	605	605
13	651	652
14	701	704
15	752	751
16	805	803
17	852	854
18	906	903
19	959	959
20	1009	1007

Beban Statis (KN)	Pengamatan pada strain indikator	
	Strain Indicator I	Strain Indicator II
21	1059	1058
22	1107	1108
23	1159	1158
24	1208	1209
25	1260	1259
26	1308	1305
27	1360	1360
28	1410	1410
29	1460	1462
30	1510	1511
31	1562	1561
32	1616	1613
33	1664	1665
34	1714	1716
35	1765	1764
36	1815	1815
37	1864	1865
38	1912	1914
39	1964	1964
40	2016	2015

Tabel IV.1. Data Kalibrasi Beban

Dari data table diatas, dengan menggunakan regresi linear didapatkan persamaan garis antara indicator load cell dengan beban statisnya. Grafik yang menyatakan hubungan antara beban statis dan load cell adalah sebagai berikut:



GrafikIV.1. Regresi linear data Kalibrasi

IV.3. PELAKSANAAN PENGUJIAN

IV.3.1. Pengujian Tarik

Pengujian tarik untuk mendapatkan sifat mekanis (mechanical property) mataerial SS-41, yang meliputi : tegangan yield, tegangan ultimate dan elangation.Data-data tersebut digunakan untuk menentukan besarnya pembebanan yang akan diberikan pada spesimen uji lelah. Data yang utama digunakan adalah data tegangan yield material, dan berikut ini adalah table yang berisi data pengujian tarik dari material jenis SS-41. Adapun metodologi pengujian dapat dilihat pada lampiran :

Visual	Spesiflkasi Sample			Uji Tarik		
	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm^2)	σ yield (kN/mm^2)	σ ultimate (kN/mm^2)	elangation (%)
baik	12,5	6	75	0,2645	0.42	33,33

Tabel IV.2. Hasil uji tarik

IV.3.2. Pengujian kelelahan / Fatique

IV.3.2.1. Beban Uji

Pada pengujian kelelahan ini dilakukan untuk mengetahui perilaku perambatan retak pada berbagai macam bentuk pembebanan dan membandingkannya dalam dua media pengujian yang berbeda pula, yaitu pada media udara dan semprotan larutan NaCL., dimana dalam rentang satu pengujian peneliti memberikan lima macam stress ratio yaitu: R = 0; R = 0,2; R = 0,3; R = 0,5; R = 0,8. Prosedur pengujian menggunakan standar uji ASTM E 647 dengan bentuk pembebanan ; sinusoidal, segitiga dan segiempat

Pada beberapa penelitian, penggunaan beban maksimum berkisar antara 10 ~ 78% dari beban yield. Dari pengujian tarik penguji mendapatkan data tegangan yield dari material, maka beban maksimum yang diguakan dalam pengujian adalah sebagai berikut ;

Tegangan Yield (σ_{yield}) = 0,2645 kN/mm^2

Tegangan maksimum yang digunakan ;

Dimensi luasan sisa:

1. Panjang yang tidak retak(l) = 70 mm
2. Tebal (t) = 6 mm
3. Luas (A) = l.t = 420 mm^2

$\sigma_{applied}$ = 11 % x σ_{yield}

= 0,11 x 0,2645

= 0, 02857 kN/mm^2

$F_{applied}$ = A x $\sigma_{applied}$

= 420 x 0.02857

= 12 kN

Dari kalibrasi mesin uji dinamis telah didapatkan persamaan dimana kita dapat menetukan konversi beban dalam uji kelelahan. Persamaan kalibrasi sebagai berikut :

$Y = 50.406X + 0.337858$

Y = angka penunjuk beban dalam strain indicator

X = beban applied (kN)

Jadi beban maksimum dalam strain indicator :

$Y = 50,406 (12) + 0,337858$

$= 605.209858 \approx 600$

Pada penelitian ini, penggunaan stress ratio dalam satu siklus percobaan berfungsi untuk mengetahui counture (bentuk permukaan patahan retak) pertambahan retak pada patahan retak apabila terjadi fatique dibandingkan dengan hasil pengamatan dengan menggunakan teleskop ukur, dengan demikian akan dipunyai data pembanding jika terjadi kesalahan pada waktu pengukuran dengan teleskop ukur. Penentuan harga stress ratio yang berbeda-beda dapat dilakukan dengan mengubah harga maksimum atau minimum pembebanan, tetapi pada pengujian ini dilakukan dengan mengubah harga minimum dari pembebanan.

Berkaitan dengan rentang pembebanan frekuensi 2 Hz mempunyai harga yang paling besar yaitu ± 500 yang ditunjukkan pada strain indicator (Langgeng Saika). Untuk itu dipilih frekuensi 2 Hz sebagai frekuensi pengujian. Pada pengujian fatique ini direncanakan terdapat 6 specimen uji dimana kesemuanya akan mendapatkan frekuensi pembebanan, besar beban dan ratio pembebanan yang sama. Tetapi dari keenam spesimen tersebut akan dikenai media pengujian dan bentuk pembebanan yang berbeda, seperti terlihat dalam table dibawah ini ;

No Specimen	Media penguji	Bentuk pembebanan	Ratio beban	Min beban	Max beban
I	udara	sinusoidal	0,0	0	600
			0,2	120	600
			0,3	180	600
			0,5	300	600
			0,8	480	600
II	udara	segitiga	0,0	0	600
			0,2	120	600
			0,3	180	600
			0,5	300	600
			0,8	480	600
III	udara	segiempat	0,0	0	600
			0,2	120	600
			0,3	180	600
			0,5	300	600
			0,8	480	600
IV	Semprotan NaCl	sinusoidal	0,0	0	600
			0,2	120	600
			0,3	180	600
			0,5	300	600
			0,8	480	600
V	Semprotan NaCl	segitiga	0,0	0	600
			0,2	120	600
			0,3	180	600
			0,5	300	600
			0,8	480	600
VI	Semprotan NaCl	segiempat	0,0	0	600
			0,2	120	600
			0,3	180	600
			0,5	300	600
			0,8	480	600

Tabel IV.3. Pembebanan Pada spesimen

IV.3.2.2. Prosedur Pengamatan Retak

Pengukuran panjang retak pada setiap pengamatan yang disyaratkan ASTM E647 adalah sebagai berikut :

$$\Delta a \leq 0.04\ W \text{ untuk } 0.25 \leq \frac{a}{W} \leq 0.4$$

$\Delta a \leq 0.02\ W$ untuk $0.40 \leq \frac{a}{W} \leq 0.6$

$\Delta a \leq 0.01\ W$ untuk $\frac{a}{W} \geq 0.6$

Berdasarkan persyaratan diatas dengan retak awal yang diguanakan ao = 30 mm, maka batas pengukuran awal yang diijinkan (W= 100) adalah :

$\Delta a \leq 0.04\,(100)\text{mm}$

$\Delta a \leq 4\ \text{mm}$

BAB V

ANALISA HASIL PENGUJIAN

BAB V

PERHITUNGAN DAN ANALISA HASIL PENGUJIAN

V.1. PENDAHULUAN

Setelah melakukan serangkaian pengujian fatique dengan tiga bentuk pembebanan yang telah ditentukan, yaitu sinusoidal, segitiga dan segiempat dengan stress ratio yang sama pada masing-masing bentuk beban, dan pada dua media pengujian yang berbeda yaitu udara dan larutan NaCl (dengan jalan disemprotkan pada bagian yang retak) didapatkan data-data hasil percobaan yang berupa : pertambahan retak (Δa), besarnya pembebanan (ΔP) dan jumlah cycle pembebanan yang diterima (N) oleh material SS-41. Dengan menggunakan dasar teori yang telah dijelaskan di bab sebelumnya , data-data tersebut diolah dan dianalisa. Dalam pelaksanaan pengujian ini terdapat kekurangan-kekurangan yang mungkin menyebabkan data yang didapatkan tidak sesuai dengan hipotesa awal , dan factor yang mungkin bisa mengurangi ketelitian hasil pengujian adalah sebagai berikut ;

- Bentuk spesimen uji tidaklah sama antara satu dengan yang lain, terutama pada bagian ujung awal retak yang dikarenakan proes pembuatan spesimen.
- Factor manusia, yaitu ketelitian pada waktu pembacaan pertambahan retak dengan menggunakan teleskop ukur.
- Faktor peralatan uji, yaitu kurang presisinya harga pembebanan yang ditunjukkan pada strain indikator pada mesin uji fatique dengan input pembebanan yang diinginkan, hal ini tidak lain karena pemberian range pembebanan dilakukan dengan cara manual.

Metode yang digunakan dalam analisa hasil pengujian adalah membandingkan hasil perhitungan dari pengamatan dengan dasar teori yang ada kemudian dilakukan analisa

untuk menunjukkan keterkaitan dan perbedaan antara keenam pengujian tersebut. Data analisa yang didapat bukan data yang dapat digunakan langsung dalam penentuan umur fatique suatu bahan, hal ini dikarenakan banyak factor yang mempengaruhi kecepatan perambatan retak dan umur fatique life suatu bahan dalam lingkungan yang sebenarnya. Dan apa yang dilakukan adalah sebagai masukan dan wacana untuk menentukan dan merencanakan kelelahan suatu struktur.

V.2. PERHITUNGAN DATA HASIL PENGUJIAN

Proses kerja yang dilakukan untuk mendapatkan data ialah dengan jalan pengamatan dan pecatatan, yang meliputi ; penambahan panjang retak , rentang pembebanan (beban maksimum dan minimum) yang dipakai dalam pengujian, dan jumlah cycle pembebanan yang diberikan pda specimen uji. Dan dari data tersebut dilakukan perhitungan:

- Rentang factor intensitas tegangan ΔK.
- Laju perambatan retak da/dN

Perhitungan diatas dilakukan untuk harga stress ratio yang diberikan pada masing-masing specimen uji, yang selanjutnya dilakukan korelasi antara bentuk pembebanan dengan media yang digunakan dengan varibel hasil perhitungan diatas yang diwujudkan dalam bentuk grafik.

V.2.1. Perhitungan Kecepatan Perambatan Retak

Persamaan Paris Erdogan digunakan untuk perhitungan perambatan retak untuk daerah B, yaitu daerah perambatan retak tingkat menengah . Pada daerah ini tingkat penjalaran retak mempunyai laju perambatan retak 10^{-8}~10^{-6} m/cycle. Berdasarkan

standard uji ASTM E 647 data yang didapat mempunyai laju perambatan retak lelah diatas 10^{-8} m/cycle.

Table dibawah ini merupakan harga maksimum dam minimum laju perambatan dari masing-masing specimen uji untuk tiap tiap ratio pembebanan:

NO Specimen	Bentuk Beban	Media uji	Stress Ratio	Laju Perambatan Retak (m/cycle)	
				Minimum	Maksimum
I	Sinusoidal	udara	0,0	2.33333E-07	8.56667E-07
			0,2	1.46667E-07	4.20E-07
			0,3	9.66667E-08	3.83333E-07
			0,5	5.00E-08	1.90E-07
			0,8	3.66667E-08	5.66667E-08
II	Segitiga	udara	0,0	2.16667E-07	8.8E-07
			0,2	3.66667E-07	5.63333E-07
			0,3	1.46667E-07	5.06667E-07
			0,5	9.66667E-08	1.76667E-07
			0,8	5.00E-08	8.33333E-08
III	Persegi	udara	0,0	2.06667E-07	4.53333E-07
			0,2	1.36667E-07	2.53333E-07
			0,3	7.00E-08	2.63333E-07
			0,5	3.33333E-08	1.20E-07
			0,8	2.00E-08	5.00E-08
IV	sinusoidal	NaCl	0,0	3.70E-07	1.16E-06
			0,2	9.8E-07	2.50E-06
			0,3	-	-
			0,5	-	-
			0,8	-	-
V	Segitiga	NaCl	0,0	4.23333E-07	1.94E-06
			0,2	1.90E-06	4.36E-06
			0,3	-	-
			0,5	-	-
			0,8	-	-
VI	Persegi	NaCl	0,0	4.1E-07	6.20E-07
			0,2	2.53333E-07	3.93333E-07
			0,3	9.33333E-08	1.30E-07
			0,5	4.00E-08	1.40E-07
			0,8	2.33333E-08	5.00E-08

Tabel V.1. Harga maksimum dan minimum laju perambatan retak
Dari setiap harga stress ratio

Dengan melihat harga maksimum dan minimum dari laju penjalaran retak tabel diatas, maka kriteria penjalaran retak menengah dapat dipenuhi, yaitu sebesar 10^{-8}~ 10^{-6} m/cycle. Selanjutnya dilakukan perhitungan besarnya rentang factor intensitas tegangan

atau Stress Intensity Factor (SIF), ΔK, untuk tiap-tiap stress ratio pada masing-masing bentuk pembebanan dan media yang diberikan.

Harga □actor intensitas tegangan untuk jenis specimen Compact tension dapat dihitung dengan menggunakan formula sebagai berikut :

$$\Delta K = \frac{\Delta K(2+\alpha)}{B\sqrt{W}(1-\alpha)^{\frac{3}{2}}}\left[0.866 + 4.64\alpha - 13.32\alpha^2 + 14.72\alpha^3 - 5.6\alpha^4\right]$$

Dimana :

$\alpha = \frac{a}{W}$, dan $\Delta P = P_{max} - P_{min}$ untuk harga $R \geq 0$ dan harga ini valid untuk $\frac{a}{W} \geq 0.2$

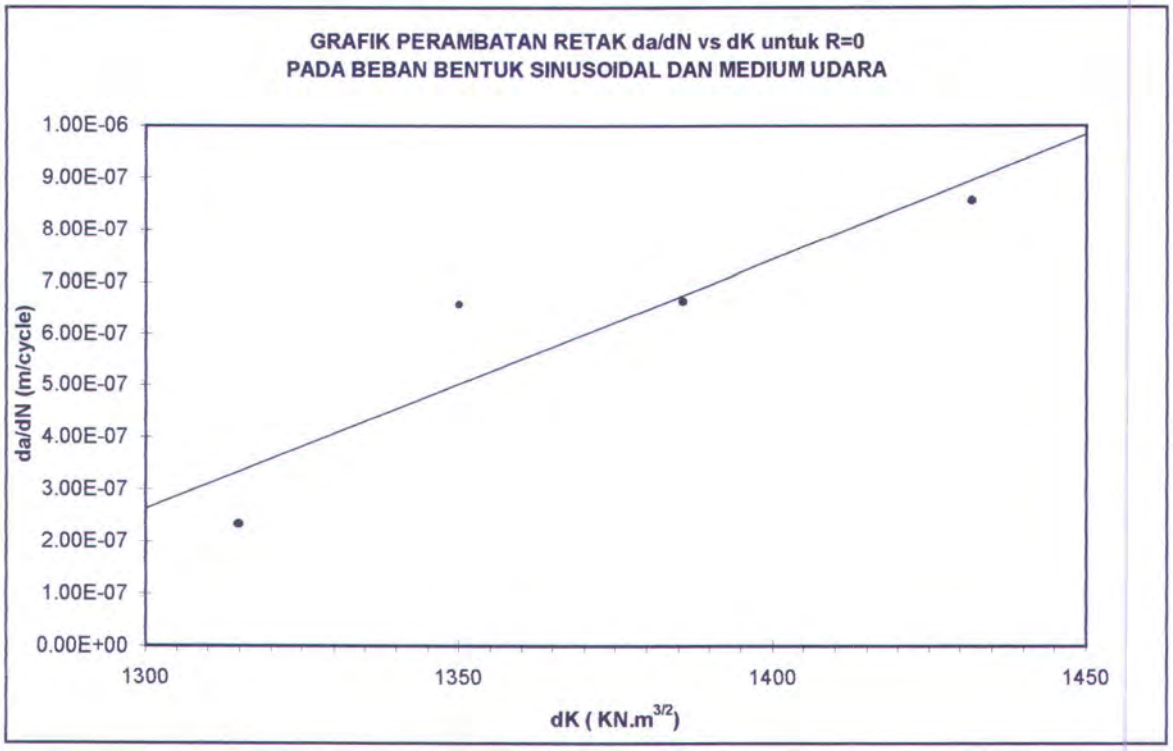
Dibawah ini adalah gambar grafik dan data hasil perhitungan untuk setiap stress ratio pembebanan:

1. Pembebanan Sinusoidal dan Medium Udara untuk R = 0,0

R = 0,0 Pmax : 12 KN Pmin : 0 KN											
No	N (cycle)	dN (cycle)	a (m)	da (m)	da/dN (m/cycle)	a/W	Kmax ($kN.m^{1/2}$)	Kmin ($kN.m^{1/2}$)	dK ($kN.m^{1/2}$)	log (dK) ($kN.m^{1/2}$)	log (da/dN) (m/cycle)
0	0	-	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-
1	3000	3000	0.0307	7.0E-04	2.33E-07	0.307	1314.7122	0	1314.7122	3.118831	-6.632023215
2	6000	3000	0.0327	2.0E-03	6.57E-07	0.3267	1350.18192	0	1350.1819	3.130392	-6.182655029
3	9000	3000	0.0347	2.0E-03	6.63E-07	0.3466	1385.75919	0	1385.7592	3.141688	-6.178268178
4	12000	3000	0.0372	2.6E-03	8.57E-07	0.3723	1431.83673	0	1431.8367	3.155893	-6.067188131

Tabel V.2. Laju Perambatan Retak dan Faktor Intensitas Tegangan

Untuk Beban sinusoidal, Medium Udara, R = 0,0



Grafik V.1. Perambatan retak da/dN vs dK untuk

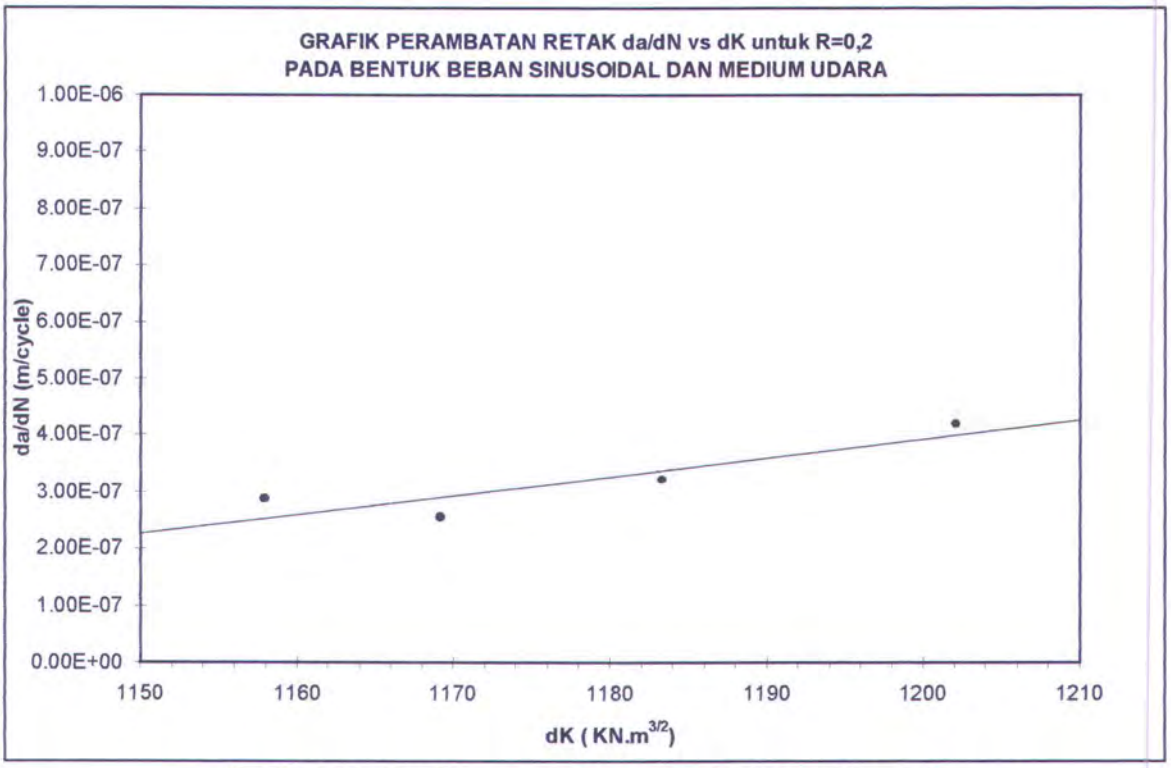
Beban sinusoidal, Medium Udara, R = 0,0

2. Pembebanan Sinusoidal dan Medium Udara untuk R = 0,2

R = 0,2 Pmax : 12 KN Pmin : 2,4 KN											
No	N (cycle)	dN (cycle)	a (m)	da (m)	da/dN (m/cycle)	a/W	Kmax ($kN.m^{1/2}$)	Kmin ($kN.m^{1/2}$)	dK ($kN.m^{1/2}$)	log (dK) ($kN.m^{1/2}$)	log (da/dN) (m/cycle)
5	15000	3000	0.0381	8.6E-04	2.87E-07	0.3809	1447.40025	289.480051	1157.9202	3.063679	-6.542622803
6	18000	3000	0.0389	7.7E-04	2.57E-07	0.3886	1461.43509	292.287018	1169.1481	3.06787	-6.59063053
7	21000	3000	0.0398	9.6E-04	3.2E-07	0.3982	1479.09819	295.819637	1183.2785	3.073087	-6.494850022
8	24000	3000	0.0411	1.3E-03	4.20E-07	0.4108	1502.62472	300.524943	1202.0998	3.079941	-6.37675071

Tabel V.3. Laju Perambatan Retak dan Faktor Intensitas Tegangan

Untuk Beban sinusoidal, Medium Udara, R = 0,2



Grafik V.2. Grafik perambatan retak da/dN vs dK untuk

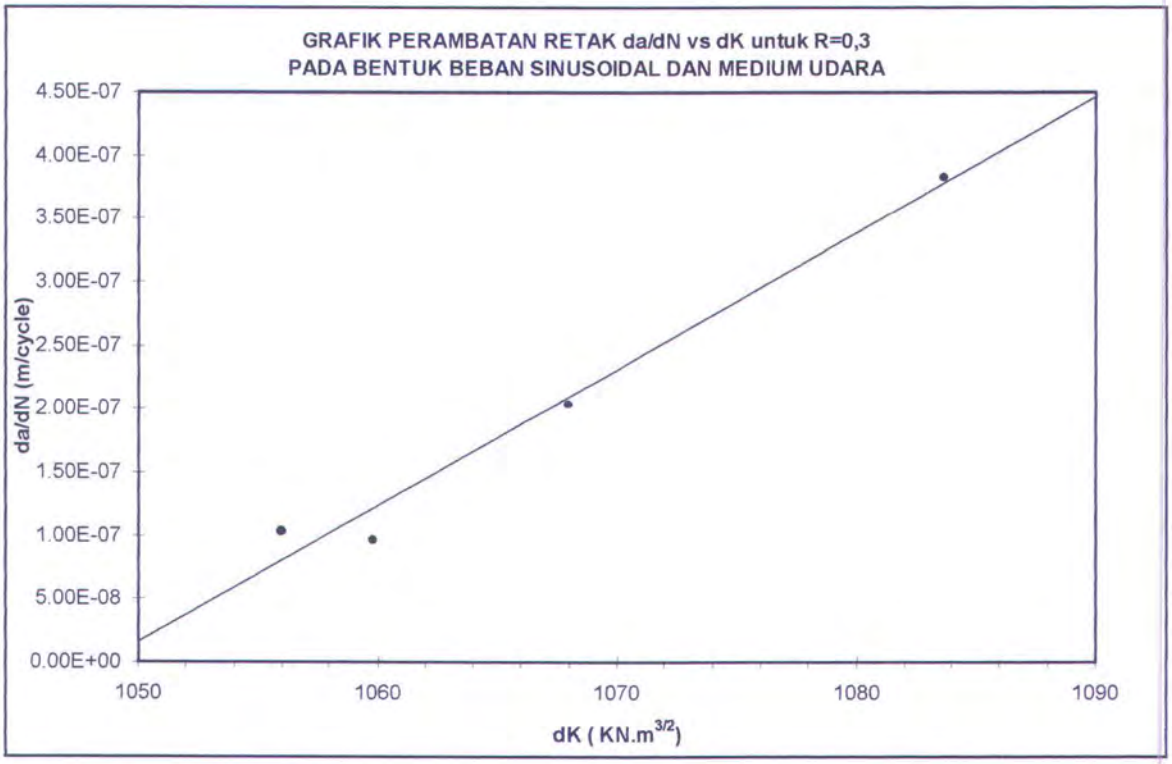
Beban sinusoidal, Medium Udara, R = 0,2

3. Pembebanan Sinusoidal dan Medium Udara untuk R = 0,3

R = 0,3 Pmax : 12 KN Pmin : 3,6 KN											
No	N (cycle)	dN (cycle)	a (m)	da (m)	da/dN (m/cycle)	a/W	Kmax ($kN.m^{1/2}$)	Kmin ($kN.m^{1/2}$)	dK ($kN.m^{1/2}$)	log (dK) ($kN.m^{1/2}$)	log (da/dN) (m/cycle)
9	27000	3000	0.0414	3.1E-04	1.03E-07	0.4139	1508.48272	452.544817	1055.9379	3.023638	-6.985759561
10	30000	3000	0.0417	2.9E-04	9.67E-08	0.4168	1513.99039	454.197118	1059.7933	3.025221	-7.014723257
11	33000	3000	0.0423	6.1E-04	2.03E-07	0.4229	1525.66819	457.700456	1067.9677	3.028558	-6.69179142
12	36000	3000	0.0434	1.2E-03	3.83E-07	0.4344	1548.06113	464.418339	1083.6428	3.034886	-6.416423414

Tabel V.4. Laju Perambatan Retak dan Faktor Intensitas Tegangan

Untuk Beban sinusoidal, Medium Udara, R = 0,3



Grafik V.3. Grafik perambatan retak da/dN vs dK untuk

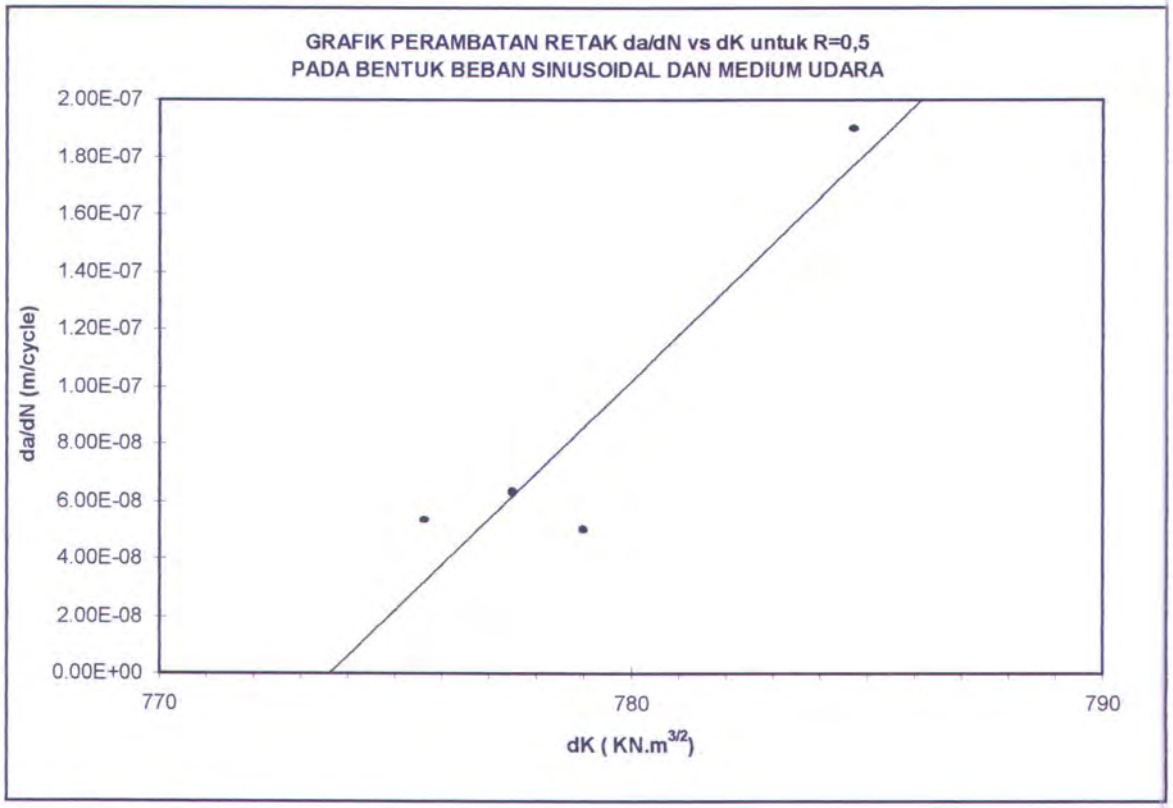
Beban sinusoidal, Medium Udara, R = 0,3

4. Pembebanan Sinusoidal dan Medium Udara untuk R = 0,5

R = 0,5 Pmax : 12 KN Pmin : 6 KN											
No	N (cycle)	dN (cycle)	a (m)	da (m)	da/dN (m/cycle)	a/W	Kmax ($kN.m^{1/2}$)	Kmin ($kN.m^{1/2}$)	dK ($kN.m^{1/2}$)	log (dK) ($kN.m^{1/2}$)	log (da/dN) (m/cycle)
13	39000	3000	0.0436	1.6E-04	5.33E-08	0.436	1551.21929	775.609646	775.60965	2.889643	-7.273001272
14	42000	3000	0.0438	1.9E-04	6.33E-08	0.4379	1554.98402	777.492011	777.49201	2.890696	-7.198367654
15	45000	3000	0.0439	1.5E-04	5.00E-08	0.4394	1557.96746	778.983732	778.98373	2.891528	-7.301029996
16	48000	3000	0.0445	5.7E-04	1.90E-07	0.4451	1569.3988	784.6994	784.6994	2.894703	-6.721246399

Tabel V.5. Laju Perambatan Retak dan Faktor Intensitas Tegangan

Untuk Beban sinusoidal, Medium Udara, R = 0,5



Grafik V.4. Grafik perambatan retak da/dN vs dK untuk

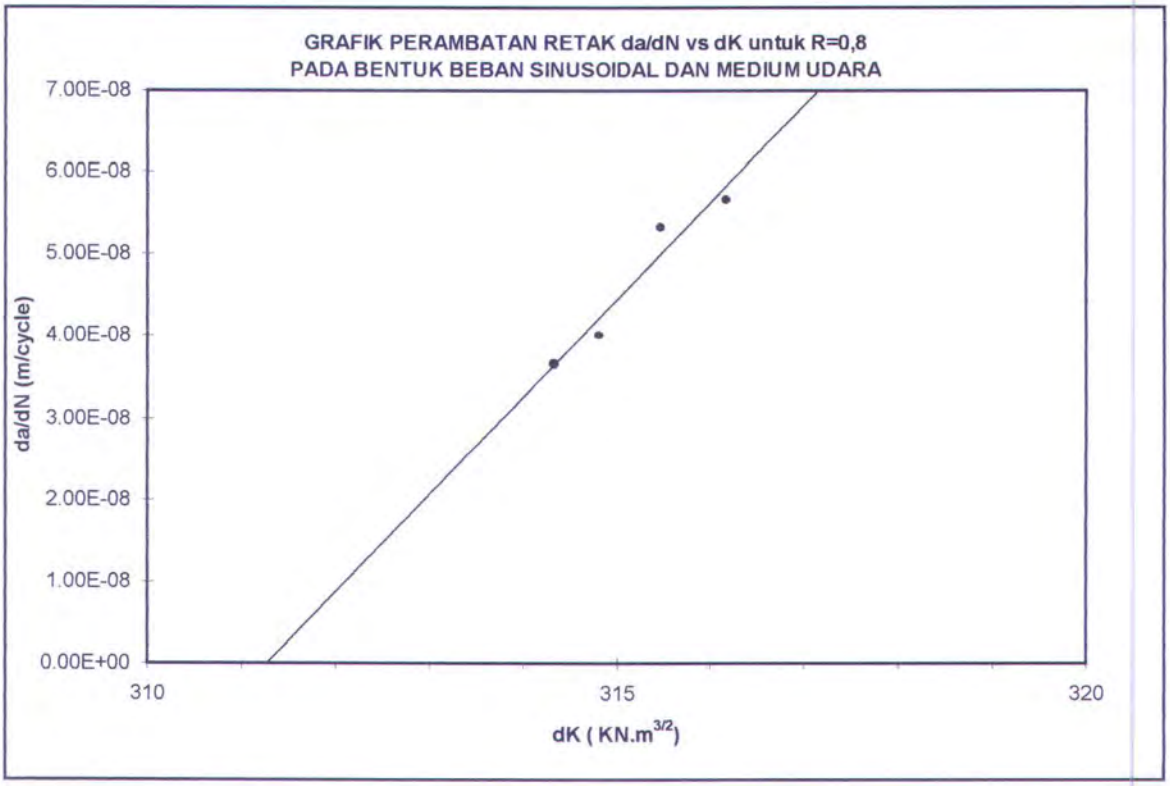
Beban sinusoidal, Medium Udara, R = 0,4

5. Pembebanan Sinusoidal dan Medium Udara untuk R = 0,8

R = 0,8 Pmax : 12 KN Pmin : 9,6 KN											
No	N (cycle)	dN (cycle)	a (m)	da (m)	da/dN (m/cycle)	a/W	Kmax ($kN.m^{1/2}$)	Kmin ($kN.m^{1/2}$)	dK ($kN.m^{1/2}$)	log (dK) ($kN.m^{1/2}$)	log (da/dN) (m/cycle)
17	51000	3000	0.0446	1.1E-04	3.67E-08	0.4462	1571.6226	1257.29808	314.32452	2.497378	-7.43572857
18	54000	3000	0.0447	1.2E-04	4.00E-08	0.4474	1574.05532	1259.24426	314.81106	2.49805	-7.397940009
19	57000	3000	0.0449	1.6E-04	5.33E-08	0.449	1577.31009	1261.84807	315.46202	2.498947	-7.273001272
20	60000	3000	0.0451	1.7E-04	5.67E-08	0.4507	1580.78246	1264.62597	316.15649	2.499902	-7.246672333

Tabel V.6. Laju Perambatan Retak dan Faktor Intensitas Tegangan

Untuk Beban sinusoidal, Medium Udara, R = 0,8



Grafik V.5. Grafik perambatan retak da/dN vs dK untuk

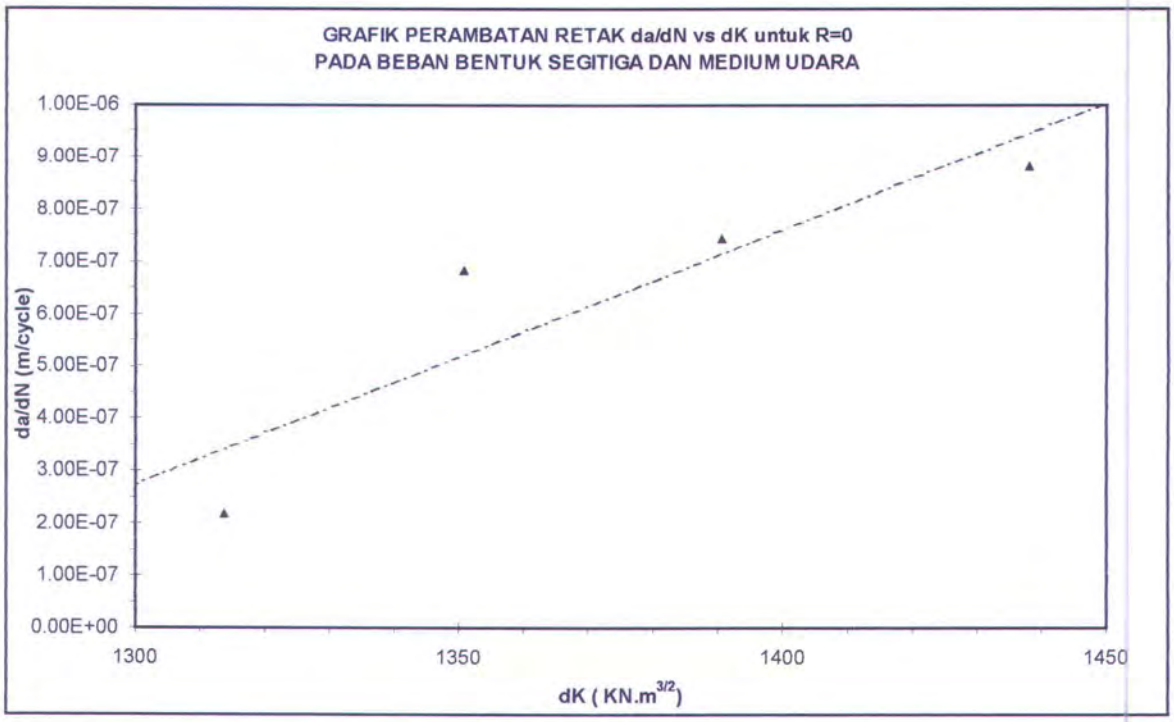
Beban sinusoidal, Medium Udara, R = 0,8

6. Pembebanan Segitiga dan Medium Udara untuk R = 0,0

R = 0,0 Pmax : 12 KN Pmin : 0 KN											
No	N (cycle)	dN (cycle)	a (m)	da (m)	da/dN (m/cycle)	a/W	Kmax ($kN.m^{1/2}$)	Kmin ($kN.m^{1/2}$)	dK ($kN.m^{1/2}$)	log (dK) ($kN.m^{1/2}$)	log (da/dN) (m/cycle)
0	0	-	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-
1	3000	3000	0.0307	6.5E-04	2.17E-07	0.3065	1313.80616	0	1313.8062	3.118531	-6.664207898
2	6000	3000	0.0327	2.1E-03	6.83E-07	0.327	1350.71939	0	1350.7194	3.130565	-6.165367394
3	9000	3000	0.0349	2.2E-03	7.43E-07	0.3493	1390.58351	0	1390.5835	3.143197	-6.128816392
4	12000	3000	0.0376	2.6E-03	8.8E-07	0.3757	1437.97736	0	1437.9774	3.157752	-6.055517328

Tabel V.7. Laju Perambatan Retak dan Faktor Intensitas Tegangan

Untuk Beban segitiga, Medium Udara, R = 0,0



Grafik V.6. Grafik perambatan retak da/dN vs dK untuk

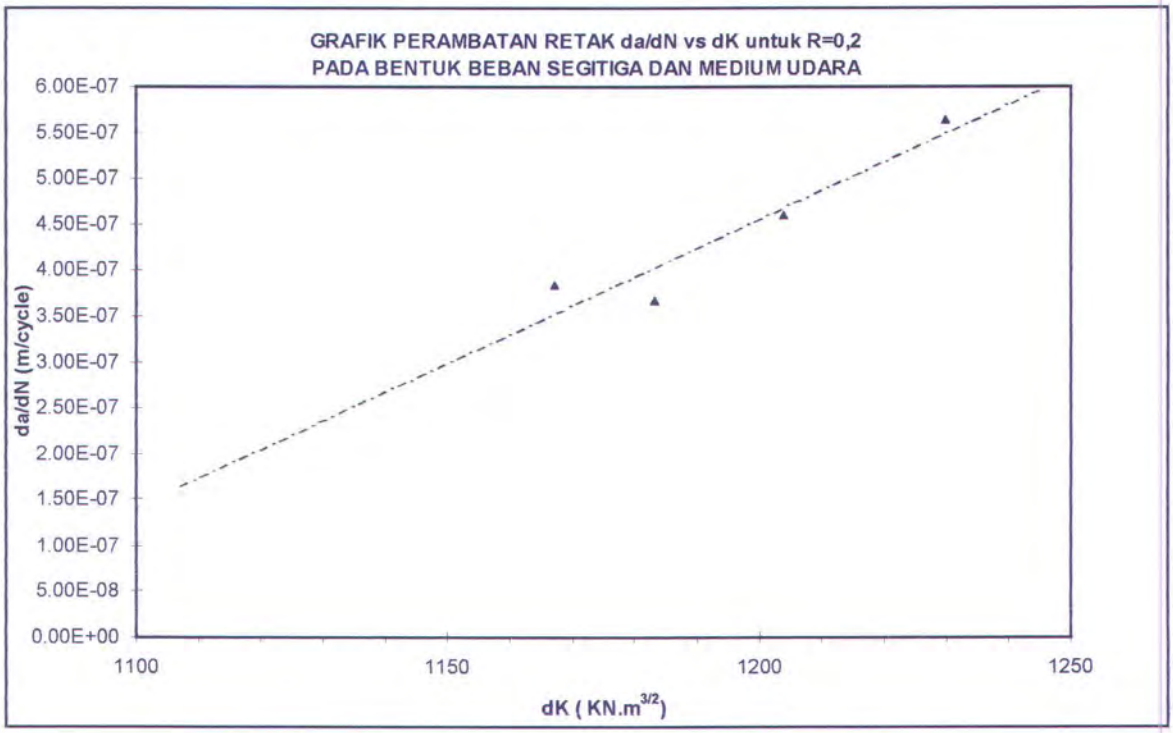
Beban segitiga, Medium Udara, R = 0,0

7. Pembebanan Segitiga dan Medium Udara untuk R = 0,2

R = 0,2 Pmax : 12 KN Pmin : 2,4 KN											
No	N (cycle)	dN (cycle)	a (m)	da (m)	da/dN (m/cycle)	a/W	Kmax ($kN.m^{1/2}$)	Kmin ($kN.m^{1/2}$)	dK ($kN.m^{1/2}$)	log (dK) ($kN.m^{1/2}$)	log (da/dN) (m/cycle)
5	15000	3000	0.0387	1.2E-03	3.83E-07	0.3872	1458.87528	291.775056	1167.1002	3.067108	-6.416423414
6	18000	3000	0.0398	1.1E-03	3.67E-07	0.3982	1479.09819	295.819637	1183.2785	3.073087	-6.43572857
7	21000	3000	0.0412	1.4E-03	4.60E-07	0.412	1504.88881	300.977761	1203.911	3.080594	-6.337242168
8	24000	3000	0.0429	1.7E-03	5.63E-07	0.4289	1537.28644	307.457288	1229.8292	3.089845	-6.24923455

Tabel V.8. Laju Perambatan Retak dan Faktor Intensitas Tegangan

Untuk Beban segitiga, Medium Udara, R = 0,2



Grafik V.7 Grafik perambatan retak da/dN vs dK untuk

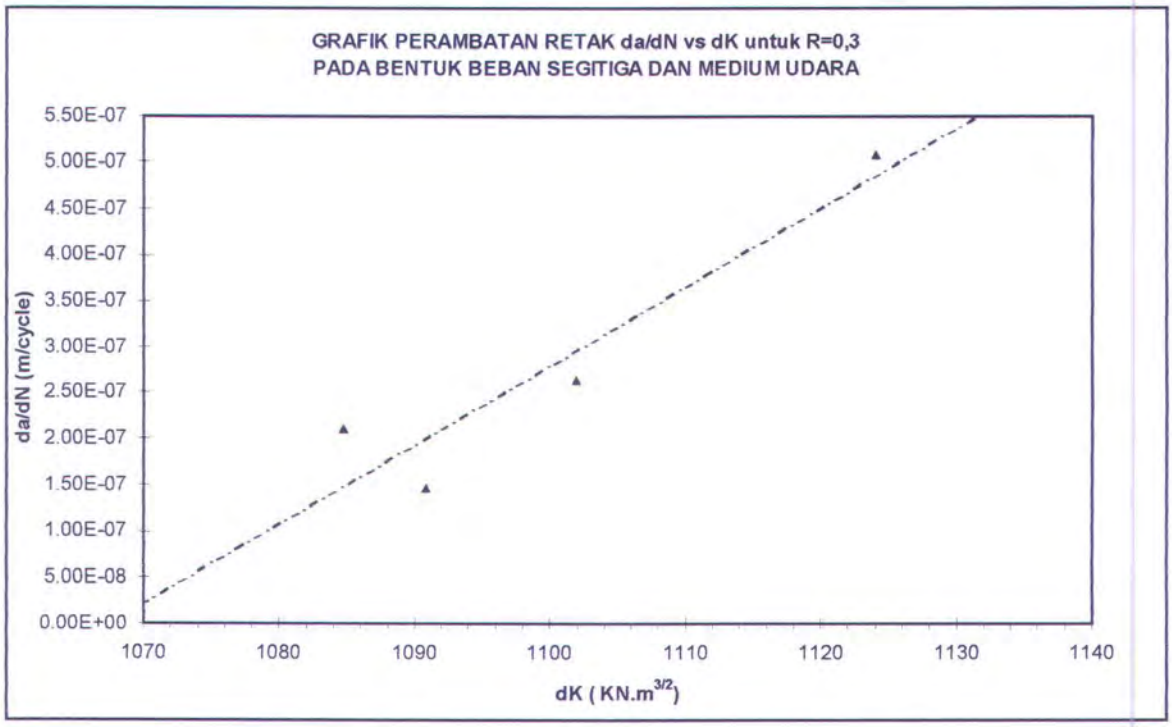
Beban segitiga, Medium Udara, R = 0,2

8. Pembebanan Segitiga dan Medium Udara untuk R = 0,3

R = 0,3 Pmax : 12 KN Pmin : 3,6 KN											
No	N (cycle)	dN (cycle)	a (m)	da (m)	da/dN (m/cycle)	a/W	Kmax ($kN.m^{1/2}$)	Kmin ($kN.m^{1/2}$)	dK ($kN.m^{1/2}$)	log (dK) ($kN.m^{1/2}$)	log (da/dN) (m/cycle)
9	27000	3000	0.0435	6.3E-04	2.10E-07	0.4352	1549.63884	464.891652	1084.7472	3.035329	-6.677780705
10	30000	3000	0.044	4.4E-04	1.47E-07	0.4396	1558.36602	467.509806	1090.8562	3.037768	-6.833668578
11	33000	3000	0.0448	7.9E-04	2.63E-07	0.4475	1574.25837	472.277512	1101.9809	3.042174	-6.579494163
12	36000	3000	0.0463	1.5E-03	5.07E-07	0.4627	1605.73315	481.719946	1124.0132	3.050771	-6.295277667

Tabel V.9. Laju Perambatan Retak dan Faktor Intensitas Tegangan

Untuk Beban segitiga, Medium Udara, R = 0,3



Grafik V.8. Grafik perambatan retak da/dN vs dK untuk

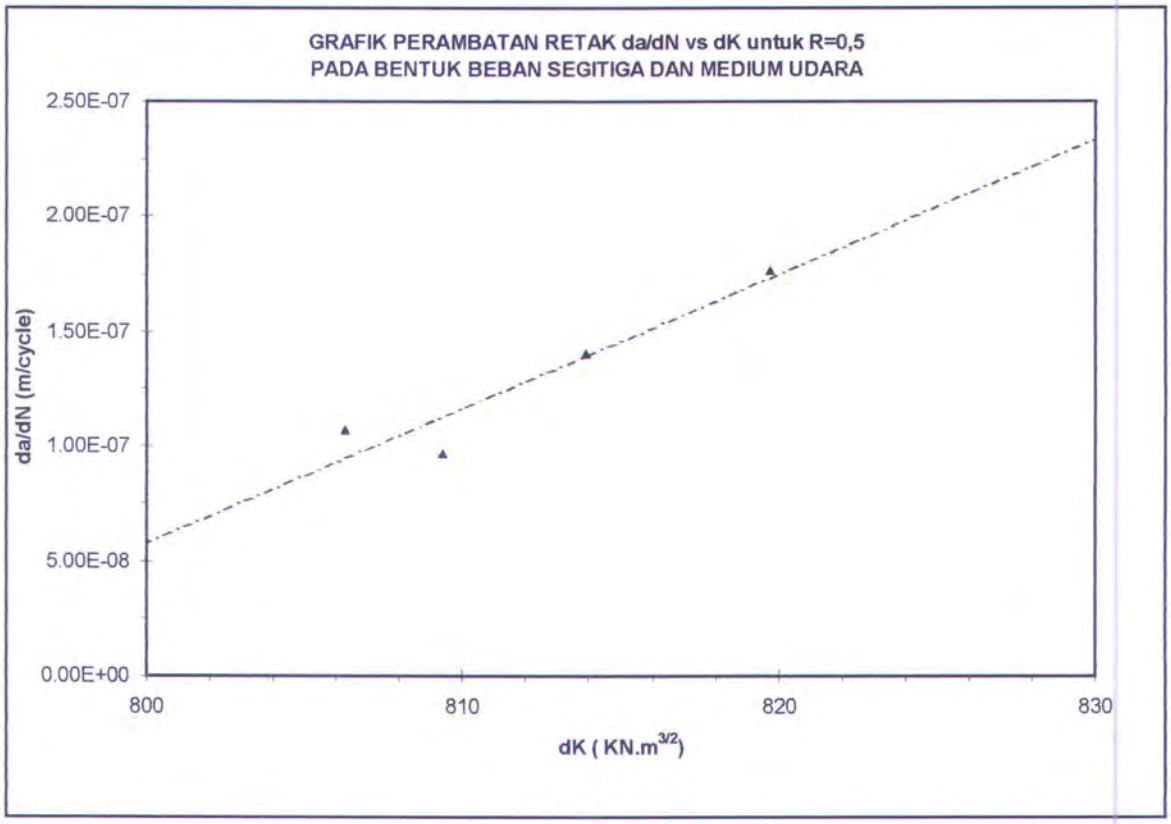
Beban segitiga, Medium Udara, R = 0,3

9. Pembebanan Segitiga dan Medium Udara untuk R = 0,5

R = 0,5 Pmax : 12 KN Pmin : 6 KN											
No	N (cycle)	dN (cycle)	a (m)	da (m)	da/dN (m/cycle)	a/W	Kmax ($kN.m^{1/2}$)	Kmin ($kN.m^{1/2}$)	dK ($kN.m^{1/2}$)	log (dK) ($kN.m^{1/2}$)	log (da/dN) (m/cycle)
13	39000	3000	0.0466	3.2E-04	1.07E-07	0.4659	1612.52489	806.262443	806.26244	2.906476	-6.971971276
14	42000	3000	0.0469	2.9E-04	9.67E-08	0.4688	1618.73337	809.366686	809.36669	2.908145	-7.014723257
15	45000	3000	0.0473	4.2E-04	1.40E-07	0.473	1627.81827	813.909137	813.90914	2.910576	-6.853871964
16	48000	3000	0.0478	5.3E-04	1.77E-07	0.4783	1639.4466	819.723298	819.7233	2.913667	-6.752845385

Tabel V.10. Laju Perambatan Retak dan Faktor Intensitas Tegangan

Untuk Beban segitiga, Medium Udara, R = 0,5



Grafik V.9. Grafik perambatan retak da/dN vs dK untuk

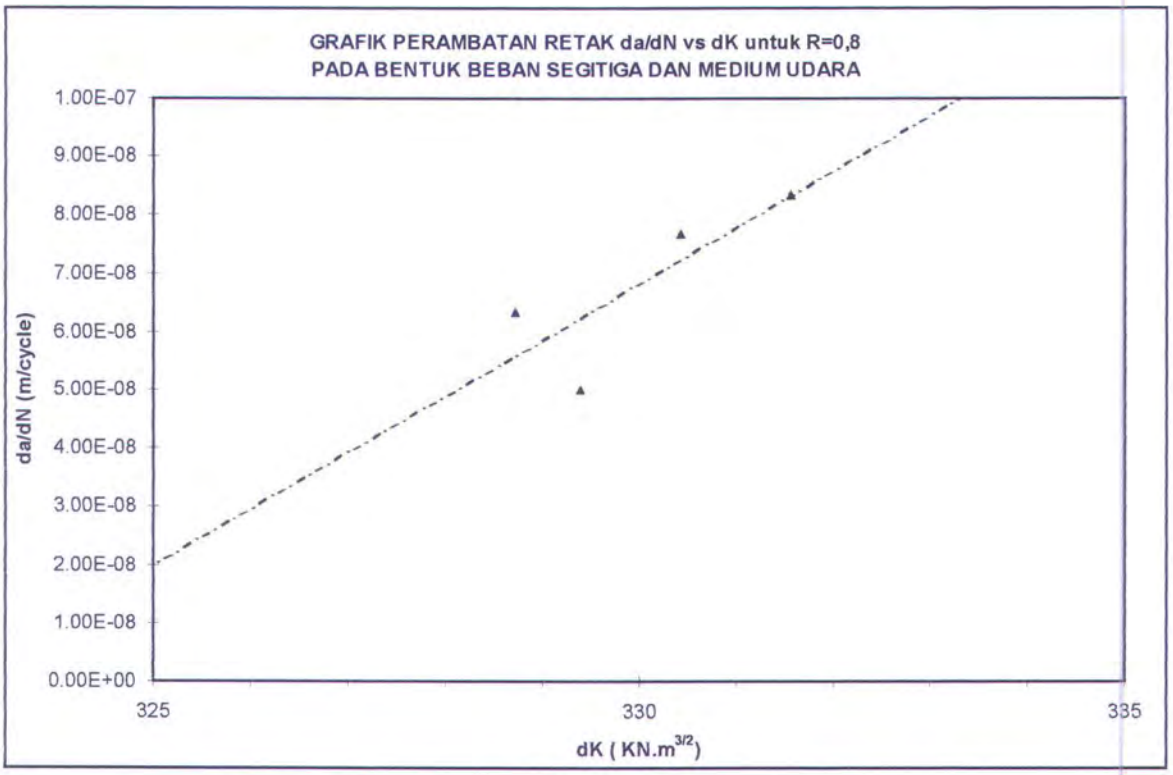
Beban segitiga, Medium Udara, R = 0,5

10. Pembebanan Segitiga dan Medium Udara untuk R = 0,8

R = 0,8 Pmax : 12 KN Pmin : 9,6 KN											
No	N (cycle)	dN (cycle)	a (m)	da (m)	da/dN (m/cycle)	a/W	Kmax ($kN.m^{1/2}$)	Kmin ($kN.m^{1/2}$)	dK ($kN.m^{1/2}$)	log (dK) ($kN.m^{1/2}$)	log (da/dN) (m/cycle)
17	51000	3000	0.048	1.9E-04	6.33E-08	0.4802	1643.66146	1314.92917	328.73229	2.516842	-7.198367654
18	54000	3000	0.0482	1.5E-04	5.00E-08	0.4817	1647.00669	1317.60536	329.40134	2.517725	-7.301029996
19	57000	3000	0.0484	2.3E-04	7.67E-08	0.484	1652.16694	1321.73355	330.43339	2.519084	-7.115393419
20	60000	3000	0.0487	2.5E-04	8.33E-08	0.4865	1657.81914	1326.25531	331.56383	2.520567	-7.079181246

Tabel V.11. Laju Perambatan Retak dan Faktor Intensitas Tegangan

Untuk Beban segitiga, Medium Udara, R = 0,8



Grafik V.10. Grafik perambatan retak da/dN vs dK untuk

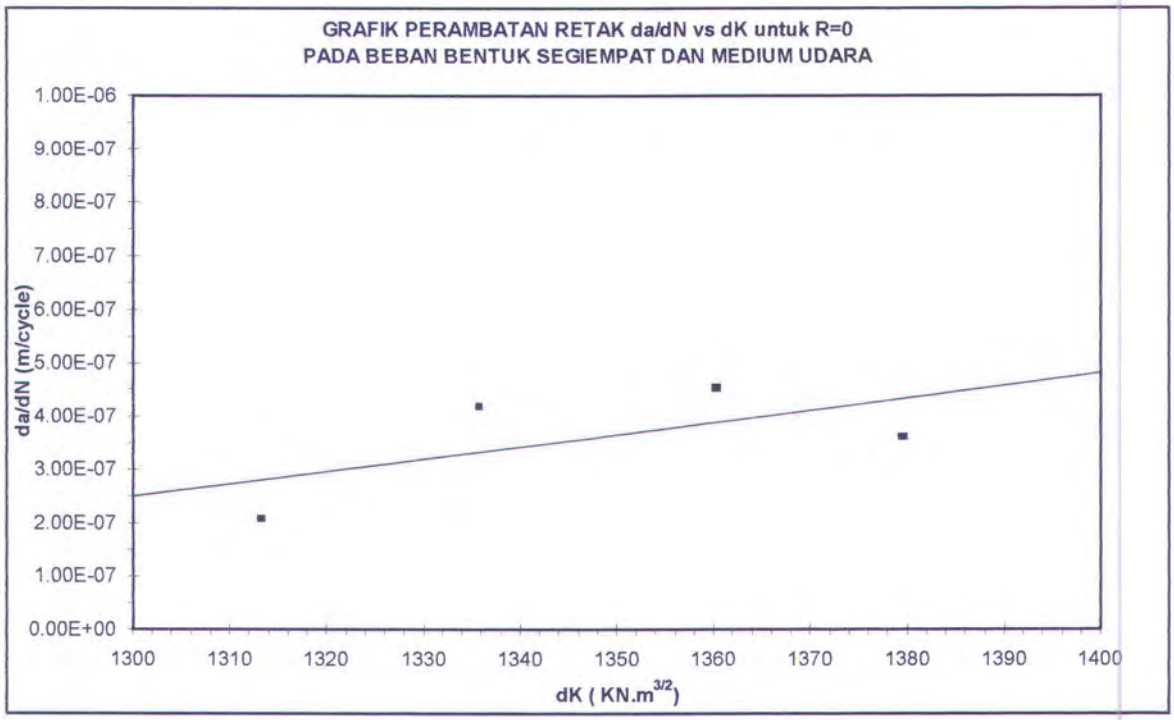
Beban segitiga, Medium Udara, R = 0,8

11. Pembebanan Segiempat dan Medium Udara untuk R = 0,0

R = 0,0 Pmax : 12 KN Pmin : 0 KN											
No	N (cycle)	dN (cycle)	a (m)	da (m)	da/dN (m/cycle)	a/W	Kmax ($kN.m^{1/2}$)	Kmin ($kN.m^{1/2}$)	dK ($kN.m^{1/2}$)	log (dK) ($kN.m^{1/2}$)	log (da/dN) (m/cycle)
0	0	-	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-
1	3000	3000	0.0306	0.0006	2.07E-07	0.3062	1313.26236	0	1313.2624	3.118351	-6.684729565
2	6000	3000	0.0319	0.0013	4.17E-07	0.3187	1335.82462	0	1335.8246	3.125749	-6.380211242
3	9000	3000	0.0332	0.0014	4.53E-07	0.3323	1360.20625	0	1360.2062	3.133605	-6.343582346
4	12000	3000	0.0343	0.0011	3.6E-07	0.3431	1379.50685	0	1379.5068	3.139724	-6.443697499

Tabel V.12. Laju Perambatan Retak dan Faktor Intensitas Tegangan

Untuk Beban segiempat, Medium Udara, R = 0,0



Grafik V.11. Grafik perambatan retak da/dN vs dK untuk

Beban segiempat, Medium Udara, R = 0,0

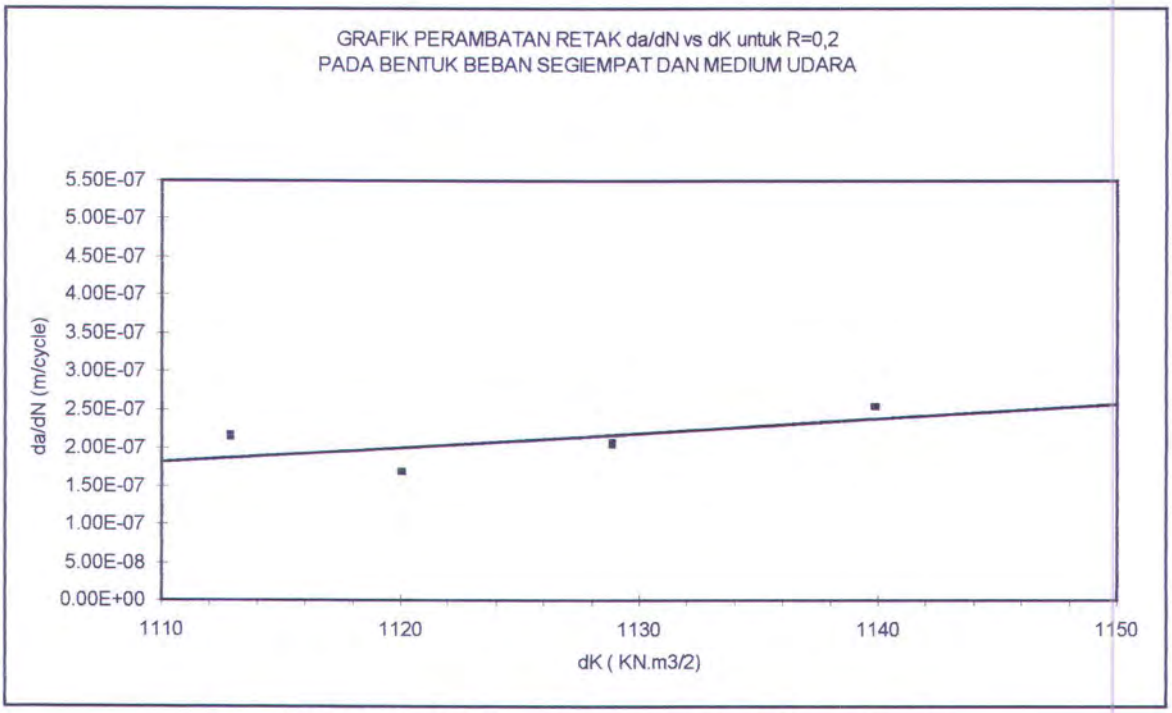
12. Pembebanan Segiempat dan Medium Udara untuk R = 0,2

R = 0,2 Pmax : 12 KN Pmin : 2,4 KN											
No	N (cycle)	dN (cycle)	a (m)	da (m)	da/dN (m/cycle)	a/W	Kmax ($kN.m^{1/2}$)	Kmin ($kN.m^{1/2}$)	dK ($kN.m^{1/2}$)	log (dK) ($kN.m^{1/2}$)	log (da/dN) (m/cycle)
5	15000	3000	0.035	0.0007	2.17E-07	0.3496	1391.11964	278.223929	1112.8957	3.046454	-6.664207898
6	18000	3000	0.0355	0.0005	1.67E-07	0.3546	1400.05952	280.011904	1120.0476	3.049236	-6.77815125
7	21000	3000	0.0361	0.0006	2.07E-07	0.3608	1411.16183	282.232365	1128.9295	3.052667	-6.684729565
8	24000	3000	0.0368	0.0008	2.53E-07	0.3684	1424.81039	284.962079	1139.8483	3.056847	-6.596307662

Tabel V.13. Laju Perambatan Retak dan Faktor Intensitas Tegangan

Untuk Beban segiempat, Medium Udara, R = 0, 2

PERPUSTAKAAN ITS



Grafik V.12. Grafik perambatan retak da/dN vs dK untuk

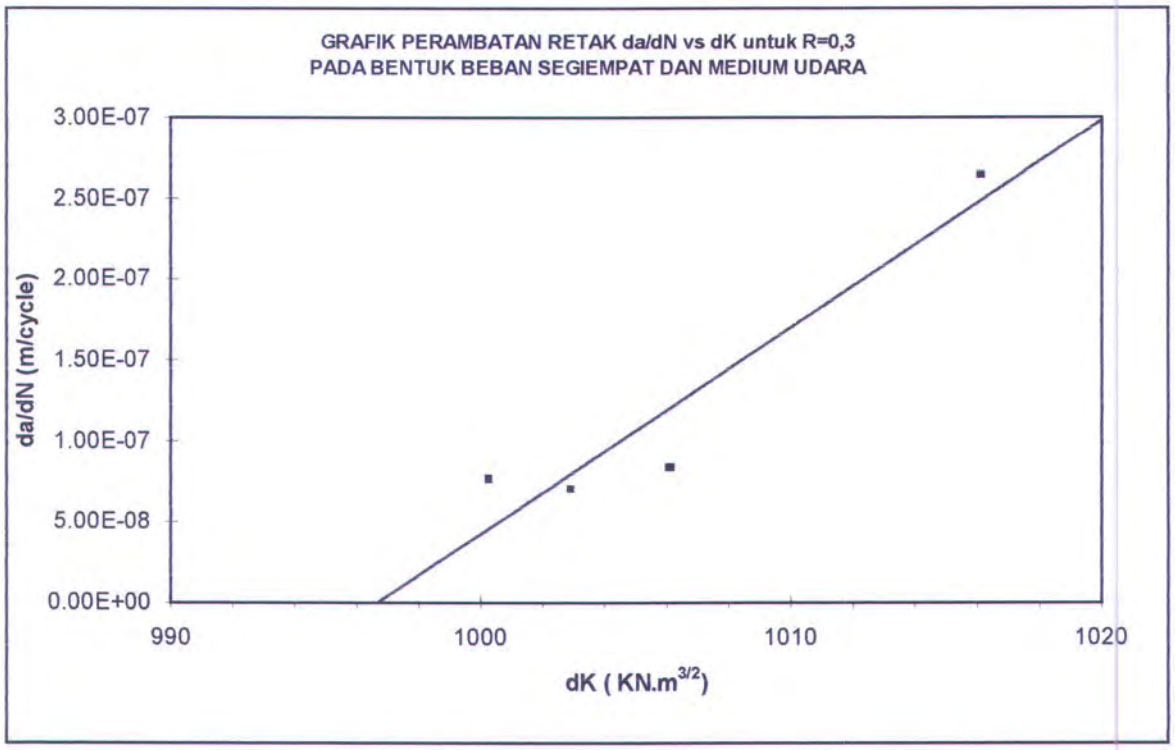
Beban segiempat, Medium Udara, R = 0,2

13. Pembebanan Segiempat dan Medium Udara untuk R = 0,3

R = 0,3 Pmax : 12 KN Pmin : 3,6 KN											
No	N (cycle)	dN (cycle)	a (m)	da (m)	da/dN (m/cycle)	a/W	Kmax ($kN.m^{1/2}$)	Kmin ($kN.m^{1/2}$)	dK ($kN.m^{1/2}$)	log (dK) ($kN.m^{1/2}$)	log (da/dN) (m/cycle)
9	27000	3000	0.0371	0.0002	7.67E-08	0.3707	1428.95202	428.685607	1000.2664	3.000116	-7.115393419
10	30000	3000	0.0373	0.0002	7.00E-08	0.3728	1432.73883	429.82165	1002.9172	3.001265	-7.15490196
11	33000	3000	0.0375	0.0003	8.33E-08	0.3753	1437.25414	431.176242	1006.0779	3.002632	-7.079181246
12	36000	3000	0.0383	0.0008	2.63E-07	0.3832	1451.58156	435.474468	1016.1071	3.006939	-6.579494163

Tabel V.14. Laju Perambatan Retak dan Faktor Intensitas Tegangan

Untuk Beban segiempat, Medium Udara, R = 0, 3



Grafik V.13. Grafik perambatan retak da/dN vs dK untuk

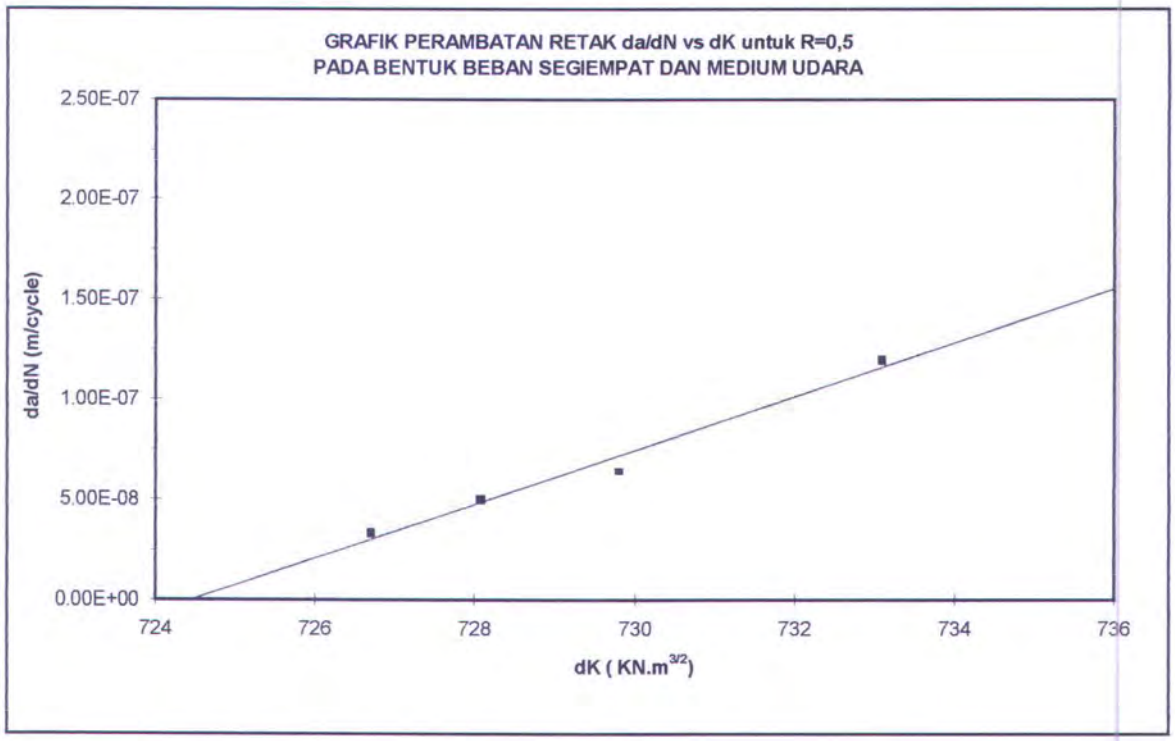
Beban segiempat, Medium Udara, R = 0,3

14. Pembebanan Segiempat dan Medium Udara untuk R = 0,5

R = 0,5 Pmax : 12 KN Pmin : 6 KN											
No	N (cycle)	dN (cycle)	a (m)	da (m)	da/dN (m/cycle)	a/W	Kmax ($kN.m^{1/2}$)	Kmin ($kN.m^{1/2}$)	dK ($kN.m^{1/2}$)	log (dK) ($kN.m^{1/2}$)	log (da/dN) (m/cycle)
13	39000	3000	0.0384	0.0001	3.33E-08	0.3842	1453.40231	726.701154	726.70115	2.861356	-7.477121255
14	42000	3000	0.0386	0.0002	5.00E-08	0.3857	1456.13674	728.068371	728.06837	2.862172	-7.301029996
15	45000	3000	0.0388	0.0002	6.33E-08	0.3876	1459.60627	729.803135	729.80314	2.863206	-7.198367654
16	48000	3000	0.0391	0.0004	1.20E-07	0.3912	1466.1993	733.099652	733.09965	2.865163	-6.920818754

Tabel V.15. Laju Perambatan Retak dan Faktor Intensitas Tegangan

Untuk Beban segiempat, Medium Udara, R = 0, 5



Grafik V.14. Grafik perambatan retak da/dN vs dK untuk

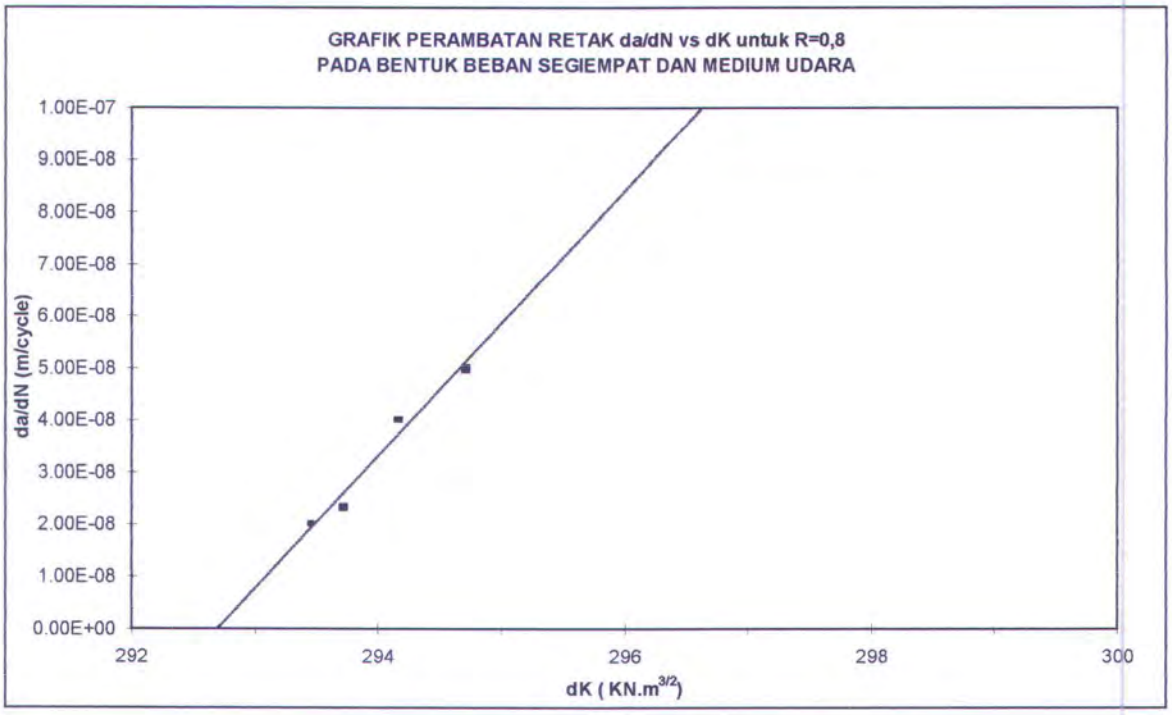
Beban segiempat, Medium Udara, R = 0,5

15. Pembebanan Segiempat dan Medium Udara untuk R = 0,8

R = 0,8 Pmax : 12 KN Pmin : 9,6 KN											
No	N (cycle)	dN (cycle)	a (m)	da (m)	da/dN (m/cycle)	a/W	Kmax ($kN.m^{1/2}$)	Kmin ($kN.m^{1/2}$)	dK ($kN.m^{1/2}$)	log (dK) ($kN.m^{1/2}$)	log (da/dN) (m/cycle)
17	51000	3000	0.0392	6E-05	2.00E-08	0.3918	1467.3007	1173.84056	293.46014	2.467549	-7.698970004
18	54000	3000	0.0393	7E-05	2.33E-08	0.3925	1468.58663	1174.8693	293.71733	2.46793	-7.632023215
19	57000	3000	0.0394	0.0001	4.00E-08	0.3937	1470.79352	1176.63482	294.1587	2.468582	-7.397940009
20	60000	3000	0.0395	0.0002	5.00E-08	0.3952	1473.55659	1178.84527	294.71132	2.469397	-7.301029996

Tabel V.16. Laju Perambatan Retak dan Faktor Intensitas Tegangan

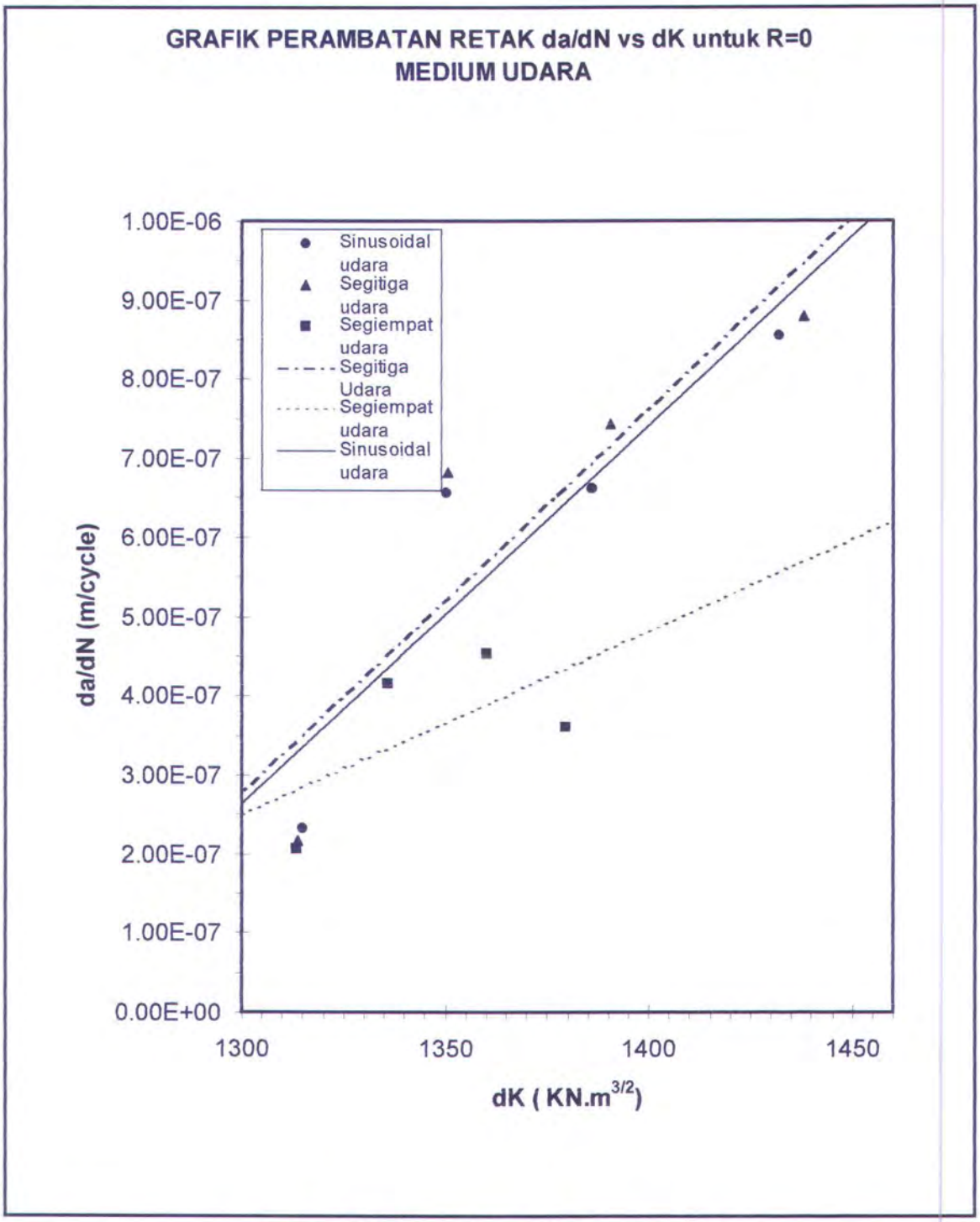
Untuk Beban segiempat, Medium Udara, R = 0, 8



Grafik V.15. Grafik perambatan retak da/dN vs dK untuk

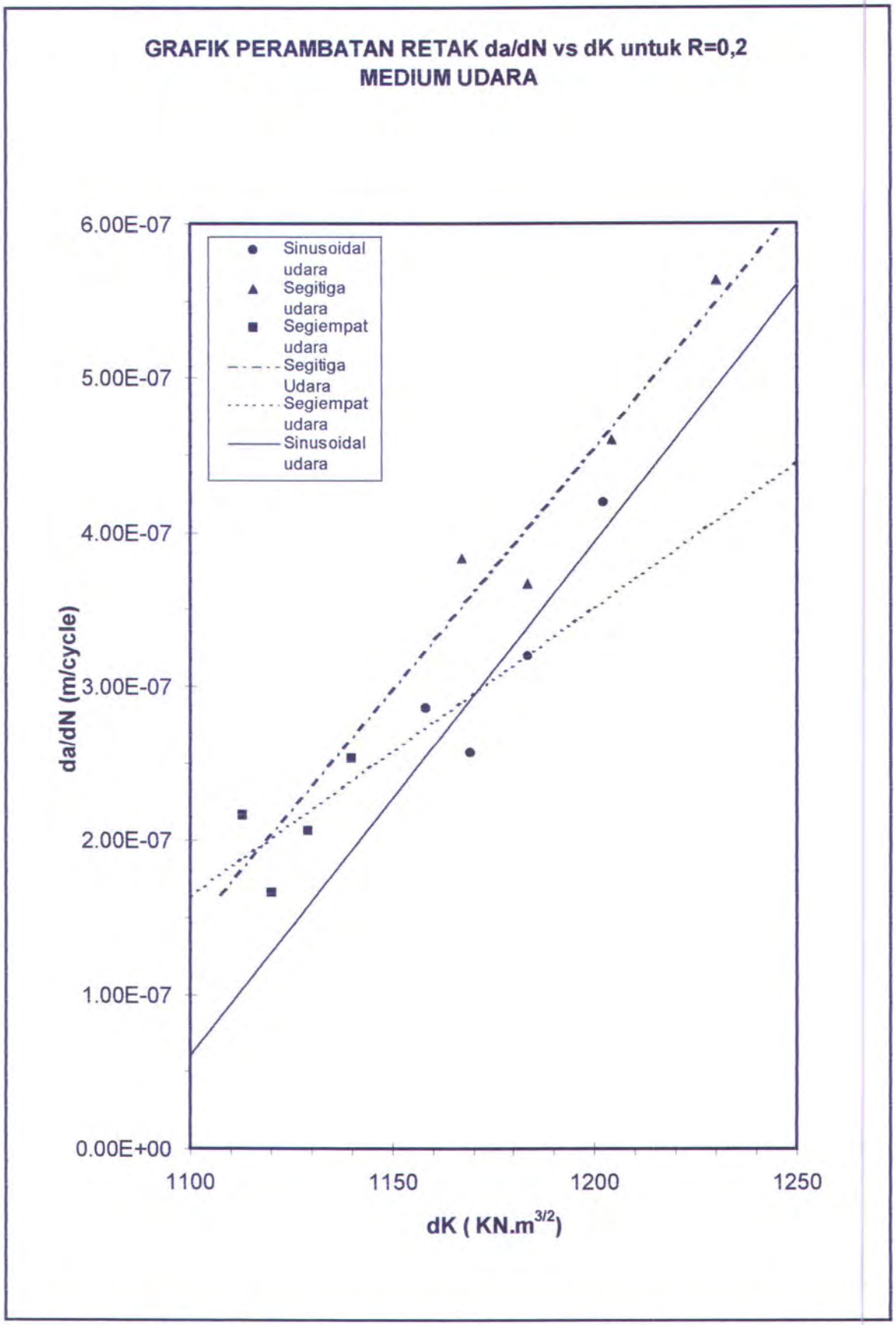
Beban segiempat, Medium Udara, R = 0,8

Berikut ini adalah grafik dari tiga macam bentuk pembebanan (sinusoidal, segitiga dan segiempat) pada media udara untuk masing-masing stress ratio yang digunakan , dan ditampilkan dalam satu bentuk grafik guna mengetahui perbedaannya.

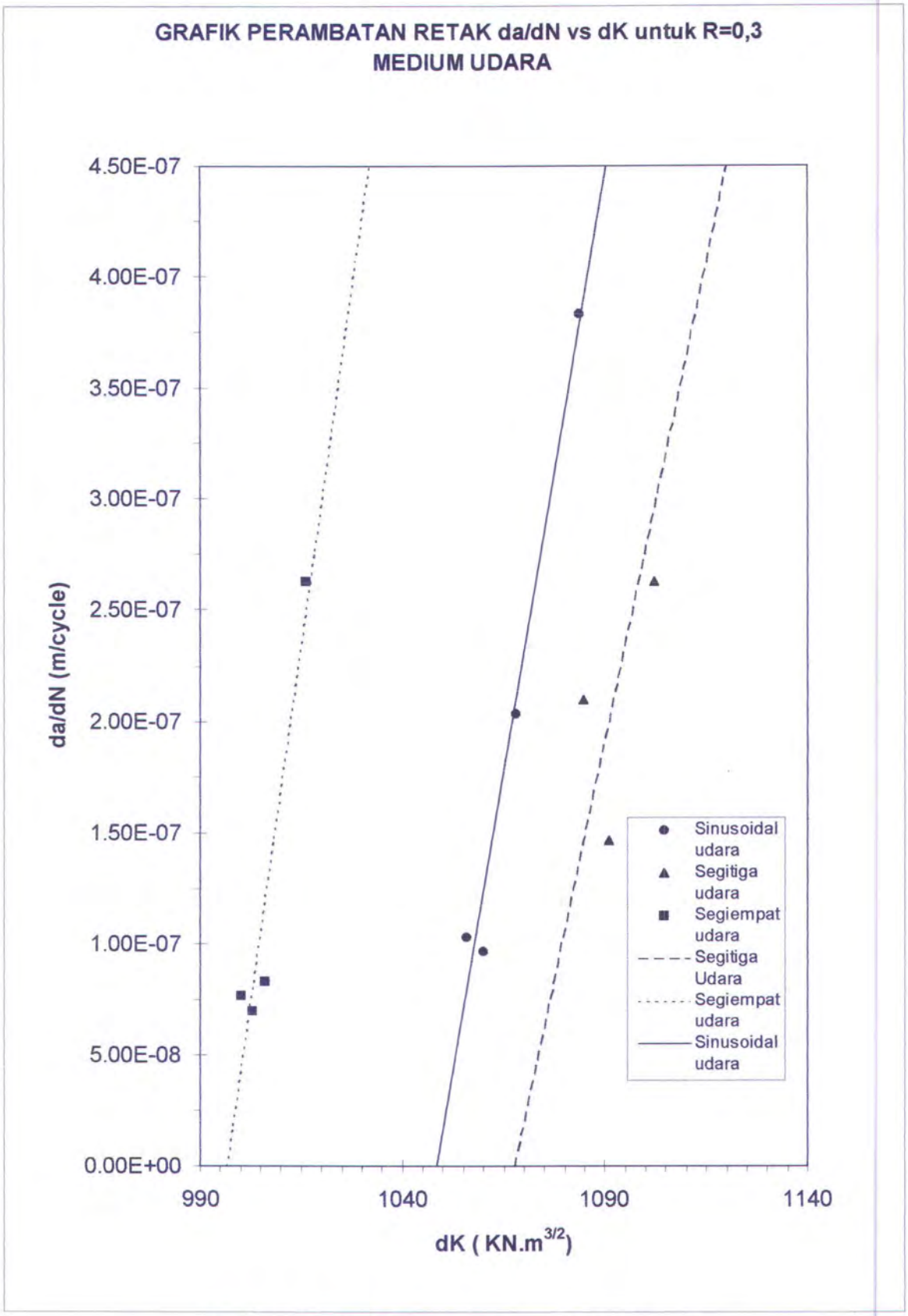


Grafik V.16. Perambatan retak da/dN vs dK

untuk Media Udara R = 0,0

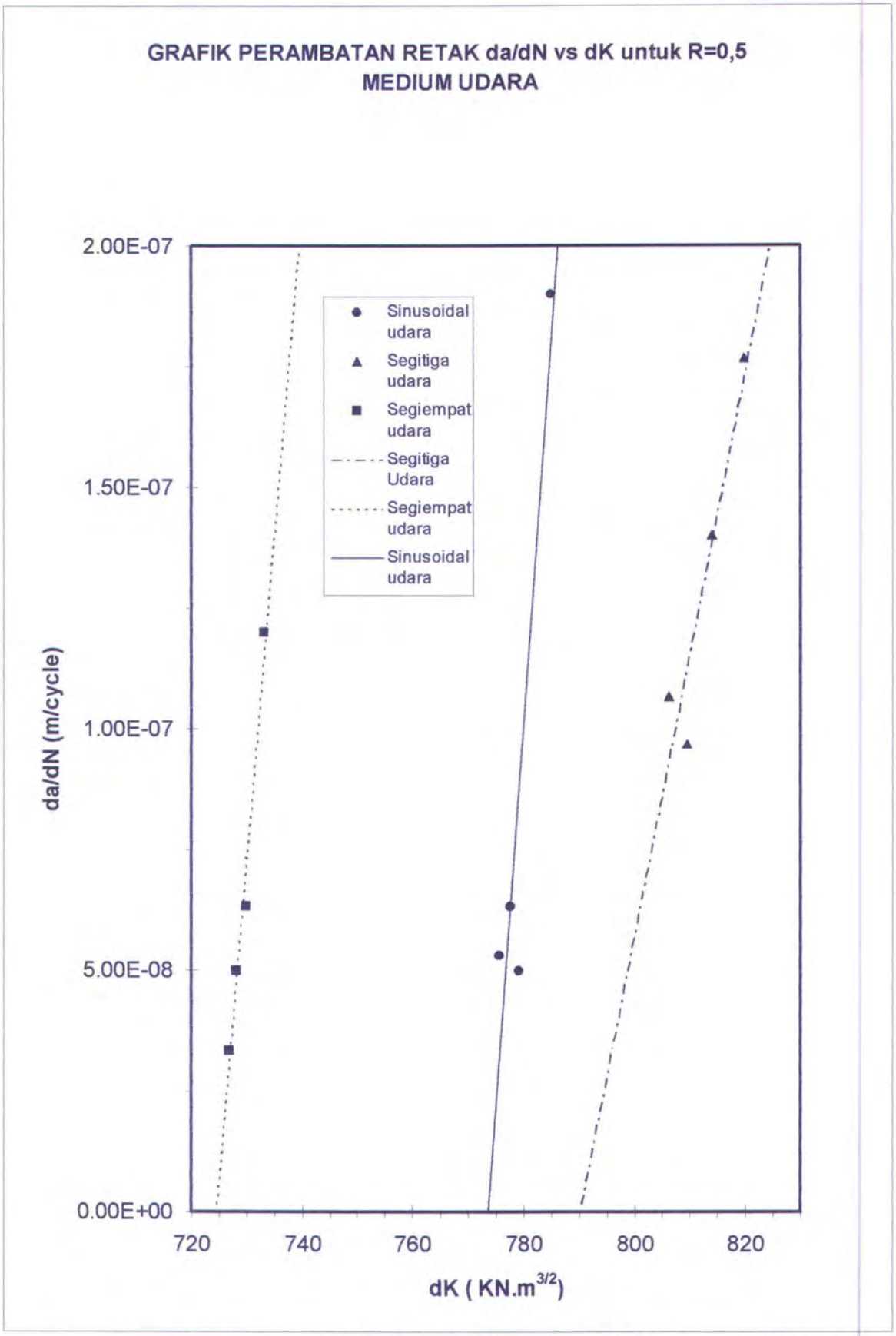


Grafik V.17. Grafik perambatan retak da/dN vs dK untuk Media Udara R = 0,2

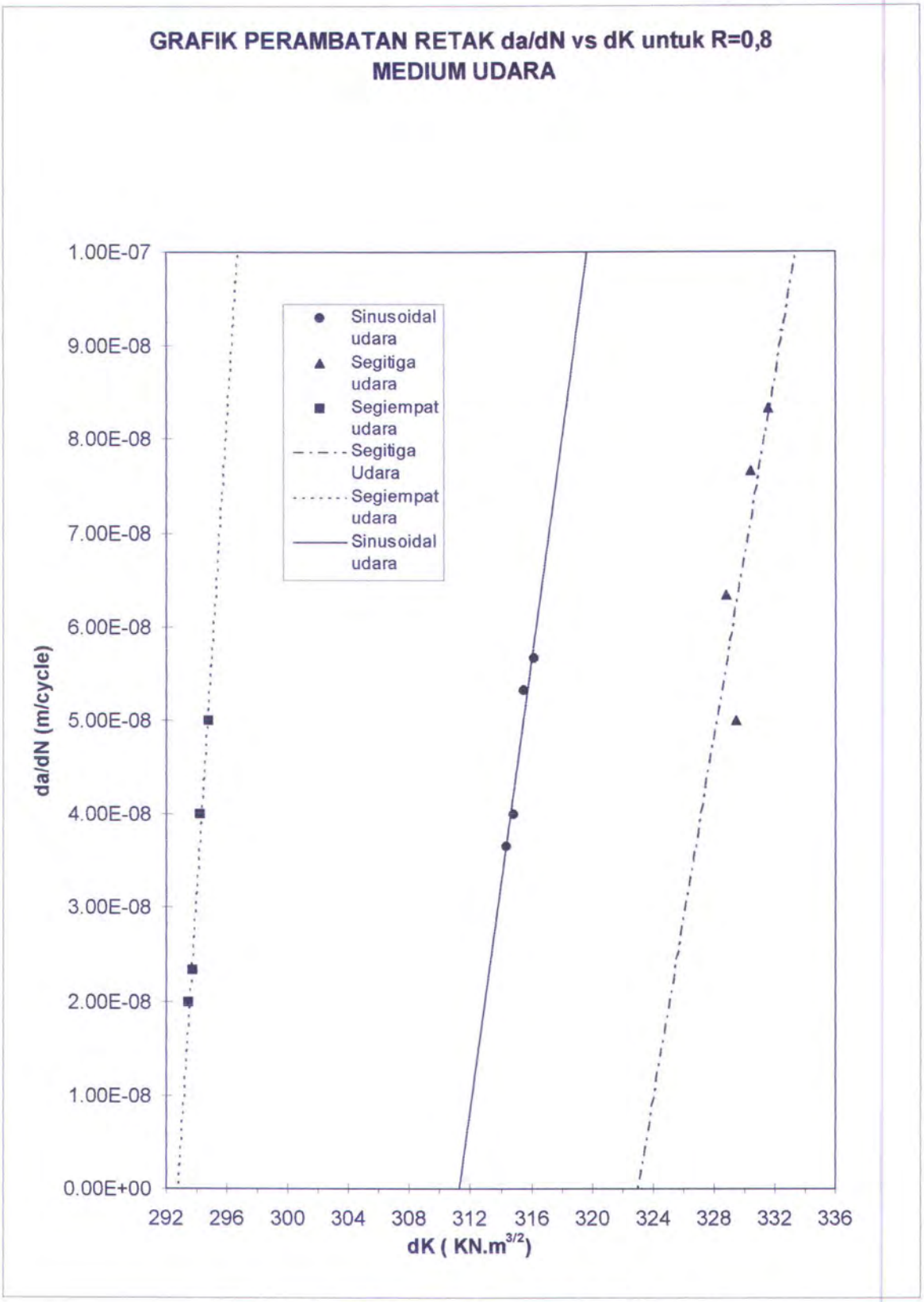


Grafik V.18. Grafik perambatan retak da/dN vs dK

Untuk Media Udara R = 0,3



Grafik V.19. Grafik perambatan retak da/dN vs dK untuk Media Udara R = 0,5



Grafik V.20. Grafik perambatan retak da/dN vs dK

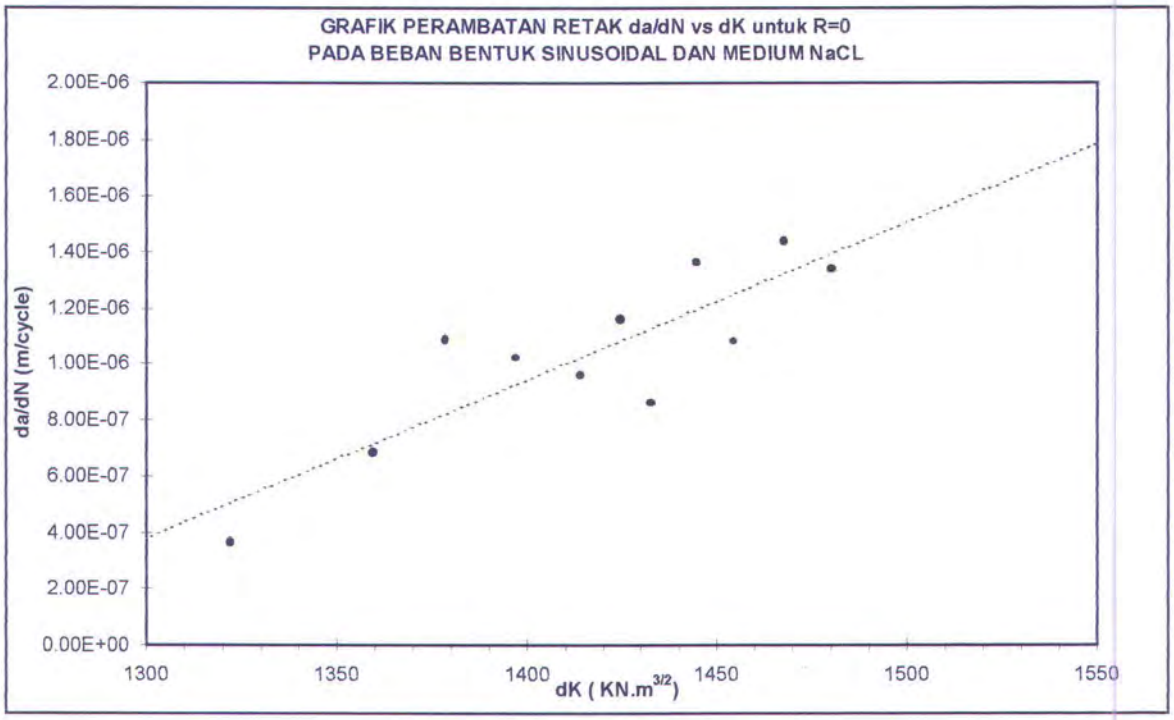
Untuk Media Udara R = 0,8

16. Pembebanan Sinusoidal dan NaCL Udara untuk R = 0,0

R = 0,0 Pmax : 12 KN Pmin : 0 KN											
No	N (cycle)	dN (cycle)	a (m)	da (m)	da/dN (m/cycle)	a/W	Kmax ($kN.m^{1/2}$)	Kmin ($kN.m^{1/2}$)	dK ($kN.m^{1/2}$)	log (dK) ($kN.m^{1/2}$)	log (da/dN) (m/cycle)
0	0	-	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-
1	3000	3000	0.0311	0.0011	3.70E-07	0.3111	1322.12912	0	1322.1291	3.121274	-6.431798276
2	6000	3000	0.0332	0.0021	6.90E-07	0.3318	1359.31187	0	1359.3119	3.133319	-6.161150909
3	7000	1000	0.0343	0.0011	1.09E-06	0.3427	1378.79233	0	1378.7923	3.139499	-5.962573502
4	8000	1000	0.0353	0.001	1.02E-06	0.3529	1397.01891	0	1397.0189	3.145202	-5.991399828
5	9000	1000	0.0363	0.001	9.60E-07	0.3625	1414.21048	0	1414.2105	3.150514	-6.017728767
6	9500	500	0.0368	0.0006	1.16E-06	0.3683	1424.63045	0	1424.6305	3.153702	-5.935542011
7	10000	500	0.0373	0.0004	8.60E-07	0.3726	1432.37795	0	1432.378	3.156058	-6.065501549
8	10500	500	0.0379	0.0007	1.36E-06	0.3794	1444.67793	0	1444.6779	3.159771	-5.866461092
9	11000	500	0.0385	0.0005	1.08E-06	0.3848	1454.4956	0	1454.4956	3.162712	-5.966576245
10	11500	500	0.0392	0.0007	1.44E-06	0.392	1467.668	0	1467.668	3.166628	-5.841637508
11	12000	500	0.0399	0.0007	1.34E-06	0.3987	1480.02386	0	1480.0239	3.170269	-5.872895202

Tabel V.17. Laju Perambatan Retak dan Faktor Intensitas Tegangan

Untuk Beban Sinusoidal, Medium NaCl, R = 0,0



Grafik V.21. Grafik perambatan retak da/dN vs dK untuk

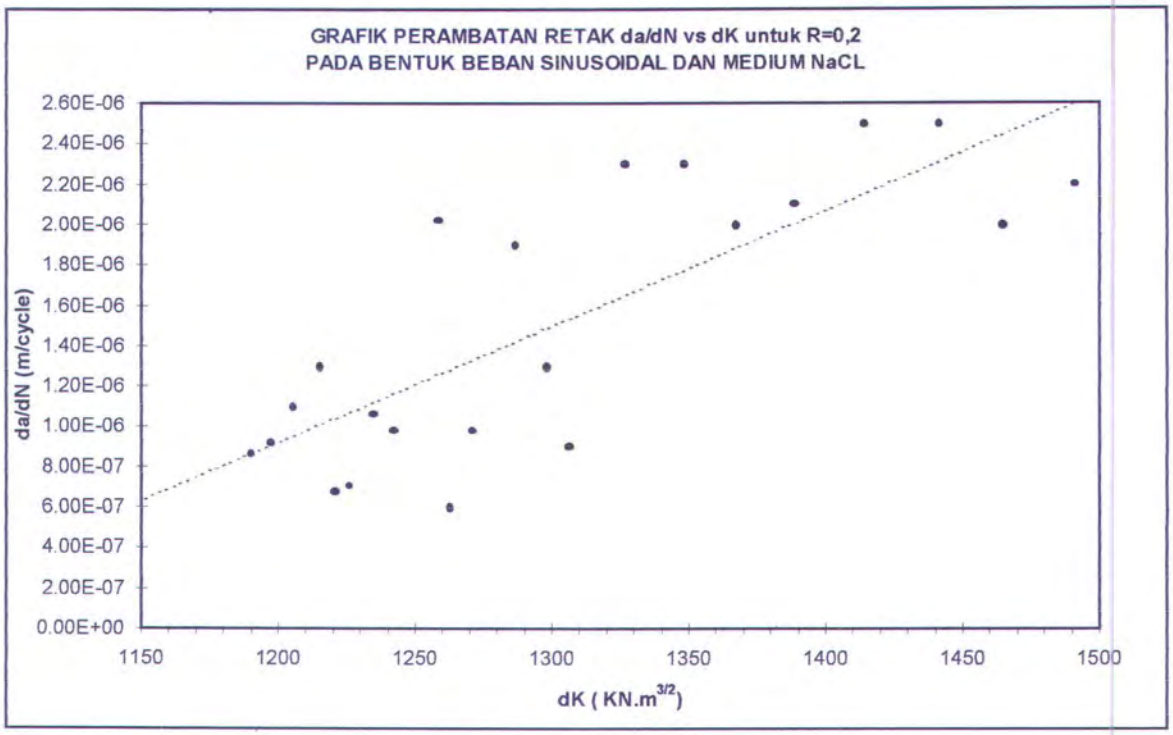
Beban Sinusoidal, Medium NaCl, R = 0,0

17. Pembebanan Sinusoidal dan Medium NaCL untuk R = 0,2

R = 0,2 Pmax : 12 KN Pmin : 2,4 KN											
No	N (cycle)	dN (cycle)	a (m)	da (m)	da/dN (m/cycle)	a/W	Kmax ($kN.m^{1/2}$)	Kmin ($kN.m^{1/2}$)	dK ($kN.m^{1/2}$)	log (dK) ($kN.m^{1/2}$)	log (da/dN) (m/cycle)
12	12500	500	0.0403	0.0004	8.60E-07	0.403	1488.01036	297.602072	1190.4083	3.075696	-6.065501549
13	13000	500	0.0408	0.0005	9.20E-07	0.4076	1496.60818	299.321636	1197.2865	3.078198	-6.036212173
14	13500	500	0.0413	0.0006	1.10E-06	0.4131	1506.96812	301.393623	1205.5745	3.081194	-5.958607315
15	14000	500	0.042	0.0006	1.30E-06	0.4196	1519.33464	303.866929	1215.4677	3.084743	-5.886056648
16	14500	500	0.0423	0.0003	6.80E-07	0.423	1525.86072	305.172144	1220.6886	3.086605	-6.167491087
17	15000	500	0.0427	0.0004	7.00E-07	0.4265	1532.62271	306.524543	1226.0982	3.088525	-6.15490196
18	15500	500	0.0432	0.0005	1.06E-06	0.4318	1542.95219	308.590438	1234.3618	3.091442	-5.974694135
19	16000	500	0.0437	0.0005	9.80E-07	0.4367	1552.60446	310.520892	1242.0836	3.094151	-6.008773924
20	16500	500	0.0447	0.001	2.02E-06	0.4468	1572.83808	314.567615	1258.2705	3.099774	-5.694648631
21	17000	500	0.045	0.0003	6.00E-07	0.4498	1578.94231	315.788462	1263.1538	3.101456	-6.22184875
22	17500	500	0.0455	0.0005	9.80E-07	0.4547	1589.01197	317.802393	1271.2096	3.104217	-6.008773924
23	18000	500	0.0464	0.001	1.90E-06	0.4642	1608.90919	321.781838	1287.1274	3.109622	-5.721246399
24	18500	500	0.0471	0.0006	1.30E-06	0.4707	1622.82932	324.565864	1298.2635	3.113363	-5.886056648
25	19000	500	0.0475	0.0004	9.00E-07	0.4752	1632.62244	326.524489	1306.098	3.115976	-6.045757491
26	19500	500	0.0487	0.0012	2.30E-06	0.4867	1658.2733	331.654659	1326.6186	3.122746	-5.638272164
27	20000	500	0.0498	0.0012	2.30E-06	0.4982	1684.90078	336.980155	1347.9206	3.129664	-5.638272164
28	20500	500	0.0508	0.001	2.00E-06	0.5082	1708.93005	341.78601	1367.144	3.135814	-5.698970004
29	21000	500	0.0519	0.0011	2.10E-06	0.5187	1735.11961	347.023923	1388.0957	3.142419	-5.677780705
30	21500	500	0.0531	0.0013	2.50E-06	0.5312	1767.6989	353.53978	1414.1591	3.150498	-5.602059991
31	22000	500	0.0544	0.0013	2.50E-06	0.5437	1801.95083	360.390165	1441.5607	3.158833	-5.602059991
32	22500	500	0.0554	0.001	2.00E-06	0.5537	1830.6696	366.133921	1464.5357	3.1657	-5.698970004
33	23000	500	0.0565	0.0011	2.20E-06	0.5647	1863.73111	372.746221	1490.9849	3.173473	-5.657577319
34	23500	500	broken	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel V.18. Laju Perambatan Retak dan Faktor Intensitas Tegangan

Untuk Beban Sinusoidal, Medium NaCl, R = 0,2



Grafik V.22. Grafik perambatan retak da/dN vs dK untuk

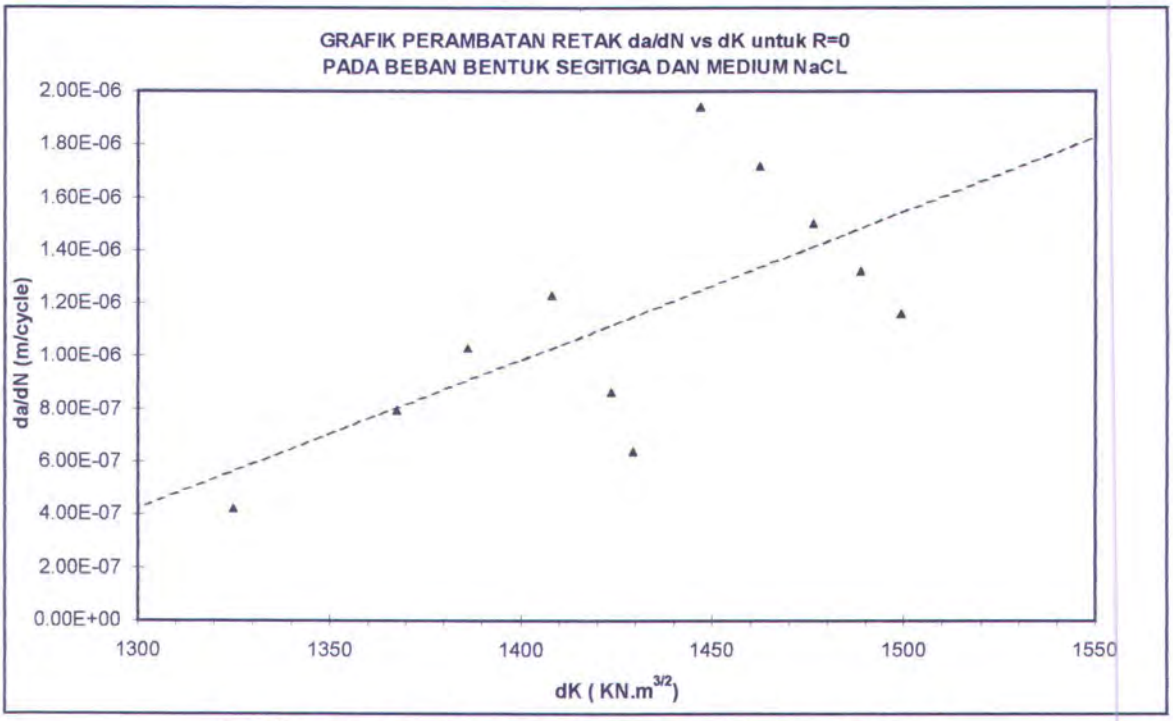
Beban Sinusoidal, Medium NaCl, R = 0,2

18. Pembebanan Segitiga dan Medium NaCL untuk R = 0,0

R = 0,0 Pmax : 12 KN Pmin : 0 KN											
No	N (cycle)	dN (cycle)	a (m)	da (m)	da/dN (m/cycle)	a/W	Kmax ($kN.m^{1/2}$)	Kmin ($kN.m^{1/2}$)	dK ($kN.m^{1/2}$)	log (dK) ($kN.m^{1/2}$)	log (da/dN) (m/cycle)
0	0	-	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-
1	3000	3000	0.0313	0.0013	4.23E-07	0.3127	1325.01776	0	1325.0178	3.122222	-6.373317534
2	6000	3000	0.0337	0.0024	7.93E-07	0.3365	1367.71527	0	1367.7153	3.135996	-6.100544298
3	7000	1000	0.0347	0.001	1.03E-06	0.3468	1386.11651	0	1386.1165	3.1418	-5.987162775
4	8000	1000	0.0359	0.0012	1.23E-06	0.3591	1408.11528	0	1408.1153	3.148638	-5.910094889
5	9000	1000	0.0368	0.0009	8.60E-07	0.3677	1423.55103	0	1423.551	3.153373	-6.065501549
6	9500	500	0.0371	0.0003	6.40E-07	0.3709	1429.31245	0	1429.3124	3.155127	-6.193820026
7	10000	500	0.0381	0.001	1.94E-06	0.3806	1446.8555	0	1446.8555	3.160425	-5.71219827
8	10500	500	0.0389	0.0009	1.72E-06	0.3892	1462.53332	0	1462.5333	3.165106	-5.764471553
9	11000	500	0.0397	0.0007	1.50E-06	0.3967	1476.32476	0	1476.3248	3.169182	-5.823908741
10	11500	500	0.0403	0.0007	1.32E-06	0.4033	1488.56933	0	1488.5693	3.172769	-5.879426069
11	12000	500	0.0409	0.0006	1.16E-06	0.4091	1499.42468	0	1499.4247	3.175925	-5.935542011

Tabel V.19. Laju Perambatan Retak dan Faktor Intensitas Tegangan

Untuk Beban Segitiga, Medium NaCl, R = 0,0



Grafik V.23. Grafik perambatan retak da/dN vs dK untuk

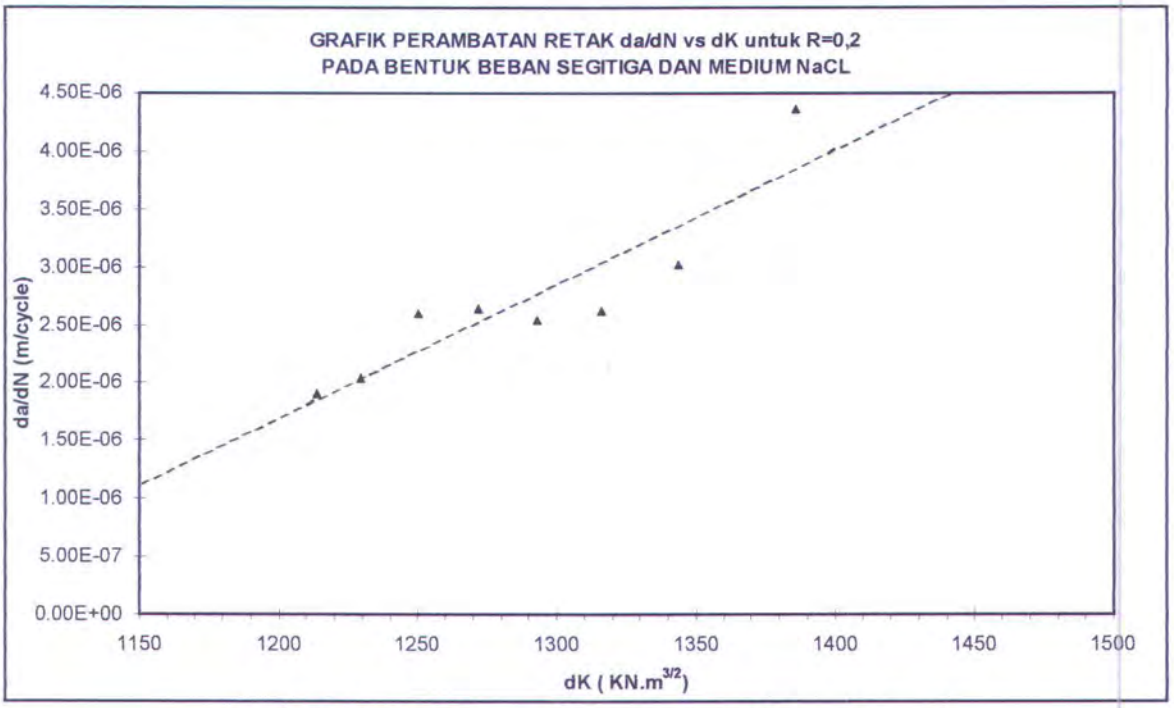
Beban Segitiga, Medium NaCl, R = 0,0

19. Pembebanan Segitiga dan Medium Udara untuk R = 0,2

R = 0,2 Pmax : 12 KN Pmin : 2,4 KN											
No	N (cycle)	dN (cycle)	a (m)	da (m)	da/dN (m/cycle)	a/W	Kmax ($kN.m^{1/2}$)	Kmin ($kN.m^{1/2}$)	dK ($kN.m^{1/2}$)	log (dK) ($kN.m^{1/2}$)	log (da/dN) (m/cycle)
12	12500	500	0.0419	0.0009	1.90E-06	0.4186	1517.42292	303.484585	1213.9383	3.084197	-5.721246399
13	13000	500	0.0429	0.001	2.04E-06	0.4288	1537.09167	307.418334	1229.6733	3.08979	-5.690369833
14	13500	500	0.0442	0.0013	2.60E-06	0.4418	1562.76218	312.552437	1250.2097	3.096983	-5.585026652
15	14000	500	0.0455	0.0013	2.64E-06	0.455	1589.63261	317.926521	1271.7061	3.104387	-5.578396073
16	14500	500	0.0468	0.0013	2.54E-06	0.4677	1616.37234	323.274469	1293.0979	3.111631	-5.595166283
17	15000	500	0.0481	0.0013	2.62E-06	0.4808	1644.99766	328.999533	1315.9981	3.119255	-5.581698709
18	15500	500	0.0496	0.0015	3.02E-06	0.4959	1679.49221	335.898443	1343.5938	3.128268	-5.519993057
19	16000	500	0.0518	0.0022	4.36E-06	0.5177	1732.58074	346.516148	1386.0646	3.141783	-5.360513511
20	16500	500	broken	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel V.20. Laju Perambatan Retak dan Faktor Intensitas Tegangan

Untuk Beban Segitiga, Medium NaCl, R = 0,2



Grafik V.24. Grafik perambatan retak da/dN vs dK untuk

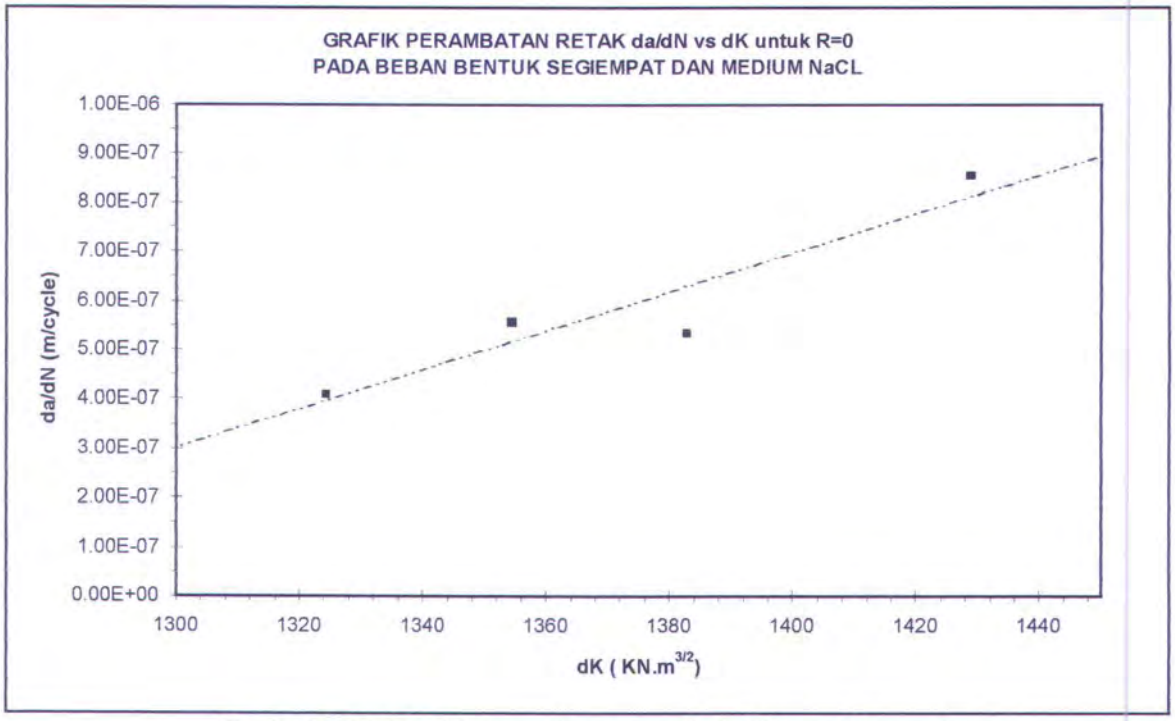
Beban Segitiga, Medium NaCl, R = 0,2

20. Pembebanan Segiempat dan Medium NaCL untuk R = 0,0

R = 0,0 Pmax : 12 KN Pmin : 0 KN											
No	N (cycle)	dN (cycle)	a (m)	da (m)	da/dN (m/cycle)	a/W	Kmax (kN.m$^{1/2}$)	Kmin (kN.m$^{1/2}$)	dK (kN.m$^{1/2}$)	log (dK) (kN.m$^{1/2}$)	log (da/dN) (m/cycle)
0	0	-	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-
1	3000	3000	0.0312	0.0012	4.1E-07	0.3123	1324.29589	0	1324.2959	3.121985	-6.387216143
2	6000	3000	0.0329	0.0017	5.57E-07	0.329	1354.30113	0	1354.3011	3.131715	-6.254404784
3	9000	3000	0.0345	0.0016	5.33E-07	0.345	1382.90087	0	1382.9009	3.140791	-6.273001272
4	12000	3000	0.0371	0.0026	8.53E-07	0.3706	1428.77183	0	1428.7718	3.154963	-6.068881289

Tabel V.21. Laju Perambatan Retak dan Faktor Intensitas Tegangan

Untuk Beban Segiempat, Medium NaCl, R = 0,0



Grafik V.25. Grafik perambatan retak da/dN vs dK untuk

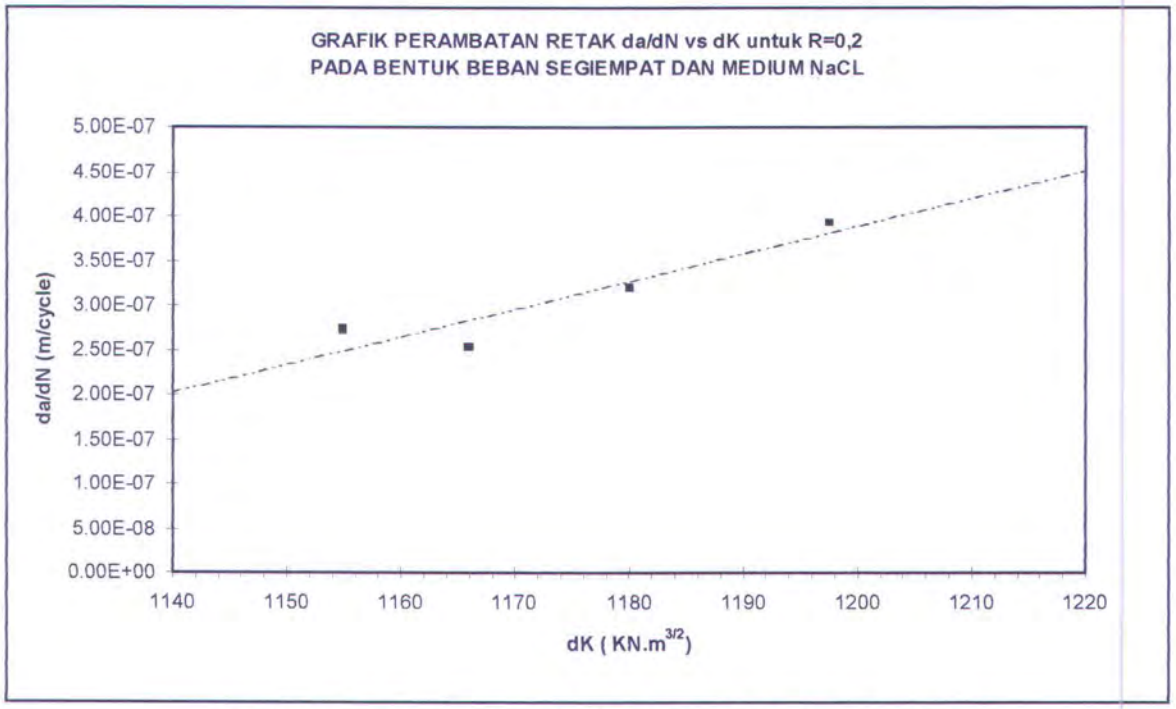
Beban Segiempat, Medium NaCl, R = 0,0

21. Pembebanan Segiempat dan Medium Udara untuk R = 0,2

R = 0,2 Pmax : 12 KN Pmin : 2,4 KN											
No	N (cycle)	dN (cycle)	a (m)	da (m)	da/dN (m/cycle)	a/W	Kmax ($kN.m^{1/2}$)	Kmin ($kN.m^{1/2}$)	dK ($kN.m^{1/2}$)	log (dK) ($kN.m^{1/2}$)	log (da/dN) (m/cycle)
5	15000	3000	0.0379	0.0008	2.73E-07	0.3788	1443.58998	288.717996	1154.872	3.062534	-6.563307402
6	18000	3000	0.0386	0.0008	2.53E-07	0.3864	1457.41421	291.482841	1165.9314	3.066673	-6.596307662
7	21000	3000	0.0396	0.001	3.20E-07	0.396	1475.0323	295.00646	1180.0258	3.071892	-6.494850022
8	24000	3000	0.0408	0.0012	3.93E-07	0.4078	1496.98334	299.396667	1197.5867	3.078307	-6.405239247

Tabel V.22. Laju Perambatan Retak dan Faktor Intensitas Tegangan

Untuk Beban Segiempat, Medium NaCl, R = 0,2



Grafik V.26. Grafik perambatan retak da/dN vs dK untuk

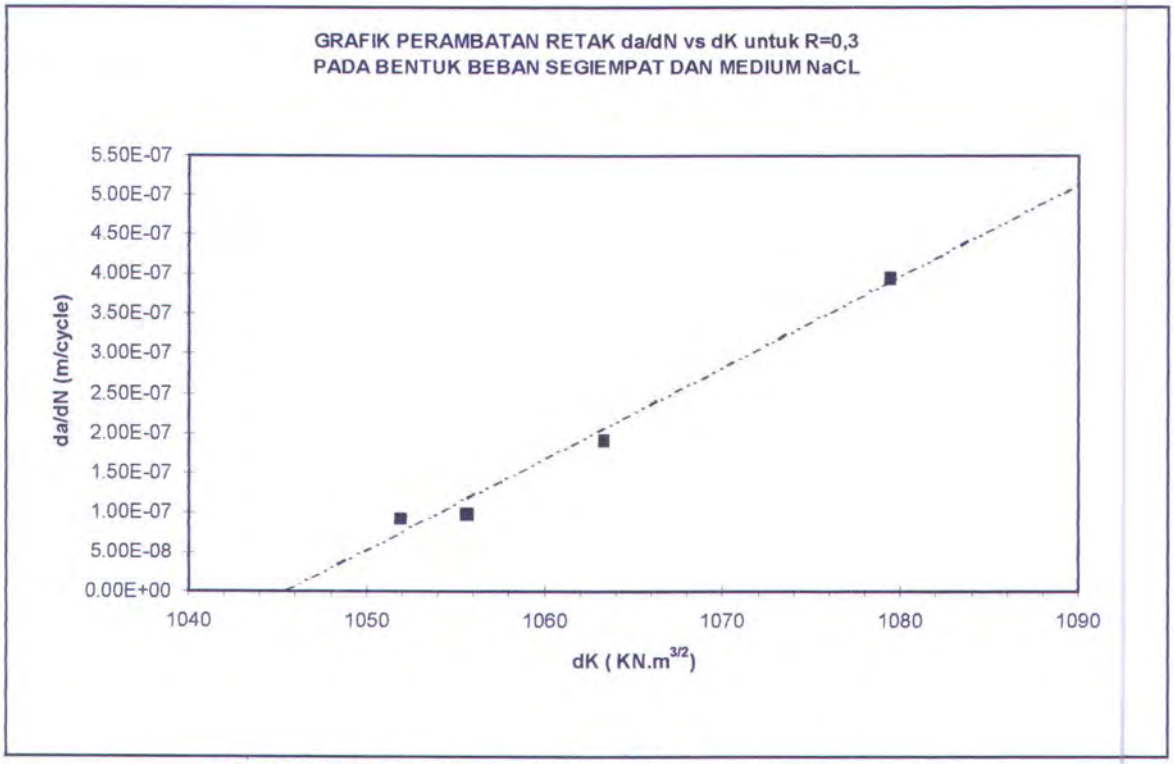
Beban Segiempat, Medium NaCl, R = 0,2

22. Pembebanan Segiempat dan Medium Udara untuk R = 0,3

R = 0,3 Pmax : 12 KN Pmin : 3,6 KN											
No	N (cycle)	dN (cycle)	a (m)	da (m)	da/dN (m/cycle)	a/W	Kmax ($kN.m^{1/2}$)	Kmin ($kN.m^{1/2}$)	dK ($kN.m^{1/2}$)	log (dK) ($kN.m^{1/2}$)	log (da/dN) (m/cycle)
9	27000	3000	0.0411	0.0003	9.33E-08	0.4108	1502.62472	450.787415	1051.8373	3.021949	-7
10	30000	3000	0.0414	0.0003	1.00E-07	0.4136	1507.91451	452.374353	1055.5402	3.023475	-7.029963223
11	33000	3000	0.0419	0.0006	1.93E-07	0.4194	1518.95202	455.685607	1063.2664	3.026642	-6.713693261
12	36000	3000	0.0431	0.0012	3.97E-07	0.4313	1541.97291	462.591873	1079.381	3.033175	-6.401574293

Tabel V.23. Laju Perambatan Retak dan Faktor Intensitas Tegangan

Untuk Beban Segiempat, Medium NaCl, R = 0,3



Grafik V.27. Grafik perambatan retak da/dN vs dK untuk

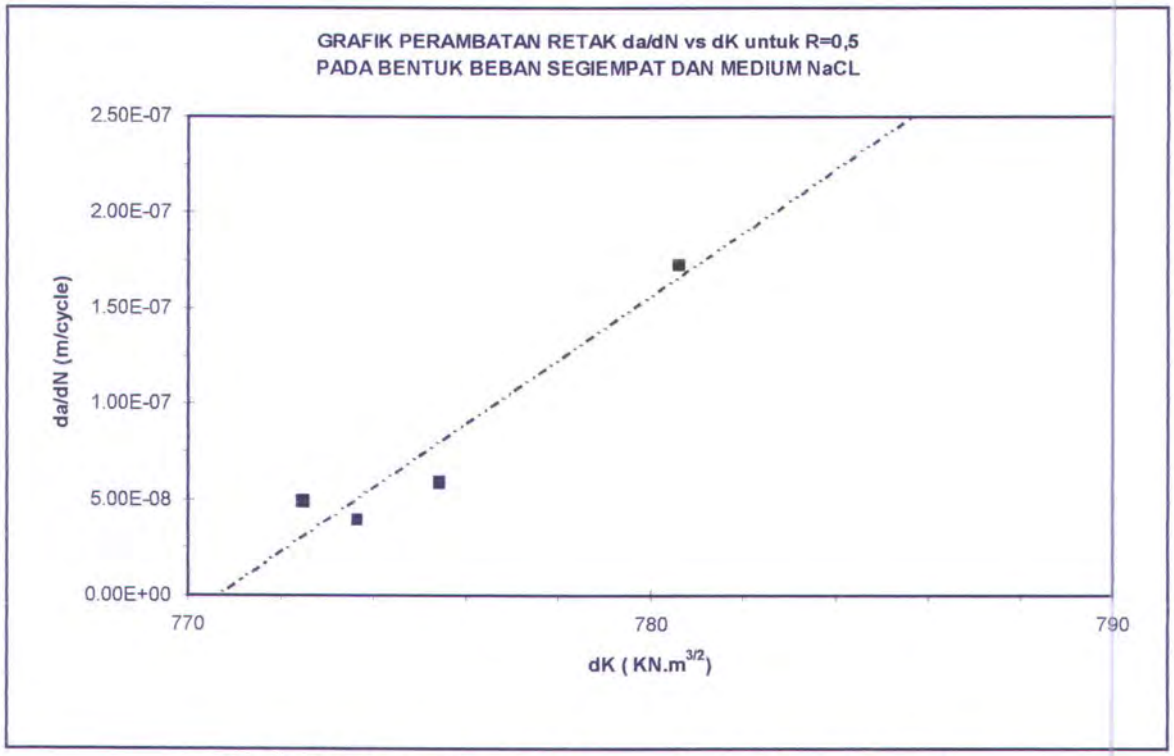
Beban Segiempat, Medium NaCl, R = 0,3

23. Pembebanan Segiempat dan Medium NaCL untuk R = 0,5

R = 0,5 Pmax : 12 KN Pmin : 6 KN											
No	N (cycle)	dN (cycle)	a (m)	da (m)	da/dN (m/cycle)	a/W	Kmax ($kN.m^{1/2}$)	Kmin ($kN.m^{1/2}$)	dK ($kN.m^{1/2}$)	log (dK) ($kN.m^{1/2}$)	log (da/dN) (m/cycle)
13	39000	3000	0.0433	0.0002	5.00E-08	0.4328	1544.91383	772.456917	772.45692	2.887874	-7.301029996
14	42000	3000	0.0434	0.0001	4.00E-08	0.434	1547.2733	773.636648	773.63665	2.888537	-7.397940009
15	45000	3000	0.0436	0.0002	6.00E-08	0.4358	1550.82392	775.41196	775.41196	2.889532	-7.22184875
16	48000	3000	0.0441	0.0005	1.73E-07	0.441	1561.16101	780.580503	780.5805	2.892418	-6.761117911

Tabel V.24. Laju Perambatan Retak dan Faktor Intensitas Tegangan

Untuk Beban Segiempat, Medium NaCl, R = 0,5



Grafik V.28. Grafik perambatan retak da/dN vs dK untuk

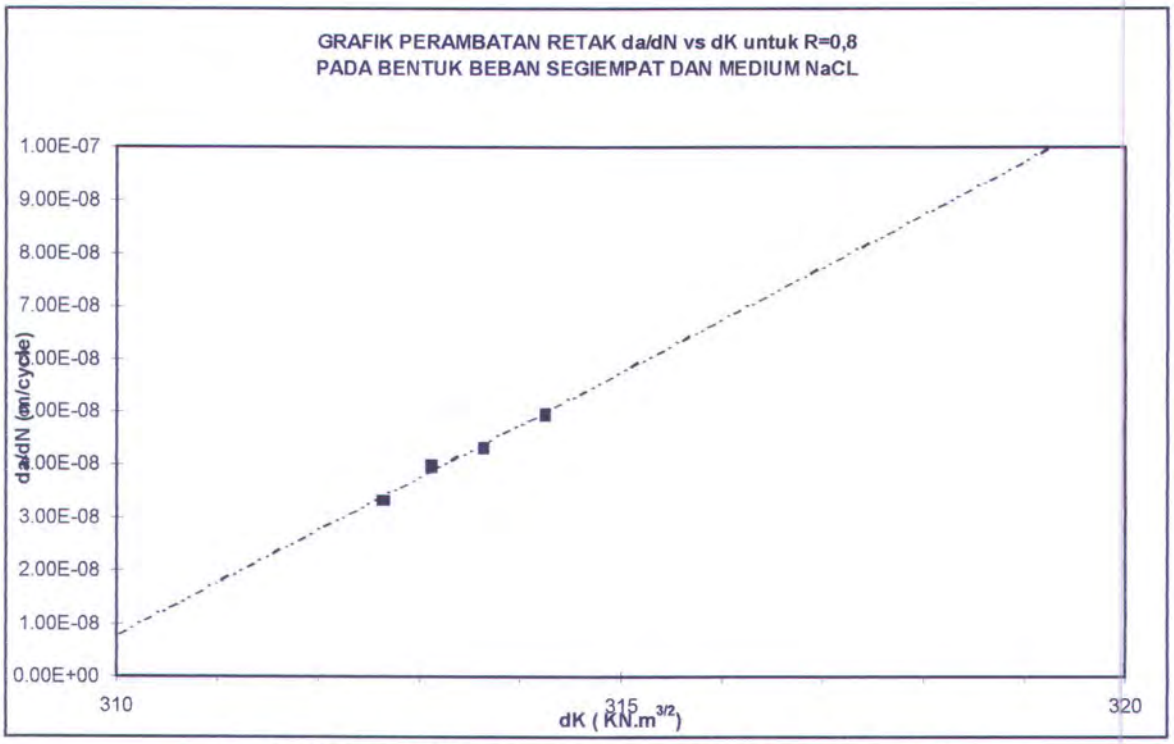
Beban Segiempat, Medium NaCl, R = 0,5

24. Pembebanan Segiempat dan Medium NaCL untuk R = 0,8

R = 0,8 Pmax : 12 KN Pmin : 9,6 KN											
No	N (cycle)	dN (cycle)	a (m)	da (m)	da/dN (m/cycle)	a/W	Kmax ($kN.m^{1/2}$)	Kmin ($kN.m^{1/2}$)	dK ($kN.m^{1/2}$)	log (dK) ($kN.m^{1/2}$)	log (da/dN) (m/cycle)
17	51000	3000	0.0442	0.0001	3.33E-08	0.442	1563.16294	1250.53035	312.63259	2.495034	-7.477121255
18	54000	3000	0.0443	0.0001	4E-08	0.4432	1565.57142	1252.45714	313.11428	2.495703	-7.397940009
19	57000	3000	0.0445	0.0001	4.33E-08	0.4445	1568.18829	1254.55063	313.63766	2.496428	-7.363177902
20	60000	3000	0.0446	0.0002	5.00E-08	0.446	1571.21784	1256.97427	314.24357	2.497266	-7.301029996

Tabel V.25. Laju Perambatan Retak dan Faktor Intensitas Tegangan

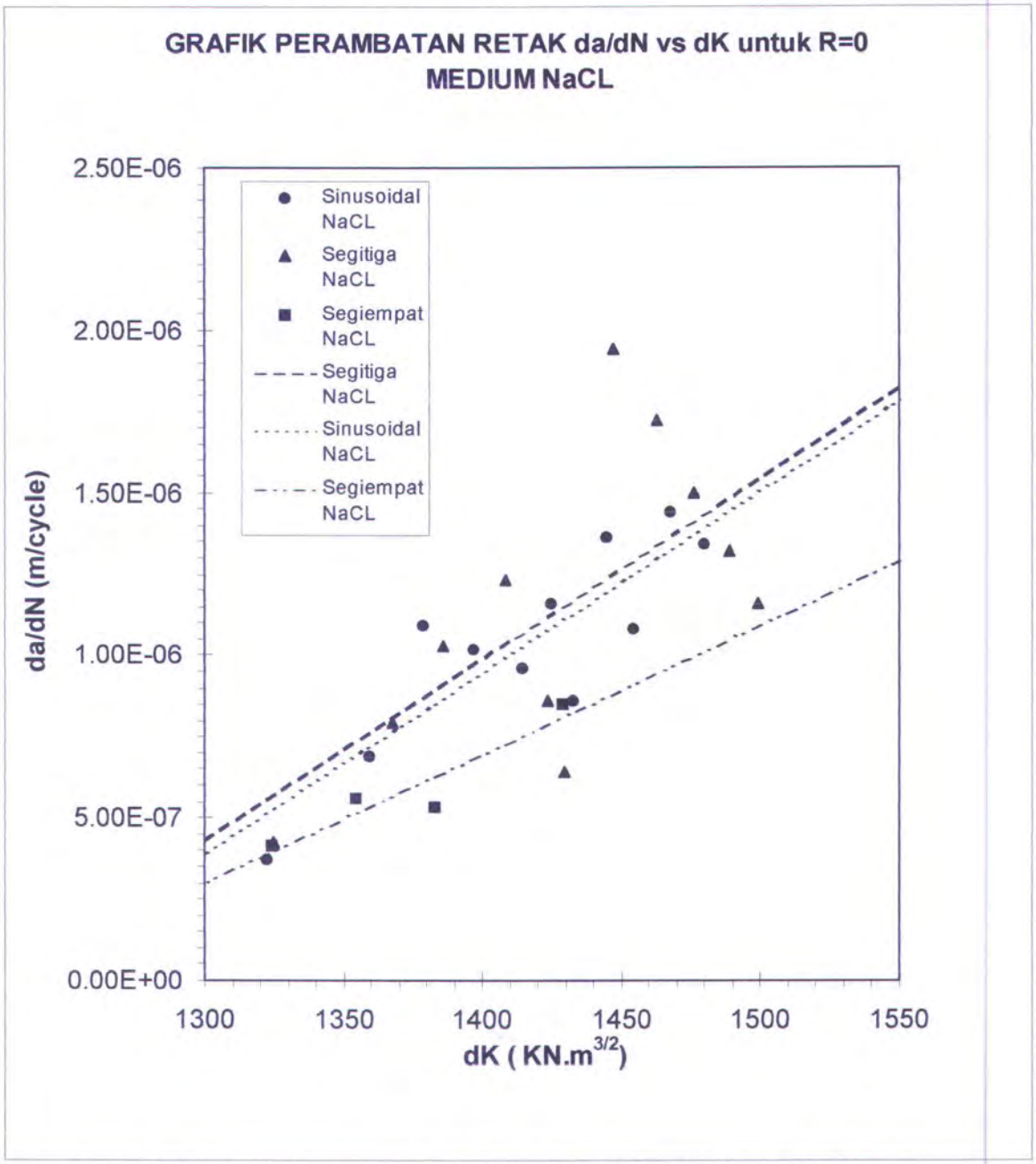
Untuk Beban Segiempat, Medium NaCl, R = 0,8



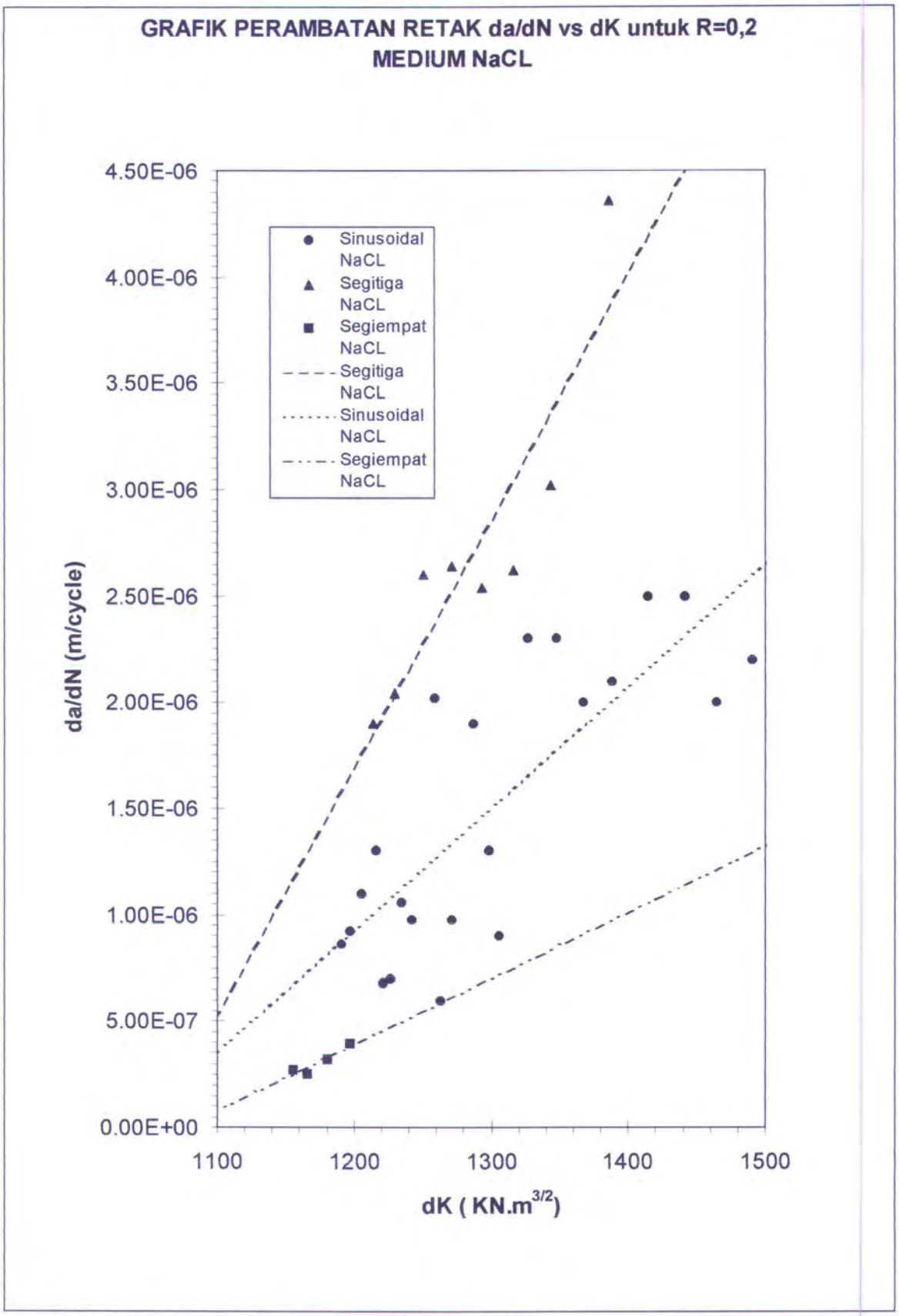
Grafik V.29. Grafik perambatan retak da/dN vs dK untuk

Beban Segiempat, Medium NaCl, R = 0,8

Dibawah ini adalah grafik dari tiga macam bentuk pembebanan (sinusoidal, segitiga dan segiempat) pada media udara untuk harga stress ratio = 0,2 ; 0,0 yang digunakan , dan ditampilkan dalam satu bentuk grafik guna mengetahui perbedaannya. Sedangkan untuk harga ratio pembebanan yang lain untuk bentuk beban segitiga dan sinusoidal tidak bisa ditampilkan karena specimen uji sudah patah pada waktu pemberian ratio 0,2, sehingga tidak bisa dibandingkan dalam bentuk grafik.

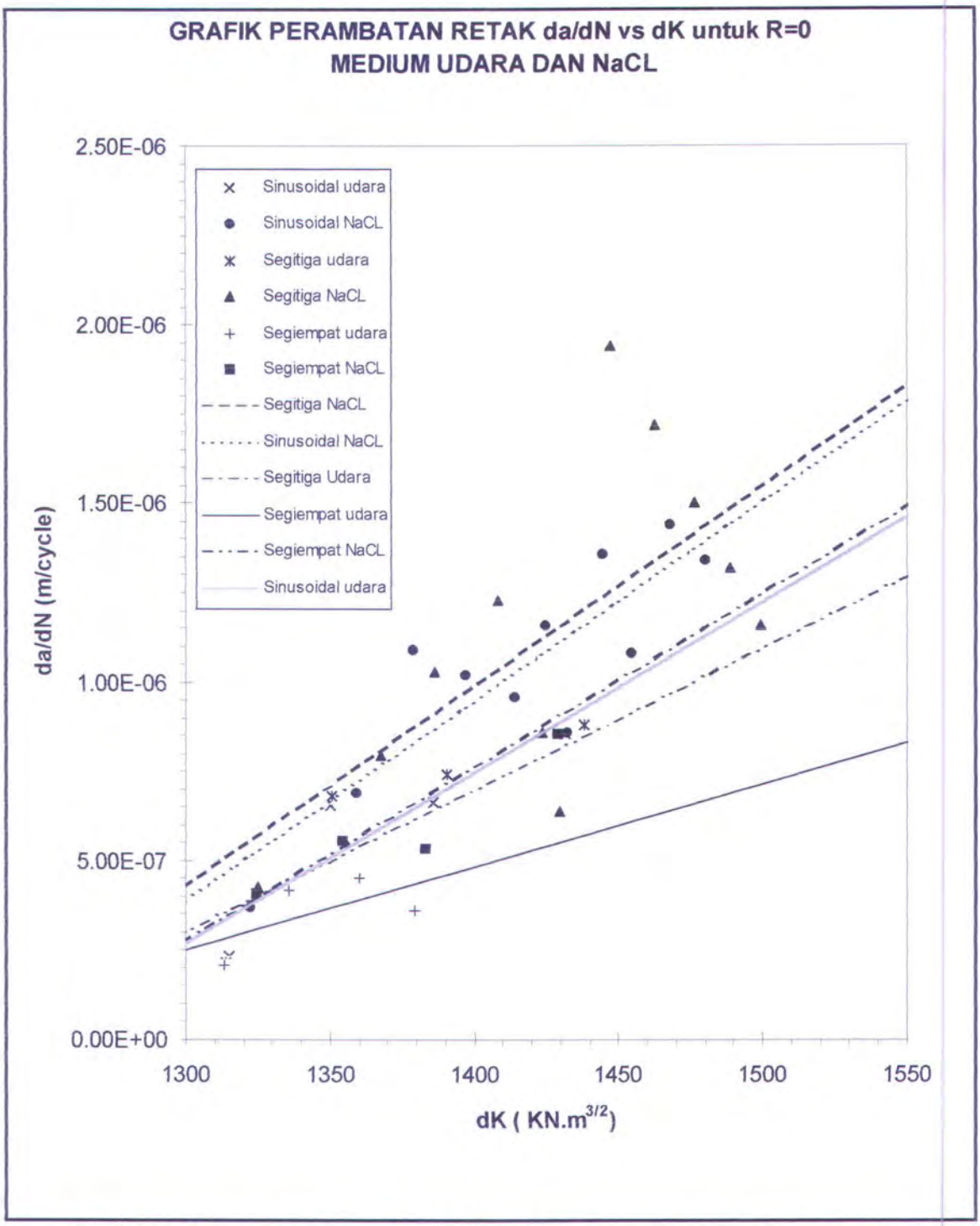


Grafik V.30. Perambatan retak da/dN vs dK pada Media NaCL dan Ratio = 0,0

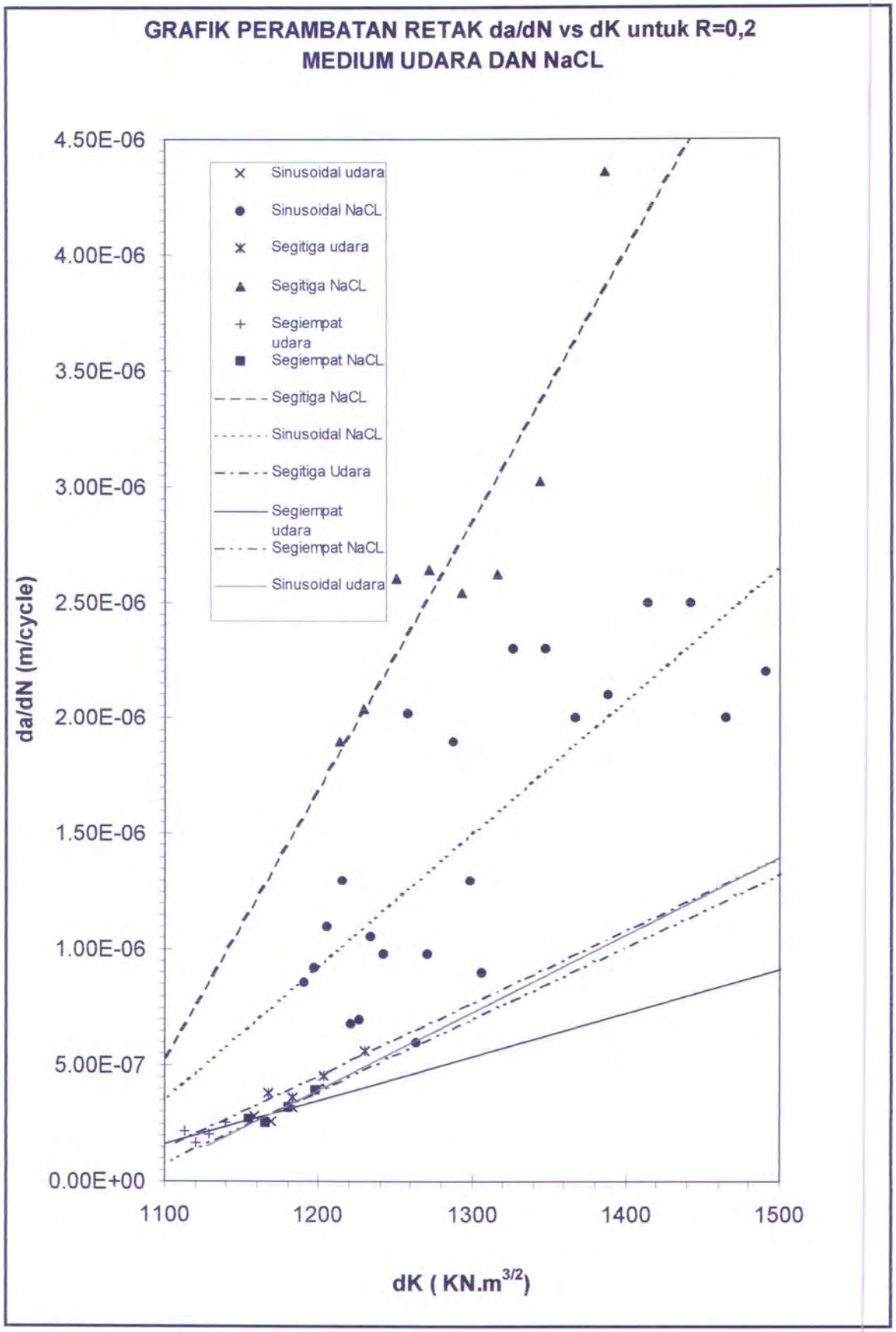


Grafik V.31. Perambatan retak da/dN vs dK Pada Media NaCL dan Ratio = 0,2

Untuk memperjelas pengaruh bentuk pembebanan dan lingkungan yang korosif terhadap laju penjalaran retak material SS-41 maka ditampilkan semua hasil pengujian dalam bentuk grafik untuk Ratio pembebanan 0,0 dan 0,2 seperti dibawah ini ;



. Grafik V.32. Perambatan retak da/dN vs dk untuk media Udara dan NaCL,R=0



Grafik V.33 .Perambatan retak da/dN vs dK media NaCL, Udara, Ratio = 0,2

V.3. Analisa Grafik Hasil Pengujian

Pada grafik V.32 dan grafik V.33 terlihat bahwasannya lingkungan ynng korosif yaitu larutan NaCl yang diberikan kematerial uji jenis SS 41 dengan cara disemprotkan kedaerah notch akan mempercepat dari laju pertambahan retak material uji fatique dibandingkan dengan lingkungan udara. Hal ini tidak lain karena adanya dua alasan utama yang dapat menyebabkan hal tersebut:

1. Adanya reaksi kimia/korosi yang terjadi pada daerah ujung retak (daerah slip) yang menyebabkan keausan. Apabila suatu baja dicelupkan pada air atau air laut maka reaksi yang terjadi dapat diinterpretasikan sebagai berikut:

   Reaksi Anaodik : $Fe \ldots\ldots\ldots \longrightarrow Fe^{2+} + 2e^{-}$

   Pada pengujian ini diambil media air laut dengan jalan penyemprotan dikarenakan kondisi ini adalah kondisi yang paling korosif dibandingkan dengan cara pencelupan, hal ini karena adanya oksigen sebagai salah satu unsur yang mempercepat laju korosi. Dan pemilihan air laut sebagai media penguji dikarenakan air laut cukup mewakili lingkungan kerja dari material dan selain itu juga kandungan terbanyak dari air laut adalah NaCL sehingga bisa dikatakan sebagai larutan NaCL. Hal ini bisa dilihat pada table dibawah ini.

Compound	Concentration (g/lt)	Compound	Concentration (g/lt)
NaCl	24.53	$SrCl_2$	0.025
MgCl	5.2	NaF	0.003
Na_2SO_4	4.09	$Ba(NO_3)_2$	0.0000994
$CaCl_2$	1.16	$Mn(NO_3)_2$	0.000034
KCl	0.695	$Cu(NO_3)_2$	0.0000308
$NaHCO_3$	0.201	$Zn(NO_3)_2$	0.0000151
KBr	0.101	$Pb(NO_3)_2$	0.0000066
H_2BO_3	0.027	$AgNO_3$	0.0000049
Chlorinity = 19,38. Adjust pH to 8.2 with 0.1 N_2OH			

Tabel V. 26. Komposisi Air Laut

Pengujian diadakan diruang terbuka dan pemberian media terhadap specimen dilakukan dengan jalan penyemprotan sehingga akibatnya unsur oksigen dan air akan mengalami reaksi katodik:

Reaksi Katodik : $O_2 + H_2O + 4e^- \longrightarrow 4\ OH^-$

Sedangkan ion clorid tidak ikut bereaksi, maka reaksi yang terjadi merupakan penggabungan reaksi katodic dan anodic tersebut diatas.

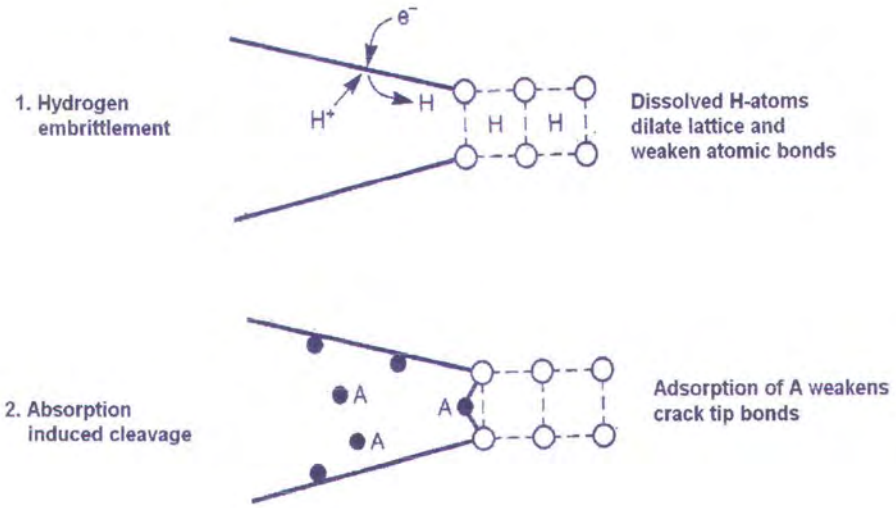
$2\ Fe + 2H_2O + O_2 \longrightarrow 2\ Fe^{2+} + 4OH^- \longrightarrow 2\ Fe(OH)_2$ (karat)

Tetapi Oksida diatas tidak stabil dalam larutan yang mengandung oksigen dan cenderung membentuk ferrit salt :

$2\ Fe(OH)_2 + H_2O + ½\ O2 \longrightarrow 2\ Fe(OH)_2$ (karat)

Unsur besi dalam reaksi korosi tidak pernah terhenti karena karat yang telah ada akan bereaksi secara terus menerus dengan logam besi yang belum terkorosi, dan dampaknya adalah berkurangnya unsur besi didalam komposisi baja terutama pada bagian ujung dan sekitar retak sehingga akhirnya pada bagian ujung retak menjadi rapuh dan aus [Francis, 1972].

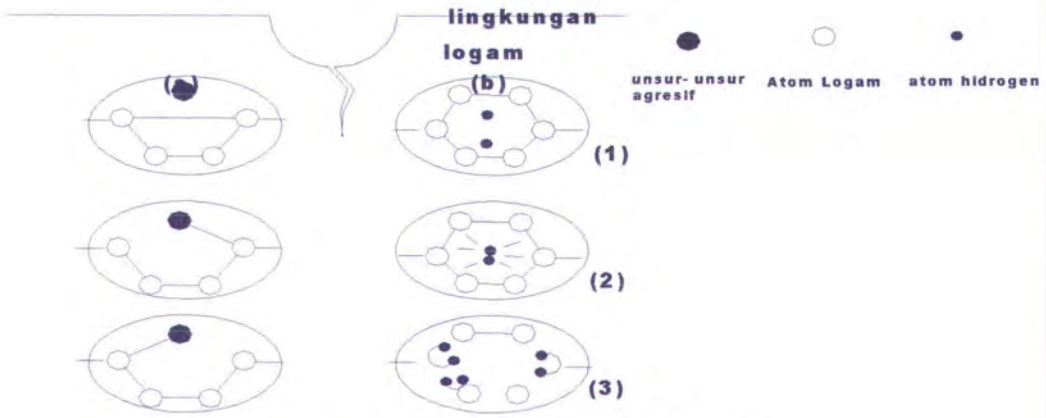
2. Adanya Hidrogen Embrittlement dan penyerapan unsur yang agresif, yaitu adanya ion-ion agresif yang spesifik akan mengurangi kekuatan ikatan-ikatan antara atom logam diujung retakan akibat adanya proses adsorbsi dan ini menyebabkan terbentuknya ikatan antara logam dan unsur-unsur agresif. Energi yang digunakan untuk mengikat antara atom logam dan unsur agresif menyebabkan berkurangnya energi ikatan antara logam dengan logam sehingga pemisahan secara mekanik mudah terjadi. Dimana secara garis besar proses diatas dapat dijelaskan dengan bagan gambar dibawah ini [Fontana, 1978] :



Gambar V.1. Mekanisme Absorbsi dan Hidrogen Embrittlement

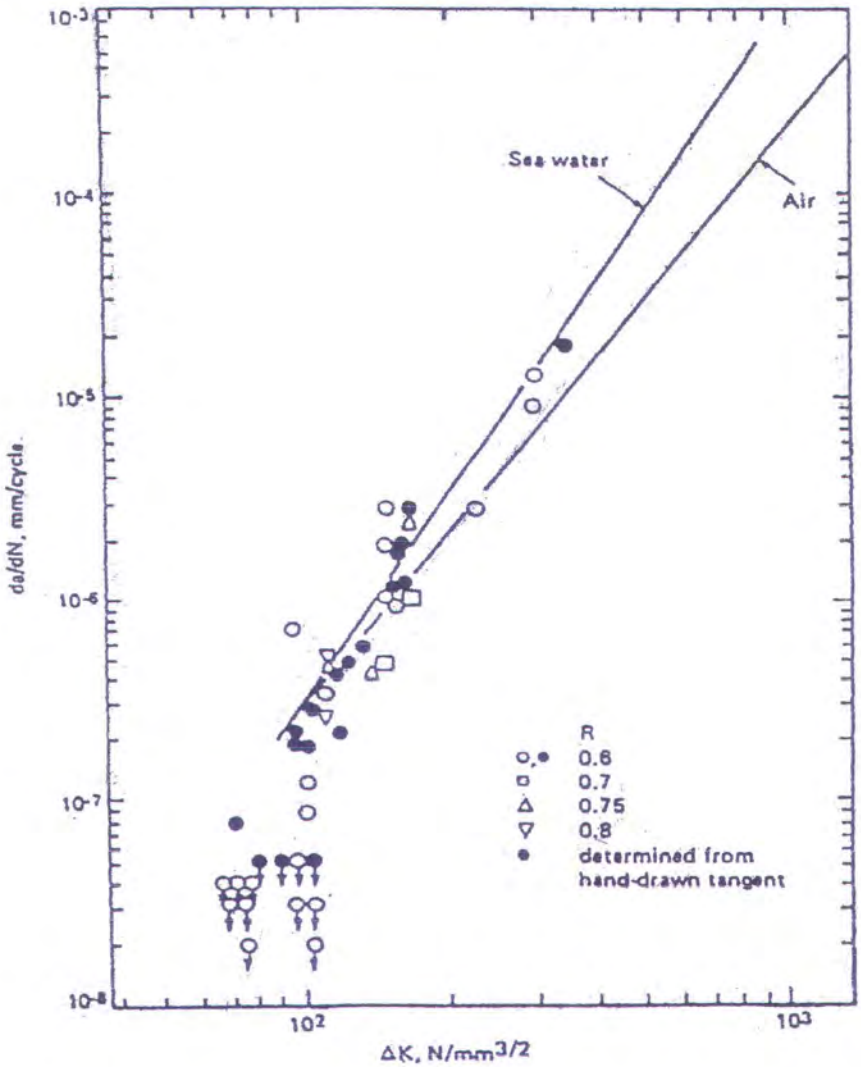
Secara garis besar proses hidrogen Embrittlement dapat digariskan sebagai berikut:

- Unsur agresif diabsorbsi retakan menyebabkan kekuatan ikatan antar logam berkurang.
- (1). Pemisahan oleh absorbsi hydrogen di daerah yang melebar secara lokal tepat didepan ujung retakan (2). Gas hydrogen terbentuk di daerah yang melebar lokal atau disepanjang bidang sesar, tekanan gas ini membantu putusnya ikatan antar logam. (3). Pembentukan hibrida logam menyebabkan berkurangnya kekuatan ikatan antar logam dan perapuhan didaerah tepat di ujung retakan sehingga mempercepat proses penambahan keretakan.



Gambar. V.2. . Mekanisme Penjalaran Retak

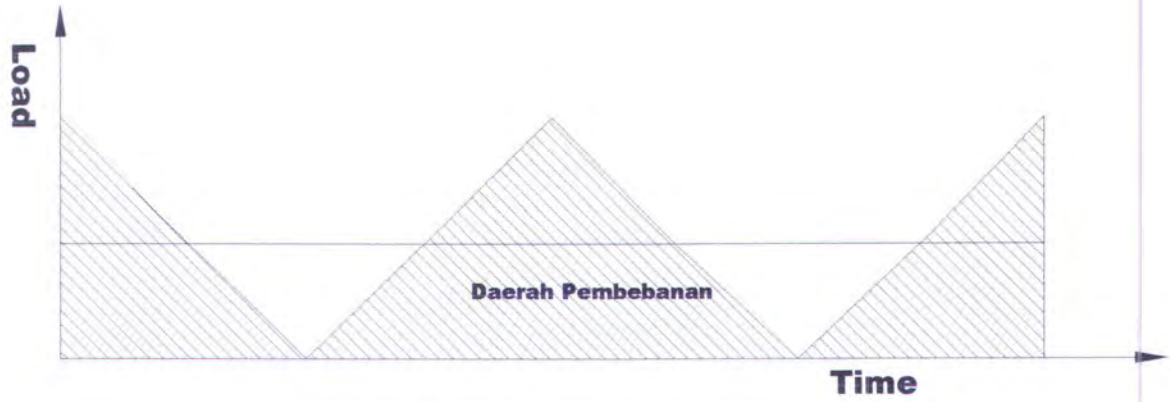
Pengujian fatique yang dilakukan mendekati apa yang dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya, seperti hasil penelitian dibahwa ini bahwasannya lingkungan yang korosif akan mempercepat laju penjalaran retak suatu bahan [P, Bristoll and J.A. Roeleveld].



Gambar V. 3 . Penjalaran retak Pada Air Laut

Pada penulisan tugas akhir ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari bentuk pembebanan segitiga terhadap laju penjalaran retak pada media yang korosif. Untuk itu maka peneliti membandingkan hasil pengujian fatique bentuk beban segitiga dengan beban sinusoidal dan segi empat pada lingkungan udara dan semprotan larutan NaCl.

Dari Grafik V.32 dan V.33 terlihat bahwasannya laju penjalaran retak untuk bentuk beban segitiga lebih besar dibandingkan dengan bentuk beban sinusoidal dan segiempat. Hal yang utama mempengaruhi dari kecepatan peretakan dalam pengujian ini adalah bentuk dari beban itu sendiri Pada pembebanan bentuk segitiga seperti gambar dibawah ini;

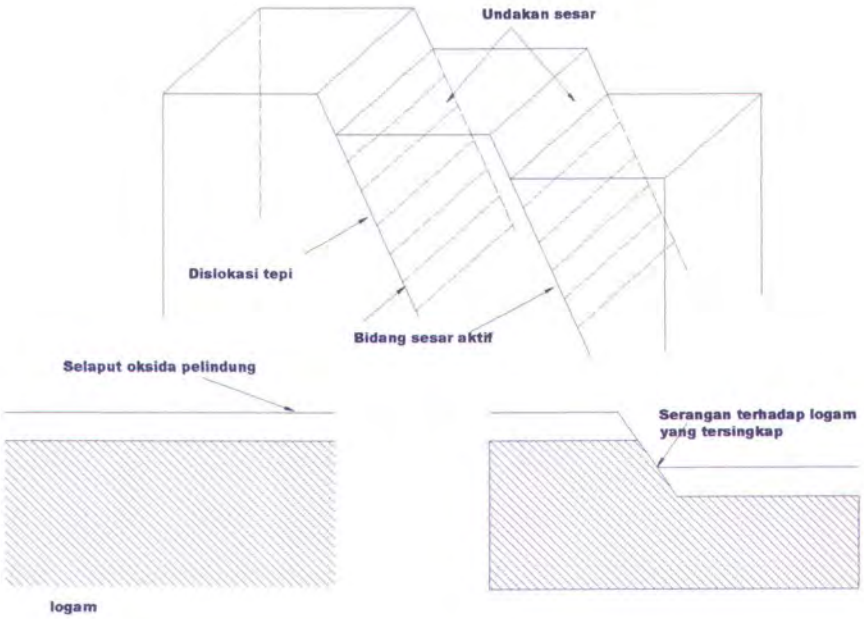


Gambar V. 4. Bentuk Pembebanan Segitiga

ITS

Dari Gambar diatas terlihat jelas bahwasannya load bertambah secara linear terhadap waktu untuk bentuk pembebanan segitiga, dan hal ini menyebabkan pembentukan undakan sesar (cyclic slip) lebih besar dibandingkan dengan bentuk beban yang lain pada daerah ujung retak. Cyclic slip merupakan fase yang sangat penting dalam suatu proses fatique karena tanpa terjadinya cyclic slip kemungkinan terjadinya kelelahan dalam suatu material akan tidak mungkin terjadi [Hellan, 1985]. Pada bentuk beban segitiga tidak adanya i hold time pada waktu pembebanan dimana kalau terdapat hold time maka pada daerah ujung retak terjadi tidak terjadi penghentian pembentukan undakan sesar (cyclic slip). Karena Alasan inilah bentuk pembebanan segitiga yang diberikan terhadap material uji lebih cepat laju perambatan retaknya dibandingkan dengan bentuk pembebanan sinusoidal dan persegi empat pada medium udara. Sedangkan pada media NaCL untuk bentuk pembebanan segitiga laju perambatan retaknya paling cepat, hal ini dikarenakan

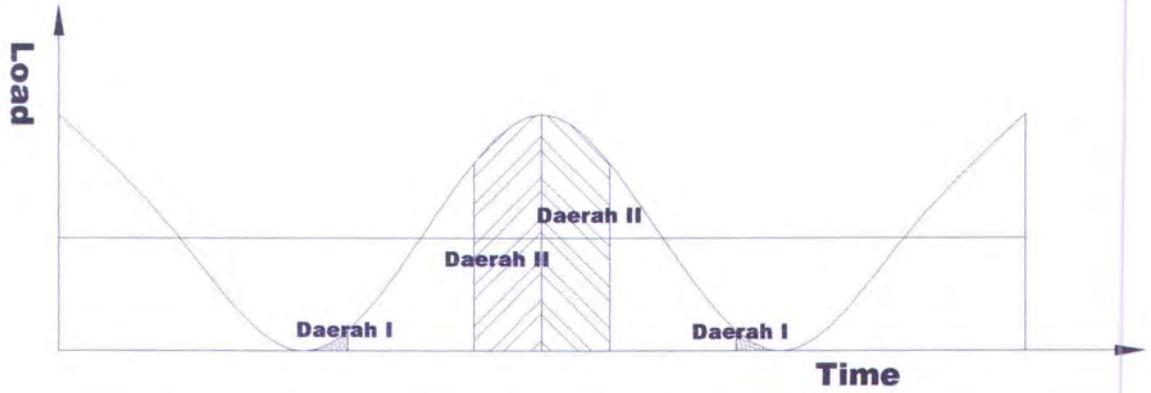
undakan sesar pada daerah ujung retak lebih banyak jumlahnya daripada bentuk beban segiempat dan sinusoidal, sehingga larutan NaCL bisa masuk kedalam celah-celah undakan sesar yang bersifat lebih aktif dibandingkan dengan daerah yang lainnya. Dengan adanya fase tersebut akan memicu terjadinya korosi sumuran pada daerah ujung retak selain itu juga memperbesar kemungkinan terjadinya adsorbsi larutan korosif dan hidrogen kedalam susunan kristal material yang berdampak terhadap perapuhan material, sehingga laju pertambahan retak akan bertambah cepat, Seperti terlihat gambar dibawah ini.



Gambar V.5 . Peranan Utama undakan sesar dalam peretakan lelah dalam NaCl

Hal yang menyebabkan laju pertambahan retak untuk pembebanan bentuk sinusoidal dan segiempat lebih lambat dari bentuk segitiga adalah karena adanya daerah pembebanan dimana material uji tidak tersingkap karena pembebanan yang cenderung landai dalam artian slope pembebanan lebih kecil dibandingkan dengan segitiga. Perlu diketahui pembebanan yang digunakan adalah pembebanan pada daerah elastis material, sehingga apabila slope pembebanan kecil maka penyingkapan tidak akan terjadi. Dan apabila hal ini terjadi maka terjadinya adsorbsi unsur korosif dan hidrogen pada daerah

sesar dapat tidak terjadi, sehingga laju pertambahan retak pada daerah ujung retak menjadi berkurang. Pada beban bentuk sinusoidal terlihat bahwasanya pada daerah I dan II slope pembebanan cenderung kecil , sehingga menyebabkan waktu penyingkapan daerah undakan sesar lebih lambat dibandingkan dengan pembebanan bentuk segitiga , dan proses korosi yang menyebabkan perapuhan pada daerah ujung retak akan lebih kecil terjadi. Dengan adanya hal ini laju pertambahan retak akan terhambat.



Gambar V.6.Pembagian Daerah Pembebanan sinusoidal

Gambar V.7. Pembagian Daerah Pembebanan segiempat

Begitu juga pada bentuk pembebanan segi empat , yang mana pembebanan mula-mula naik dengan cepat tetapi dalam silkus waktu tertentu pembebanan konstan. Pada waktu beban bertambah dengan cepat daerah undakan sesar akan terbuka, namun dengan singkatnya waktu yang hampir $t \approx 0$ menyebabkan larutan korosif tidak bisa masuk kedalam celah celah slip yang bersifat lebih aktif dibandingkan daerah yang lainnya. Dan pada waktu pembebanan mencapai daerah konstan justru celah sesar baru tidak terbentuk karena pada laju pembebanan yang konstan cyclic slip cenderung tidak terjadi. Dengan adanya fenomena ini maka laju pertambahan retak pada bentuk pembebanan segiempat adalah paling lambat baik untuk media korosif maupun udara. Dalam media udara perbedaan laju retak dengan bentuk segitiga dan sinus tidak begitu besar, tetapi ketika menggunakan larutan NaCL sebagai media penguji pebedaannya begitu besar. Jadi factor waktu penyingkapan dan pembentukan daerah undakan sesar (cyclic slip) baru sangat berpengaruh terhadap penambahan laju perambatan retak suatu material

Prosentase penambahan $laju_{rata\text{-}rata}$ penjalaran retak untuk masing masing spesimen dan ratio dapat ditunjukkan dalam tabel berikut :

Media	Bentuk Beban	R	Rata-rata laju retak da/3000 cycle (m)	Prosentase penambahan laju retak (%)	Keterangan
udara	segiempat	0,0	1.08E-03	63.81	
NaCl	segiempat	0,0	1.77E-03		
udara	segiempat	0,2	6.33E-04	47.04	
NaCl	segiempat	0,2	9.03E-04		
udara	segiempat	0,3	3.70E-04	58.78	
NaCl	segiempat	0,3	5.88E-04		
udara	segiempat	0,5	2.00E-04	21.25	
NaCl	segiempat	0,5	2.43E-04		
udara	segiempat	0,8	1.00E-04	25.00	
NaCl	segiempat	0,8	1.25E-04		
udara	segitiga	0,0	1.89E-03	1783.75	
NaCl	segitiga	0,0	3.59E-02		
udara	segitiga	0,2	1.33E-03	-	patah pada cycle
NaCl	segitiga	0,2	-		16500
udara	sinusoidal	0,0	1.81E-03	1842.05	
NaCl	sinusoidal	0,0	3.51E-02		
udara	sinusoidal	0,2	9.63E-04	-	patah pada cycle
NaCl	sinusoidal	0,2	-		23500

Tabel V.27. Persentase pertambahan laju retak

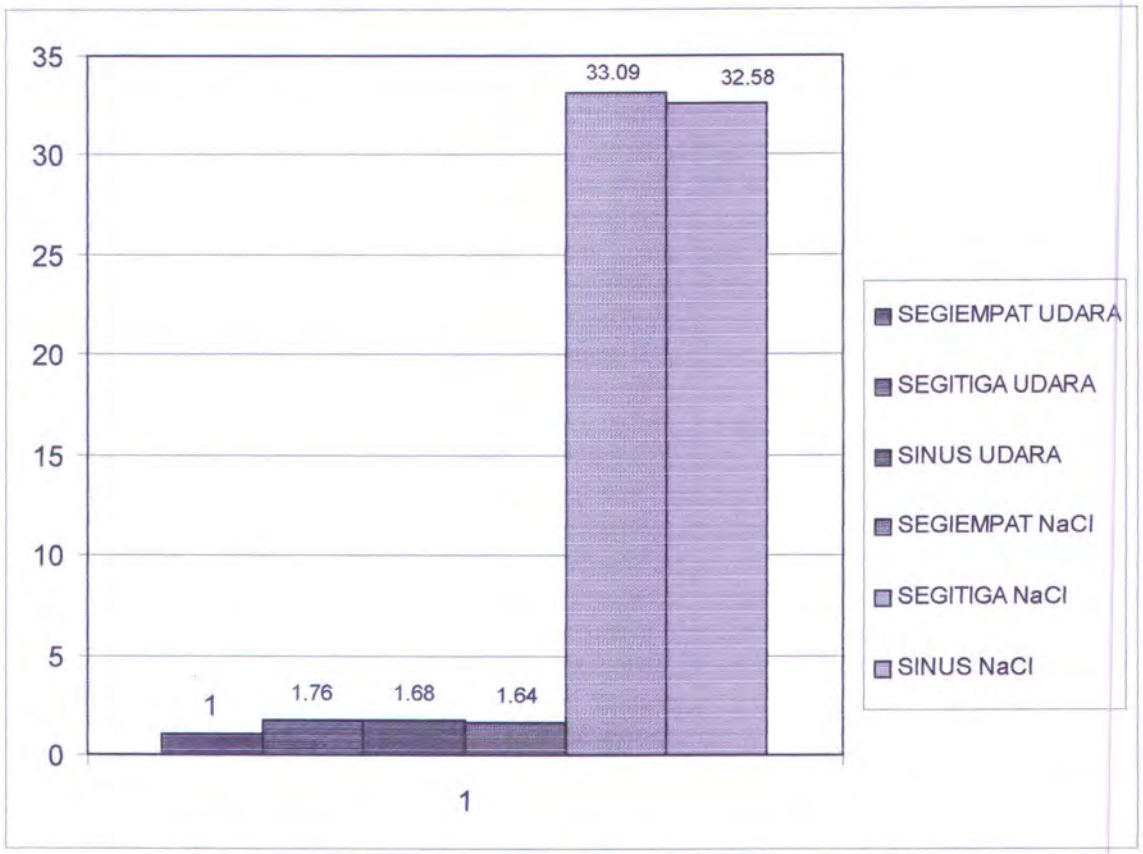
Dari tabel V.34 terlihat bahwasanya prosentase penambahan retak terbesar untuk satu jenis pembebanan dan rasio adalah pada beban sinusoidal yaitu sebesar 1842,047 % pada ratio 0,0. Tetapi jika kita lihat rata-rata pertambahan laju retak untuk tiap 3000 cycle pembebanan dan cycle terjadinya fracture, maka beban segitiga lebih cepat dari beban sinusoidal dan segiempat yaitu pada cycle 16500 sudah mengalami kepatahan.

Perbandingan laju keepatan perambatan retak pada pengujian ini hanya bisa dibandingkan pada ratio 0,0 dan 0.2, karena pada ratio 0.2 beban segitiga dan sinusoidal sudah mengalami fatique. Adapun perbandingan besarnya laju $retak_{rata\text{-}rata}$ untuk seluruh bentuk beban dan media pada R = 0.0 dan R = 0,2 dengan pembanding laju penjalaran $retak_{rata\text{-}rata}$ bentuk beban segiempat, media udara adalah sebagai berikut :

Media	Bentuk Beban	R	Harga perbandingan	Keterangan
udara	segiempat	0,0	1	
udara	segitiga		1.75638051	
udara	sinusoidal		1.6774942	
NaCl	segiempat		1.638051044	
NaCl	segitiga		33.08584687	
NaCl	sinusoidal		32.57772622	
udara	segiempat	0,2	1	
udara	segitiga		2.102766798	
udara	sinusoidal		1.52173913	
NaCl	segiempat		1.470355731	
NaCl	segitiga		-	patah di 16500 cycle
NaCl	sinusoidal		-	patah di 23500 cycle

Tabel V.28. Harga perbandingan laju
Retak untuk R = 0 dan 0,2

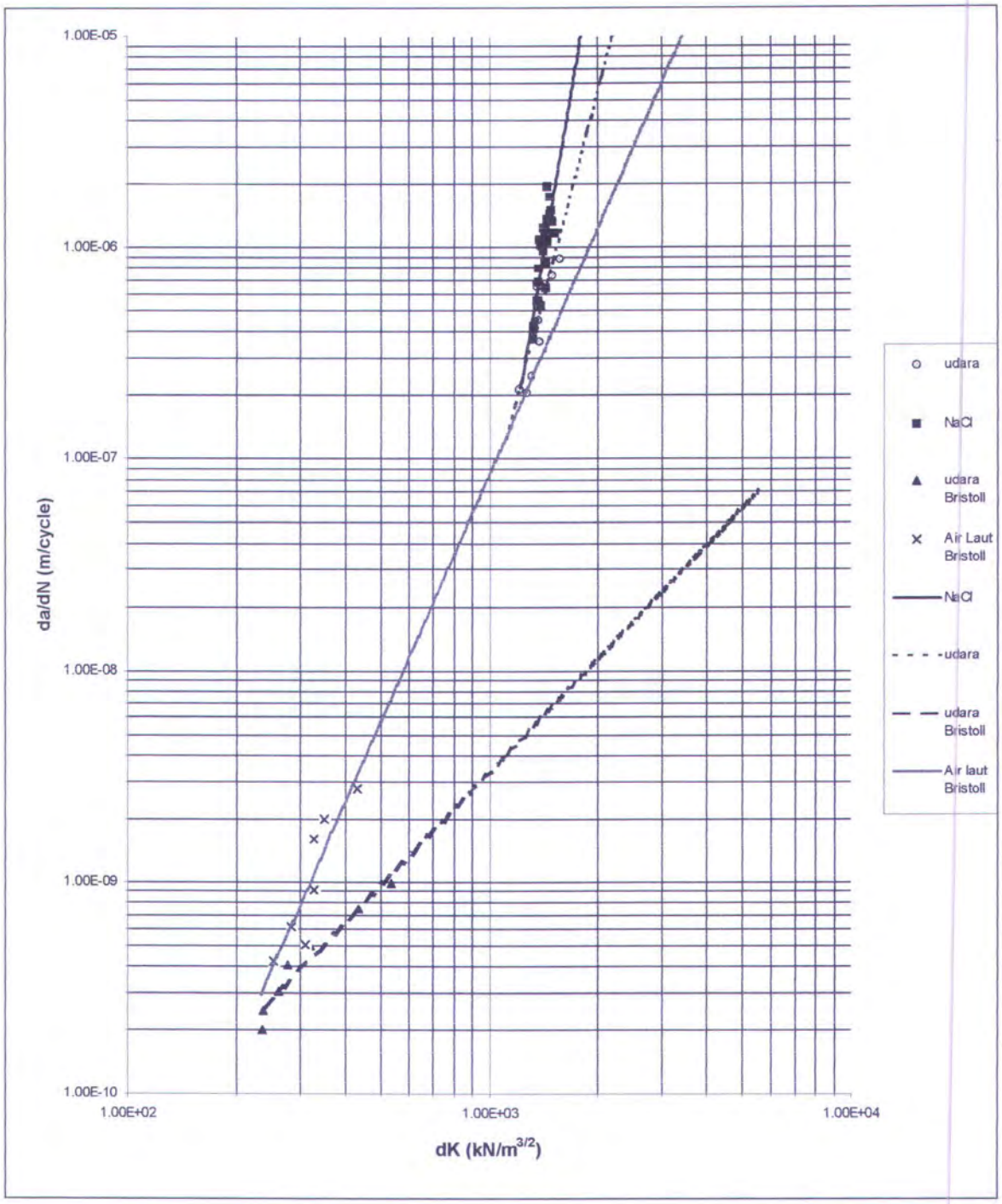
Kalau tabel diatas disajikan dalam bentuk grafik perbandingan laju pertambahan retak adalah sebagai berikut :



Grafik V.34. Perbandingan laju retak untuk R = 0,0

Pada pengujian ini ratio beban yang diberikan dalam satu pengujian untuk satu spesimen adalah lima macam (0,0; 0,2; 0,3; 0,5; 0,8) dimana untuk perubahan dari tiap tiap ratio, pembebanan mesin uji yang diberikan kematerial dihentikan terlebih dahulu , baru kemudian sesuai ratio beban berikutnya mesin uji diset ulang. Jadi karena adanya perubahan dari loading – unloading – loading menyebabkan adanya gejala retardasi yaitu perlambatan laju retak. Hal ini dapat dilihat dalam tabel-tabel perhitungan laju retak dihalaman depan.

Adapun hasil perbandingan dengan pengujian bristoll dalam bentuk grafik dapat dijelaskan dibawah ini:



Grafik V.35 .Perambatan retak da/dN vs dK media NaCL, Udara, dan Air Laut

Dari grafik V.34 terlihat bahwa laju penjalaran retak dalam penulisan tugas akhir ini lebih cepat dibandingkan dengan hasil yang didapat oleh bristoll dan J.A. Roeleveld. Hal ini tidak lain karena adanya perbedaan dalam metodologi pengujian yang digunakan, tetapi secara garis besar dari dua data pengujia dapat disimpulkan bahwasanya lingkungan

yang korosif dapat mempercepat laju penjalaran retak yang diakibatkan oleh beban dinamis yang diterima oleh suatu struktur.

BAB VI

KESIMPULAN