

**SKRIPSI**

**PENGARUH VARIASI BEBAN TERHADAP KOROSI KELELAHAN  
ALUMINIUM AI5005 PADA LINGKUNGAN NaCl**

Oleh :

**REVANSI JUNARTO**

**D211 16 314**



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2021**

**SKRIPSI**

**PENGARUH VARIASI BEBAN TERHADAP KOROSI KELELAHAN  
ALUMINIUM A15005 PADA LINGKUNGAN NaCl**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**REVANSI JUNARTO  
D211 16 314**

**Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2021**

## LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan mengikuti ujian akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Pada tanggal 2 Juni 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

**JUDUL :**


**PENGARUH VARIASI BEBAN TERHADAP KOROSI KELELAHAN  
ALUMINIUM A15005 PADA LINGKUNGAN NaCl**

**REVANSI JUNARTO**  
**D211 16 314**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

  
**Dr. Hairul Arsyad, ST., MT**  
**NIP. 19750322 200212 1 001**

  
**Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT**  
**NIP. 19740415 199903 1 001**

Mengetahui,  
Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin

  
  
**Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT.**  
**19720825 200003 1 001**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Revansi Junarto  
NIM : D21116314  
Program Studi : Teknik Mesin  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

### **PENGARUH VARIASI BEBAN TERHADAP KOROSI KELELAHAN ALUMINIUM AI5005 PADA LINGKUNGAN NaCl**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri .

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa Sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain ,maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa , 2 Juni 2021

Yang Menyatakan



Revansi Junarto

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

**Nama** : **Revansi Junarto**

**Tempat Tanggal Lahir** : **Gandang Batu, 01 Juni 1998**

**Alamat** : **Jl. Keberkahan, BTP Blok AD NO.92**

**Jenis Kelamin** : **Laki-laki**

**Agama** : **Kristen Protestan**

**Telepon** : **085397607415**

**E-mail** : **revansjr01@gmail.com**

**Riwayat Pendidikan** : **SMA Kr. Barana**  
**SMPN 1 Wasuponda**  
**SDN 250 WASUPONDA**

**Riwayat Organisasi** : **OKFT UH**  
**HMM FT UH**  
**KMKO FT UH**

**Pengalaman Magang (*Internship*)** : **PT. POSO ENERGI**

## ABSTRAK

Revansi Junarto(D21116314).Pengaruh variasi beban terhadap korosi kelelahan Aluminium Al5005 pada lingkungan NaCl.(Dibimbing oleh Dr.Hairul Arsyad,ST.,MT. Dan Dr. Eng Lukmanul Hakim. ST.,MT.)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui (1) pengaruh Variasi Beban terhadap kelelahan korosi Aluminium 5005 pada lingkungan NaCl, (2) pengaruh kekasaran permukaan spesimen terhadap kelelahan korosi Aluminium 5005 pada lingkungan NaCl, (3) foto patahan pada permukaan aluminium 5005 dari hasil pengujian fatik korosi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah siklus kelelahan korosi yang menurun pada spesimen Aluminium Al5005 seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan. Jumlah siklus tertinggi pada beban 250 N sebanyak 42507 siklus dan jumlah siklus terendah pada beban 400 N sebanyak 5668 siklus. Hal tersebut disebabkan karena spesimen memiliki beban maksimum yang dapat di terima sebelum putus, semakin tinggi beban yang diberikan maka beban tersebut semakin mendekati beban maksimum yang dapat diterima oleh spesimen, sehingga spesimen lebih cepat putus. Dengan adanya perbedaan kekasaran permukaan jumlah siklus fatik korosi yang terjadi juga berbeda. Semakin kasar permukaan spesimen maka jumlah siklus yang terjadi semakin sedikit dan semakin halus permukaan spesimen maka jumlah siklus yang dihasilkan semakin banyak. Hal tersebut disebabkan karena permukaan yang kasar akan menjadi daerah inisiasi retakan dan tingkat pertumbuhan retak tinggi pada permukaan yang kasar. Permukaan yang kasar juga menyebabkan larutan NaCl lebih mudah tinggal diperumukan spesimen. Bentuk patahan spesimen yang diberikan beban tinggi cenderung memiliki bentuk patahan yang halus mengindikasikan perpatahan spesimen berlangsung cepat. Sementara, untuk spesimen yang diberikan beban rendah cenderung memiliki bentuk patahan yang kasar mengindikasikan perpatahan berlangsung lambat

Kata kunci : Aluminium Al5005, Fatik Korosi, Kekasaran Permukaan, NaCl

## ABSTRACT

Revansi Junarto (D21116314). *The effect of load variations on corrosion fatigue Aluminium Al5005 in the NaCl environment.* (Supervised by Dr. Hairul Arsyad, ST., MT. And Dr. Eng Lukmanul Hakim. ST., MT.)

*This research aims to determine (1) the effect of load variations on the corrosion fatigue of Aluminum 5005 in the NaCl environment, (2) the effect of sandpaper surface roughness against corrosion fatigue of Aluminium 5005 in the NaCl environment, (3) photo of the fracture on the aluminum 5005 surface from the results of the corrosion fatigue test.*

*The results showed that the number of corrosion fatigue cycles decreased in the aluminum specimen Al5005 along with the increasing load applied. The highest number of cycles at a load of 250 N was 42507 cycles and the lowest number of cycles was at a load of 400 N as many as 5668 cycles. This is because the specimen has a maximum load that can be accepted before breaking, the higher the load given, the load is closer to the maximum load that can be accepted by the specimen, so that the specimen will break more quickly. With the difference in surface roughness, the number of corrosion fatigue cycles that occurs is also different. The rougher the surface of the specimen, the fewer cycles that occur and the smoother the surface of the specimen, the more cycles are generated. This is because the rough surface will be a crack initiation area and the crack growth rate is high on the rough surface. The rough surface also makes it easier for the NaCl solution to stay in the specimen. The fracture shape of the specimen under high load tends to have a smooth fracture, indicating fast fracture of the specimen. Meanwhile, specimens subjected to low loads tend to have a rough fracture, indicating slow fracture. The fracture shape of the specimen under high load tends to have a smooth fracture, indicating fast fracture of the specimen. Meanwhile, specimens subjected to low loads tend to have a rough fracture, indicating slow fracture. The fracture shape of the specimen under high load tends to have a smooth fracture, indicating fast fracture of the specimen. Meanwhile, specimens subjected to low loads tend to*

*have a rough fracture, indicating slow fracture*

*Keywords : Aluminum Al5005, Corrosion Fatigue, Surface Roughness, NaCl*



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur dipanjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan kekuatan, rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini dengan judul **“Pengaruh Variasi Beban Terhadap korosi kelelahan Pada Aluminium 5050”** Penyusunan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan dikarenakan keterbatasan penulis sebagai manusia biasa. Untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dalam skripsi ini. Semoga skripsi ini berguna bagi penulis dan pihak-pihak lain sebagai acuan untuk kebutuhan ilmu pengetahuan.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan bimbingan serta masukan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis juga sangat menyadari penyusunan skripsi ini tidak akan selesai tanpa kerja keras penulis dan bantuan orang-orang terdekat yang selalu memberikan berbagai macam dukungan dan masukan demi kelancaran skripsi ini. Atas alasan itu pula penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan Anugrah-Nya sehingga Penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Kedua orang tua saya tercinta Taro dan Martha Pasorong terima kasih atas semua kasih sayang, doa dan petuahnya yang tidak pernah putus, beliau adalah semangat penulis dalam menyelesaikan studi ini.
3. Rizal Minarto dan Rezi Meilani sebagai adik yang selalu siap sedia memberi doa dan dukungan kepada penulis.
4. Bapak Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT. selaku ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta seluruh staff Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuan dan kemudahan administrasi yang diberikan.
5. Bapak Dr. Hairul Arsyad, ST., MT. selaku pembimbing I penulisan Skripsi ini.

6. Bapak Dr.Eng Lukmanul Hakim Arma, ST., MT .selaku pembimbing II penulisan Skripsi ini.
7. Bapak Dr. Muhammad Syahid, ST., MT. selaku penguji I.
8. Bapak Dr.Ir.H. Ilyas Renreng, M.T.selaku penguji II.
9. Segenap Dosen Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
10. Kanda Imam Adli Agil dan Cahyadi sebagai rekan penelitian dan membantu dalam penyelesaian skripsi.
11. Anastasia Reski Dua Lembang yang telah membantu penulis dalam penyelesaian skripsi.
12. Saudara-saudara seperjuangan penulis Comprizzor 2016 yang sudah menjadi tim hore dan tim support paling hebat yang selalu ada dalam suka maupun duka, yang bahkan saya tidak yakin bisa menyelesaikan penelitian ini dengan baik tanpa mereka.
13. Teman – teman seperjuangan Laboratorium Metalurgi Fisik
14. Pengurus KMKO Mesin UH atas pengalaman dan kisah berkesannya.
15. Terakhir untuk seseorang yang tak dapat disebutkan namanya yang sudah menjadi motivasi penulis.

Revansi Junarto

Gowa, Juni 2021

## DAFTAR ISI

<b>SKRIPSI .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBARAN PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Material Aluminium .....	5
2.2 Fatigue .....	12
2.3 Korosi .....	15
2.4 Korosi Kelelahan .....	21
2.5 Kekasaran Permukaan .....	25
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>29</b>
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	29
3.2 Alat dan Bahan .....	29
3.3 Metode Penelitian .....	38
3.4 Pelaksanaan Penelitian .....	38
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>44</b>
4.1 Hasil Penelitian .....	46
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>61</b>

5.1 Kesimpulan .....	61
5.2 Saran .....	62
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>63</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>64</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Diagram fasa Aluminium Al5005 .....	10
<b>Gambar 2.2</b>	Foto struktur mikro Aluminium Al5005 .....	11
<b>Gambar 2.3</b>	Hasil pengujian tarik Aluminium Al5005 .....	11
<b>Gambar 2.4</b>	Kurva S-N.....	14
<b>Gambar 2.5</b>	Diagram Goodman .....	14
<b>Gambar 2.6</b>	Korosi Seragam .....	16
<b>Gambar 2.7</b>	Pitting Corrosion .....	16
<b>Gambar 2.8</b>	Korosi Erosi .....	17
<b>Gambar 2.9</b>	Korosi Galvanis .....	17
<b>Gambar 2.10</b>	Korosi Tegangan .....	18
<b>Gambar 2.11</b>	Korosi Celah .....	18
<b>Gambar 2.12</b>	Korosi Mikro biologi .....	19
<b>Gambar 2.13</b>	Tiga Jenis Perilaku Pertumbuhan Retak Korosi Kelelahan .....	23
<b>Gambar 2.14</b>	Surface Texture Features .....	26
<b>Gambar 2.15</b>	Kurva Kekasaran .....	26
<b>Gambar 3.1</b>	Mesin Uji Fatik Korosi .....	29
<b>Gambar 3.2</b>	Mikroskop Optik .....	31
<b>Gambar 3.3</b>	Gerinda .....	31
<b>Gambar 3.4</b>	Kikir .....	32
<b>Gambar 3.5</b>	Ragum .....	32
<b>Gambar 3.6</b>	Penggaris .....	33
<b>Gambar 3.7</b>	Jangka Sorong .....	33
<b>Gambar 3.8</b>	Mesin Amplas .....	34
<b>Gambar 3.9</b>	Chamios .....	34
<b>Gambar 3.10</b>	Gelas Beaker .....	35
<b>Gambar 3.11</b>	Timbangan Digital .....	35

<b>Gambar 3.12</b> Pegas Uji Tarik .....	36
<b>Gambar 3.13</b> Aluminium Al5005 .....	36
<b>Gambar 3.14</b> NaCl Padat .....	37
<b>Gambar 3.15</b> Aquades .....	37
<b>Gambar 3.16</b> Pembuatan Alat Uji Fatik Korosi .....	39
<b>Gambar 3.17</b> Pengujian Tarik Pegas .....	40
<b>Gambar 3.18</b> Kalibrasi Beban Pada Alat Uji .....	40
<b>Gambar 3.19</b> Proses Pembuatan Luran NaCl .....	41
<b>Gambar 3.20</b> Proses Pengujian Fatik Korosi .....	42
<b>Gambar 4.1</b> Kalibrasi Pegas Pada Alat Uji Tarik .....	45
<b>Gambar 4.2</b> Grafik Uji Tarik Pegas .....	45
<b>Gambar 4.3</b> Grafik Siklus Pembebanan .....	47
<b>Gambar 4.4</b> Grafik Hubungan Antara Siklus Dan Beban Pada Kekasaran permukaan kasar .....	48
<b>Gambar 4.5</b> Grafik Hubungan Antara Siklus Dan Beban Pada Kekasaran permukaan sedang .....	48
<b>Gambar 4.6</b> Grafik Hubungan Antara Siklus Dan Beban Pada Kekasaran permukaan halus .....	49
<b>Gambar 4.7</b> Grafik Pengujian Fatik Korosi Dengan Variasi Beban .....	50
<b>Gambar 4.8</b> Grafik Hubungan Antara Siklus Dengan Kekasaran permukaan Pada Beban 250 N .....	52
<b>Gambar 4.9</b> Grafik Hubungan Antara Siklus Dengan Kekasaran permukaan Pada Beban 300 N .....	53
<b>Gambar 4.10</b> Grafik Hubungan Antara Siklus Dengan Kekasaran permukaan Pada Beban 400 N .....	54
<b>Gambar 4.11</b> Grafik Pengujian Fatik Korosi Dengan Variasi Kekasaran Permukaan .....	55
<b>Gambar 4.12</b> Foto Patahan Pada Kekasaran permukaan kasar dan 3 variasi beban .....	57

**Gambar 4.13** Foto Patahan Pada Kekasaran permukaan sedang dan 3 variasi beban ..... 58

**Gambar 4.14** Foto Patahan Pada Kekasaran permukaan halus dan 3 variasi beban ..... 59

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Klasifikasi Paduan Tempa Aluminium, Mekanisme Penguatan, Dan Rentang Nilai Kekuatanya .....	6
<b>Tabel 2.2</b> Klasifikasi Paduan Aluminium .....	6
<b>Tabel 2.3</b> Klasifikasi Paduan Aluminium Tempa Dengan Unsur Paduan Utamanya .....	7
<b>Tabel 2.4</b> Klasifikasi Paduan Aluminium Berdasarkan Paduan Bahan .....	7
<b>Tabel 2.5</b> Perbandingan Komposisi Kimia Aluminium Al5005 .....	12
<b>Tabel 2.6</b> Tingkat Ketahanan Korosi Berdasarkan Laju Korosi .....	20
<b>Tabel 4.1</b> Hubungan Antara Siklus Dan Beban .....	50
<b>Tabel 4.2</b> Hubungan Antara Siklus Dan Kekasaran permukaan .....	55



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Korosi adalah fenomena yang dapat dimulai secara alami dan biasanya dikaitkan dengan partikel intermetalik yang dapat mengubah logam menjadi sel elektrokimia, sedangkan kelelahan adalah fenomena yang terjadi karena beban siklik sehingga menyebabkan struktur material berubah bentuk secara permanen atau dapat dikatakan bahwa korosi kelelahan adalah kegagalan dari suatu paduan yang disebabkan oleh fluktuasi stress di lingkungan korosif (Chemin,dkk.2015).

Mekanisme terjadinya kegagalan fatik dapat dibagi menjadi tiga fase yaitu : awal retak (*initiation crack*, perambatan retak (*crack propagation*) dan perpatahan akhir (*fracture failure*). Dua tahap pertama menentukan umur material. Kegagalan kelelahan korosi secara istimewa dimulai dari lubang-lubang korosi, karena pembubaran anodik di dalam lubang dipercepat oleh mekanisme mekanik dan kerusakan yang tidak dapat diperbaiki yang disebabkan oleh produk korosi. Meskipun mekanisme perambatan retak fatik sangat rumit, efek korosi pada perambatan retak jelas tidak dapat diabaikan (Han Zhongying, Xiaoguang Huang dan Zhicheng Yang,2019)

Hal yang perlu diperhatikan pada kelelahan korosi adalah umur inisiasi retak kelelahan korosi (*corrosion fatigue crack initiation*), masa perambatan retak kelelahan korosi (*corrosion fatigue crack propagation*) dan laju perambatan retak kelelahan (*fatigue crack propagation*). Biasanya, bagian yang lebih panjang dari umur struktur dicakup oleh *corrosion fatigue crack propagation* dan bukan *corrosion fatigue crack initiation*. Mekanisme *corrosion fatigue crack propagation* mirip dengan *stress corrosion cracking*. Meskipun mekanisme *stress corrosion cracking* tidak jelas, biasanya dijelaskan dengan embrittlement hidrogen. Di sini, laju *corrosion fatigue crack propagation* dianggap sebagai laju perambatan retak yang dipercepat dari *stress corrosion cracking* yang dipromosikan dalam lingkungan korosif tertentu dengan pembebanan siklik. Dua mekanisme yaitu pembubaran anodik dan hidrogen embrittlement diadopsi untuk menggambarkan percepatan laju perambatan retak pada lingkungan korosif (Hwan Kang,dkk.2011).

Hwang dkk melakukan penelitian tentang perilaku *fatigue crack propagation* (FCP) dan *corrosion fatigue crack propagation* (CFCP) dari material baja berkekuatan tinggi, HSB800, yang diselidiki secara eksperimental pada lingkungan udara dan NaCl. Hasil menunjukkan bahwa tingkat CFCP lebih cepat dalam larutan NaCl dibandingkan dengan kondisi udara. Selain itu pada penelitian ini menunjukkan model CFCP yang baru dikembangkan secara aditif mencakup efek frekuensi dan juga mencakup seluruh jajaran wilayah FCP. Model ini menunjukkan prediksi efektif perilaku FCP dan CFCP dengan menggunakan lebih sedikit parameter material dari pada yang lain (Hwan Kang, dkk. 2011).

Penelitian mengenai kegagalan kelelahan korosi pada baja tahan karat 12% Cr yang banyak digunakan untuk bilah turbin uap. Penelitian dilakukan oleh ebra dkk pada baja tahan karat 12% Cr yang diuji pada 60Hz dalam 3-3x10<sup>-4</sup>% Larutan NaCl dengan R=1 menggunakan rotating bending test. Hasilnya menunjukkan penurunan kekuatan kelelahan karena 3% NaCl pada 2x10<sup>7</sup> siklus dan 3x10<sup>-2</sup>% Larutan encer NaCl pada 10<sup>9</sup> siklus sekitar 75%. Penurunan kekuatan leleh juga terdapat pada 3x10<sup>-4</sup> % Larutan NaCl. Pada percobaan kelelahan korosi dilakukan pada stainless steel feritik 26Cr-1Mo dalam larutan NaCl 3% dengan frekuensi 50Hz, hasilnya menunjukkan pengurangan kekuatan kelelahan korosi baja ini adalah 11% dan lebih rendah dari SUS316. Pada percobaan kelelahan korosi dilakukan pada NSSC250 2.5Mo menggunakan kekuatan tarik ultimat 905MPa dan frekuensinya adalah 20kHz dengan nilai R adalah 1 pada larutan encer NaCl 3% dan di udara, hasilnya menunjukkan Pengurangan kekuatan kelelahan korosi pada 10<sup>9</sup> siklus adalah 19,5%. (Ryuichiro Ebara, 2010).

Penelitian lain juga dilakukan oleh Beretta dkk mengenai sifat korosi kelelahan AlN baja yang digunakan dalam pembuatan as roda kereta api. Dalam rangka untuk menyelidiki sifat-sifat kelelahan baja AlN di lingkungan korosif di R = 1, serangkaian tes korosi kelelahan dilakukan dengan beban siklik menggunakan specimen dengan minimum diameter dari 10 mm. Tes kelelahan dilakukan dengan mesin bending empat titik (kapasitas 35 Nm) bekerja pada frekuensi 6-8 Hz. Korosi terus diterapkan untuk specimen dengan cara membasahi dengan air hujan buatan yang mengandung ammonium sulfat 46,2 mg / dm<sup>3</sup>, natrium sulfat 31,95 mg / dm<sup>3</sup>, natrium nitrat 21,25 mg / dm<sup>3</sup> dan natrium klorida 84,85 mg / dm<sup>3</sup>, dengan pH = 5, laju aliran tetesan 80 cc/menit. Tes kelelahan menunjukkan bahwa sifat-sifat kelelahan baja AlN sangat dipengaruhi dengan adanya lingkungan korosif ringan seperti air hujan buatan. Proses korosi kelelahan

ditandai dengan formasi, di bawah lapisan oksida permukaan, dari jaringan banyak celah-celah kecil yang pertumbuhan terjadi pada tingkat stres di bawah batas kelelahan udara dengan potensi korosi setara dengan "korosi bebas" dari bahan (Beretta, dkk. 2010).

Selain itu tegangan rata-rata juga berpengaruh terhadap kelelahan korosi. Pada Uji kelelahan dilakukan di udara pada suhu kamar dan suhu 0,842% larutan air korosif. Kedua uji kelelahan di udara dan dalam larutan korosif dilakukan menggunakan spesimen silinder berdiameter 6 mm, suhu  $25 \pm 1$  °C, daya konduksi  $2,0 \pm 0,2$ , PH  $6,9 \pm 0,1$ , mengalir 130 / h. Hasilnya menunjukkan efek tegangan rata-rata bertambah di udara maupun di lingkungan korosi. Tren yang ditunjukkan di udara adalah perilaku khas baja dalam kondisi pemuatan tegangan rata-rata bertambah. Di bawah tegangan rata-rata bertambah, kekuatan kelelahan berkurang dan batas kelelahan muncul pada jumlah siklus yang lebih rendah (Morgantini, dkk. 2018). Namun pada penelitian ini, peneliti berfokus pada perilaku kelelahan korosi pada lingkungan asam. Adapun tambahan penjelasan mengenai tegangan rata-rata pada paragraf ini hanya sebagai informasi pelengkap tentang kelelahan korosi.

Berdasarkan uraian di atas, maka penulis bermaksud meneliti dengan judul: " pengaruh variasi beban terhadap *corrosion fatigue* aluminium Al5005 pada lingkungan NaCl"

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dari latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan masalahnya sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh Variasi Beban terhadap kelelahan korosi Aluminium 5005 pada lingkungan NaCl
2. Bagaimana pengaruh Variasi kekasaran permukaan terhadap kelelahan korosi Aluminium 5005 pada lingkungan NaCl
3. Bagaimana bentuk patahan pada permukaan aluminium 5005 dari hasil pengujian fatik korosi.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Dari perumusan masalah yang telah dikemukakan diatas, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh Variasi Beban terhadap kelelahan korosi Almunium 5005 pada lingkungan NaCl
2. Menganalisis pengaruh kekasaran permukaan spesimen terhadap kelelahan korosi Almunium 5005 pada lingkungan NaCl
3. Menganalisis foto patahan pada permukaan aluminium 5005 dari hasil pengujian fatik korosi.

### **1.4 Batasan Penelitian**

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Material yang digunakan adalah Almunium 5005
2. Pengujian material meliputi uji kelelahan korosi dan bentuk patahan.
3. Konsentrasi NaCl 5%
4. Pengujian fatik korosi, jumlah siklus 140 siklus per menit dengan beban 250 N, 300 N, 400 N.
5. Proses pengamplasan menggunakan kekasaran permukaan kasar (100), sedang (240) dan halus (400).

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi teman-teman mahasiswa sebagai literatur atau bahan untuk penelitian selanjutnya, dan masyarakat pada umumnya menjadi pertimbangan dalam pembuatan konstruksi ataupun sebagai paduan dengan menggunakan jenis material Almunium 5005

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Material Aluminium**

##### **1. Klasifikasi Paduan Aluminium**

Aluminium terbagi menjadi dua jenis, yaitu aluminium murni dan aluminium paduan. Berikut ini perbedaan dari kedua jenis aluminium tersebut.

###### **A. Aluminium murni**

Aluminium memiliki berat jenis 2,7 gram/ cm<sup>3</sup>, kira-kira sepertiga dari berat jenis baja (7,83 gram/ cm<sup>3</sup>), tembaga (8,93gram/ cm<sup>3</sup>), atau kuningan. Selain itu aluminium menunjukkan ketahanan korosi yang baik pada kebanyakan lingkungan termasuk udara, air (air garam), petrokimia dan lingkungan kimia lainnya. Dilihat dari konduktivitas termalnya adalah antara 50-60 % dari tembaga, bersifat nonmagnetic dan tidak beracun (Subagyo Nur Imam,2017)

###### **B. Aluminium paduan**

Berdasarkan metode pengerasannya, aluminium dapat dibagi menjadi dua kelompok, heat treatable alloys dan non-heat treatable alloys. Heattreatable alloys adalah paduan aluminium yang dapat diperkeras dengan penuaan (aging). Sementara non heat treatable alloys tidak dapat diperkuat dengan penuaan melainkan dengan penguatan larutan-padat (solid solution strengthening), pengerasan butir (strain hardening), atau pengerasan dispersi (dispersion strengthening).

Paduan tempa yang dapat diperkuat lewat perlakuan panas adalah kelas 2xxx, 6xxx, 7xxx, dan beberapa jenis dari kelas 8xxx. Beberapa kombinasi penambahan unsur pepadu, mekanisme penguatannya, serta perkiraan nilai kekuatan yang dapat dicapai dapat dilihat dalam Tabel 1. (Subagyo Nur Imam,2017).

Tabel 2.1 Klasifikasi paduan tempa aluminium, mekanisme penguatan, dan rentang nilai kekuatannya

Seri Aluminium	Sistem Paduan	Tensile Strength (MPa)
<b>Work- hardenable alloys</b>		
1xxx	Al murni	70-75
3xxx	Al-Mn-Mg	140-280
4xxx	Al-Si	105-350
5xxx	Al-Mg	140-280
<b>Precipitation-hardenable alloys</b>		
2xxx	Al-Cu-Mg	170-310
2xxx	Al-Cu-Mg-Si	380-520
6xxx	Al-Mg-Si	150-380
7xxx	Al-Zn-Mg	380-520
7xxx	Al-Zn-Mg-Cu	520-620
8xxx	Al-Li-Cu-Mg	280-560

(Subagyo Nur Imam,2017)

Berikut ini tabel klasifikasi aluminium paduan yang dapat diperkuat dengan perlakuan panas dan yang tidak dapat di berikan perlakuan panas. Seperti pada tabel 2.1 yang memeberikan perkiraan nilai kekuatan yang dapat dicapai dan tabel 2.2 yang berupakan pengelompokan paduan Aluminium. Dari tabel tersebut akan diketahui kodefikasi dan sifat bahan alumunium dengan paduan yang berbeda-beda sesuai dengan pengelompokan atau klasifikasi dari tabel dibawah ini.

Tabel 2.2 Klasifikasi paduan aluminium.

Al paduan untuk dimesin	Paduan jenis tidak dapat di perlakuan panas (non-heat-treatable)	Al murni ( seri 1000) Paduan Al-Mn (seri 3000) Paduan Al-Si (seri 4000) Paduan Al-Mg (seri 5000)
	Paduan jenis dapat perlakuan panas (heat-treatable)	Paduan Al-Cu (seri 2000) Paduan Al-Mg-Si (seri 6000) Paduan Al-Zn (seri 7000)
Al paduan untuk coran	<i>Non-heat-treatable alloy</i>	Paduan Al-Si (Silumin) Paduan Al-Mg (Hydronartum)
	<i>Heat-treatable alloy</i>	Paduan Al-Cu (Lautal) Paduan Al-Si-Mg (Silumin, Lo-ex)

(Subagyo Nur Imam,2017)

Selain klasifikasi aluminium paduan diatas, berikut ini merupakan tabel klasifikasi aluminium berdasarkan paduan utama dan proses pengerjaannya dengan

proses penempaan, dapat dijelas melalui tabel 2.2 dibawah dan pada tabel 2.3 merupakan klasifikasi aluminium berdasarkan perlakuan yang dilakukan.

Tabel 2.3 Klasifikasi paduan aluminium tempaan dengan unsur paduan utamanya.

Standar AA	Standar Alcoa terdahulu	Keterangan
1001	1S	Al murni 99,5% atau di atasnya
1100	2S	Al murni 99,0% atau di atasnya
2010-2029	10S-29S	Cu merupakan unsur paduan utama
3003-3009	3S-9S	Mn merupakan unsur paduan utama
4030-4039	30S-39S	Si merupakan unsur paduan utama
5050-5086	50S-69S	Mg merupakan unsur paduan utama
6061-6069		Mg <sub>2</sub> Si merupakan unsur paduan utama
7070-7079	70S-79S	Zn merupakan unsur paduan utama

(Subagyo Nur Imam,2017)

Untuk paduan aluminium, selain di klasifikasikan berdasarkan tabel 2 dan tabel 3 diatas, paduan aluminium dapat di klasifikasikan berdasarkan perlakuan yang telah dilakukan pada paduan aluminium tersebut, seperti pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.4 Klasifikasi paduan aluminium berdasarkan perlakuan bahan.

Tanda	Perlakuan
-F	Setelah pembuatan
-O	Dianil penuh
-H	Pengerasan regangan
-H 1n	Pengerasan regangan
-H 2n	Sebagian dianil setelah pengerasan regangan
-H 3n	Dianil untuk penyetabilan setelah pengerasan regangan n=2 (1/4 keras), 4 (1/2 keras), 6 (3/4 keras), 8 (keras), 9 (sangat keras)
-T	Perlakuan panas
-T2	Penganilan penuh (hanya untuk coran)
-T3	Pengerasan regangan setelah perlakuan pelarutan
-T4	Penuaan alamiah penuh setelah perlakuan pelarutan
-T5	Penuaan tiruan (tanpa perlakuan pelarutan)
-T6	Penuaan tiruan setelah perlakuan pelarutan
-T7	Penyetabilan setelah perlakuan pelarutan
-T8	Perlakuan pelarutan, pengerasan regangan, penuaan tiruan
-T9	Perlakuan pelarutan, penuaan tiruan, pengerasan regangan
-T10	Pengerasan regangan setelah penuaan tiruan

(Subagyo Nur Imam,2017)

Aluminium memiliki kelas atau grade yang tergantung pada unsur paduan dan perlakuan panas yang dilakukkan terhadap paduan aluminium tersebut. Grade ( kelas ) dari aluminium dapat menunjukkan berbagai sifat mekanik dari aluminium tersebut dari penampilan yang baik, kemudahan fabrikasi, ketahanan korosi yang baik, mampu las yang baik dan ketangguhan retak tinggi. Pemilihan grade ( kelas ) aluminium yang tepat

tergantung pada aplikasi yang diperlukan dan kondisi kerja. Berikut adalah aluminium paduan yang sesuai dengan grade dan kodefikasi yang dimiliki setiap paduan aluminium itu sendiri.

1. Grade aluminium Seri 1xxx

Grade dari aluminium ini (1050, 1060, 1100, 1145, 1200, 1230, 1350 dll) ditandai dengan ketahanan korosi yang sangat baik, konduktivitas termal dan elektrik yang tinggi, sifat mekanik yang rendah, dan kemampuan kerja yang sangat baik. Grade aluminium ini memiliki kandungan Besi dan silikon yang besar.

2. Grade aluminium Seri 2xxx

Paduan aluminium ini (2011, 2014, 2017, 2018, 2124, 2219, 2319, 201,0; 203,0; 206,0; 224,0; 242,0 dll) memerlukan solution heat treatment untuk mendapatkan sifat yang optimal, didalam kondisi solution heat treatment, sifat mekanik yang mirip dengan baja karbon rendah dan kadang-kadang melebihi sifat mekanik baja karbon rendah. Dalam beberapa contoh, proses perlakuan panas (aging) digunakan untuk lebih meningkatkan sifat mekanik. Paduan aluminium dalam seri 2xxx tidak memiliki ketahanan korosi yang baik ketimbang kebanyakan paduan aluminium lainnya, dan dalam kondisi tertentu paduan ini mungkin akan terjadi korosi pada antar butir. Grade aluminium dalam seri 2xxx ini baik untuk bagian yang membutuhkan kekuatan yang bagus yaitu pada suhu sampai 150°C (300°F). Kecuali untuk kelas 2219, paduan aluminium ini sudah memiliki mampu las tetapi masih terbatas. beberapa paduan dalam seri ini memiliki kemampuan mesin yang baik.

3. Grade aluminium Seri 3xxx

Paduan aluminium ini (3003, 3004, 3105, 383,0; 385,0; A360; 390,0) umumnya memiliki ketidakmampuan panas tetapi memiliki kekuatan sekitar 20% lebih dari paduan aluminium seri 1xxx karena hanya memiliki presentase mangan yang sedikit (sampai sekitar 1,5%) yang dapat ditambahkan ke aluminium. mangan digunakan sebagai elemen utama dalam beberapa paduan.

4. Grade aluminium Seri 4xxx

Unsur paduan utama dalam paduan seri 4xxx (4032, 4043, 4145, 4643 dll) adalah silikon, yang dapat ditambahkan dalam jumlah yang cukup (hingga 12%) menyebabkan substansial menurunkan rentang lebur. Untuk alasan ini, paduan aluminium-silikon yang digunakan dalam kawat las dan sebagai paduan untuk



menyolder digunakan untuk menggabungkan aluminium, di mana titik lebur lebih rendah dari logam dasar yang digunakan.

#### 5. Grade aluminium Series 5xxx

Unsur paduan utama grade aluminium ini adalah magnesium, bila digunakan sebagai elemen paduan utama atau digabungkan dengan mangan, hasilnya adalah paduan yang memiliki kekerasan sedang hingga kekuatan yang tinggi. Magnesium jauh lebih efektif daripada mangan sebagai penguat - sekitar 0,8% Mg sama dengan 1,25% Mn dan dapat ditambahkan dalam jumlah yang jauh lebih tinggi. Paduan aluminium dalam seri ini (5005, 5052, 5083, 5086, dll) memiliki karakteristik pengelasan yang baik dan ketahanan yang relatif baik terhadap korosi dalam atmosfer laut. Namun, pada pekerjaan dingin harus dilakukan pembatasan dan suhu operasi ( $150^{\circ}$ ) diperbolehkan untuk paduan aluminium yang memiliki magnesium tinggi untuk menghindari kerentanan terhadap korosi retak (Subagyo Nur Imam, 2017).

#### 6. Grade aluminium Seri 6xxx

Paduan aluminium dalam seri 6xxx (6061 dan 6063) mengandung silikon dan magnesium sekitar dalam proporsi yang diperlukan untuk pembentukan magnesium silisida ( $Mg_2Si$ ), sehingga membuat paduan ini memiliki kemampuan perlakuan panas yang baik. Meskipun tidak sekuat pada paduan 2xxx dan 7xxx, paduan aluminium seri 6xxx memiliki sifat mampu bentuk yang baik, mampu las, mampu mesin, dan ketahanan korosi yang relatif baik dengan kekuatan sedang.

Untuk paduan aluminium seri 6xxx yang memiliki unsur paduan utama Al-Mg-Si, dalam sistem klasifikasi AA dapat diperoleh paduan Al 6063 dan Al 6061. Paduan dalam sistem ini mempunyai kekuatan kurang sebagai bahan tempaan dibandingkan dengan paduan-paduan lainnya, tetapi sangat liat, sangat baik mampu bentuknya untuk penempaan, ekstrusi dan sebagainya. Paduan 6063 dipergunakan untuk rangka-rangka konstruksi, maka selain dipergunakan untuk rangka konstruksi

#### 7. Grade aluminium Seri 7xxx

Zinc jumlah dari 1% sampai 8% ) merupakan unsur paduan utama dalam paduan aluminium seri 7xxx (7075, 7050, 7049, 710,0; 711,0 dll) dan ketika digabungkan dengan persentase magnesium yang lebih kecil didalam perlakuan panas yang cukup maka paduan ini akan memiliki kekuatan yang sangat tinggi. Biasanya unsur-unsur lain, seperti tembaga dan kromium, juga ditambahkan dalam jumlah kecil.

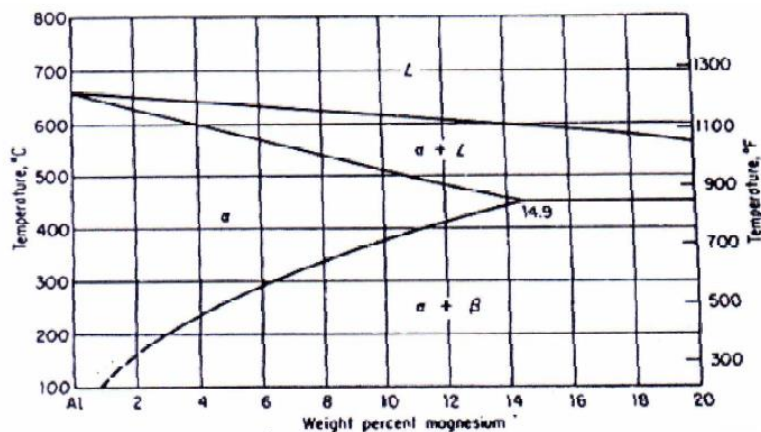
paduan seri 7xxx digunakan dalam struktur badan pesawat, peralatan besar yang bergerak dan bagian lainnya memiliki tekanan yang sangat tinggi.

#### 8. Grade aluminium Seri 8xxx

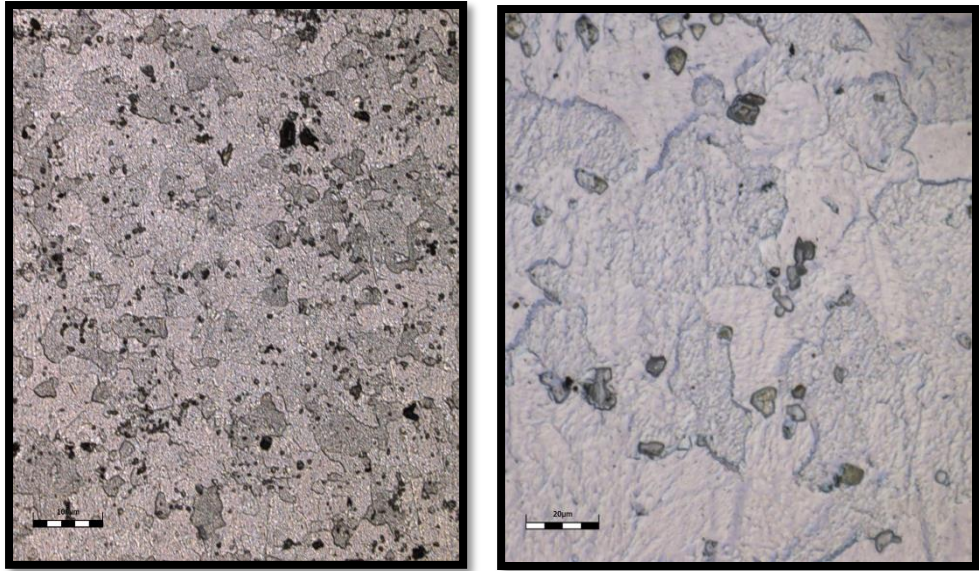
Seri 8xxx (8006; 8111; 8079; 850,0; 851,0; 852,0) dicadangkan untuk paduan unsur selain yang digunakan untuk seri 2xxx sampai 7xxx. Besi dan nikel yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan tanpa kerugian yang signifikan dalam konduktivitas listrik, dan begitu juga berguna dalam paduan konduktor seperti 8017. Aluminium-lithium paduan 8090, yang memiliki kekuatan dan kekakuan yang sangat tinggi, dikembangkan untuk aplikasi ruang angkasa. Paduan aluminium dalam seri 8000 sesuai dengan sistem penomoran A98XXX dan lain sebagainya (Subagyo Nur Imam,2017).

## 2. Aluminium Paduan 5005

Unsur paduan utama grade aluminium ini adalah magnesium, bila digunakan sebagai elemen paduan utama atau digabungkan dengan mangan, hasilnya adalah paduan yang memiliki kekerasan sedang hingga kekuatan yang tinggi. Magnesium jauh lebih efektif daripada mangan sebagai penguat - sekitar 0,8% Mg sama dengan 1,25% Mn dan dapat ditambahkan dalam jumlah yang jauh lebih tinggi. Paduan aluminium dalam seri ini (5005, 5052, 5083, 5086, dll) memiliki karakteristik pengelasan yang baik dan ketahanan yang relatif baik terhadap korosi dalam atmosfer laut. Namun, pada pekerjaan dingin harus dilakukan pembatasan dan suhu operasi ( $150^{\circ}$ ) diperbolehkan untuk paduan aluminium yang memiliki magnesium tinggi untuk menghindari kerentanan terhadap korosi retak (Subagyo Nur Imam,2017).



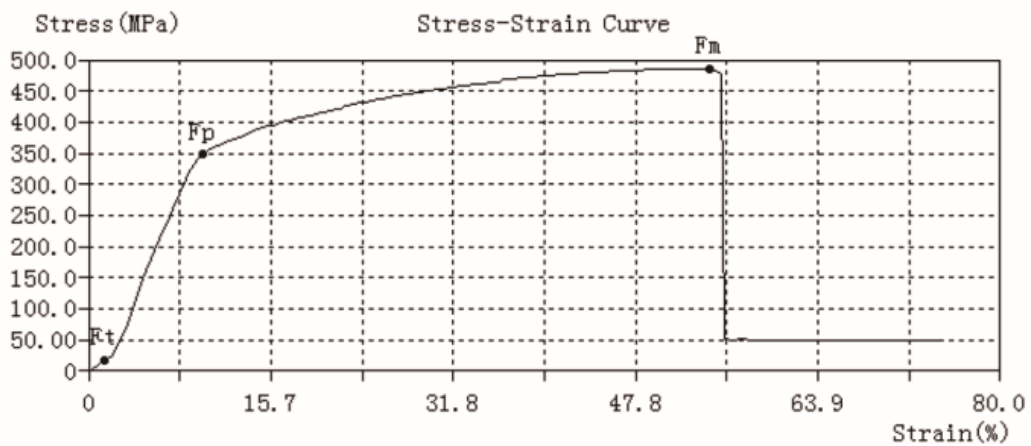
Gambar 2.1 Diagram fasa Aluminium Al5005



Gambar 2.2 Foto struktur mikro aluminium Al5005

Pada gambar di atas menunjukkan struktur mikro dari paduan Al-3,86% Mg, terlihat bahwa bagian putih menunjukkan  $\alpha$ -Al, sedangkan titik hitam menunjukkan Mg<sub>2</sub>Si.

SampleID	NA2	TestDate	13/9/2020
Operator		Type	Flat
Size(mm)	12.5*1.4	Ao(mm <sup>2</sup> )	17.50
Lo(mm)	57	Lu(mm)	
A(%)	/	Au(mm <sup>2</sup> )	
Z(%)	/	Fm(kN)	8.50
Rm(MPa)	485	FeH(kN)	/
UYS(MPa)	/	FeL(kN)	/
LYS(MPa)	/	Fp(kN)	6.10
Rp(MPa)	350	Ft(kN)	/
Rt(MPa)	/	E(GPa)	8.26



Gambar 2.3 Hasil pengujian tarik aluminium Al5005

Tabel 2.5 Perbandingan komposisi kimia Aluminium Al5005

X-ray Fluorescence (XRF)	
UNSUR	%
Si	0.16
Fe	0.18
Cu	1.04
Mn	-
Mg	-
Zn	0.03
Ti	-
Cr	-

## 2.2 Fatigue

Banyak masalah yang timbul dalam pengerjaan mekanis di lapangan yang dialami oleh ahli-ahli teknis dalam bidangnya seperti masalah fatik yang sulit untuk diperkirakan kapan terjadinya, dan tidak dapat dilihat secara kasat mata bahwa di suatu bentuk bahan seperti poros terjadi adanya tanda-tanda akan terjadinya patah fatik. Hal ini tentunya sangat merugikan, untuk itu perlu adanya suatu proses pengujian analisa terhadap umur fatik.

Lebih dari 90% penyebab kegagalan mekanik disebabkan oleh kegagalan lelah. Uji kelelahan dan pengamatan bentuk patahan sangat diperlukan untuk material logam yang dikenai beban berulang dan berguna sebagai referensi bagi logam tersebut dalam aplikasinya. (Pratowo Bambang dan Novran Apriansyah,2016).

### 1. Pengertian

Kelelahan (*fatigue*) adalah kerusakan material yang diakibatkan oleh adanya tegangan yang berfluktuasi yang besarnya lebih kecil dari tegangan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*). Akibat beban yang berulang-ulang (tegangan atau regangan) dalam jangka waktu lama dapat merubah struktur material sehingga terjadi retak (*crack*) ataupun patah (Pratowo Bambang dan Novran Apriansyah,2016). Berdasarkan defenisi dari *American Society for Metals (ASM)* Kelelahan (*Fatigue*) didefinisikan sebagai proses perubahan struktur permanen *progressive localized* pada kondisi yang menghasilkan fluktuasi regangan dan tegangan dibawah kekuatan tariknya dan pada

satu titik atau banyak titik yang dapat memuncak menjadi retak (*crack*) atau patahan (*fracture*) secara keseluruhan sesudah fluktuasi tertentu. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa fatigue adalah fenomena yang terjadi karena beban siklik.

*Progressive* mengandung pengertian proses fatigue terjadi selama jangka waktu tertentu atau selama pemakaian, sejak komponen atau struktur digunakan. *Localized* berarti proses fatigue beroperasi pada luasan lokal yang mempunyai tegangan dan regangan yang tinggi karena pengaruh beban luar, perubahan geometri, perbedaan temperatur, tegangan sisa dan tidak kesempurnaan diri. *Crack* merupakan awal terjadinya kegagalan fatigue dimana kemudian crack merambat karena adanya beban berulang. *Fracture* merupakan tahap akhir dari proses *fatigue* dimana bahan tidak dapat menahan tegangan dan regangan yang ada sehingga patah menjadi dua bagian atau lebih.

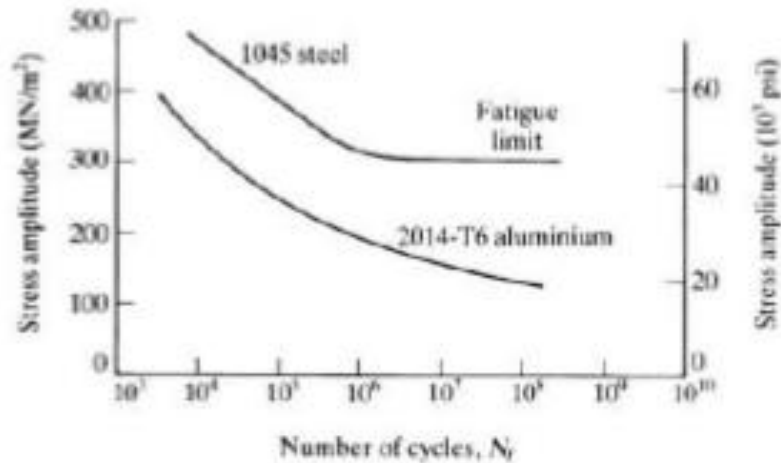
## 2. Fase-fase Fatik

Terdapat tiga fase dalam perpatahan fatik yaitu yang pertama permulaan retak dimana mekanisme fatik umumnya dimulai dari *crack initiation* yang terjadi di permukaan material yang lemah atau daerah dimana terjadi konsentrasi tegangan di permukaan (seperti goresan, notch, lubang-pits dll) akibat adanya pembebanan berulang. Fase yang kedua yaitu penyebaran retak dimana *crack initiation* ini berkembang menjadi *microcracks*. Perambatan atau perpaduan *microcracks* ini kemudian membentuk *macrocracks* yang akan berujung pada *failure*. Fase yang ketiga yaitu perpatahan dimana Akhir Perpatahan terjadi ketika material telah mengalami siklus tegangan dan regangan yang menghasilkan kerusakan yang permanen.

## 3. Kurva S-N

Kegagalan fatigue dimulai dengan terjadinya retakan pada permukaan benda uji. Hal ini membuktikan bahwa sifat-sifat fatigue sangat peka terhadap kondisi permukaan, yang dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain kekasaran permukaan, perubahan sifat-sifat permukaan dan tegangan sisa permukaan.

Penyajian data *fatigue* rekayasa adalah menggunakan kurva S-N yaitu pemetaan tegangan (S) terhadap jumlah siklus sampai terjadi kegagalan (N). Kurva S-N ini lebih diutamakan menggunakan skala semi log seperti ditunjukkan pada gambar 2.1. Untuk beberapa bahan teknis yang penting.

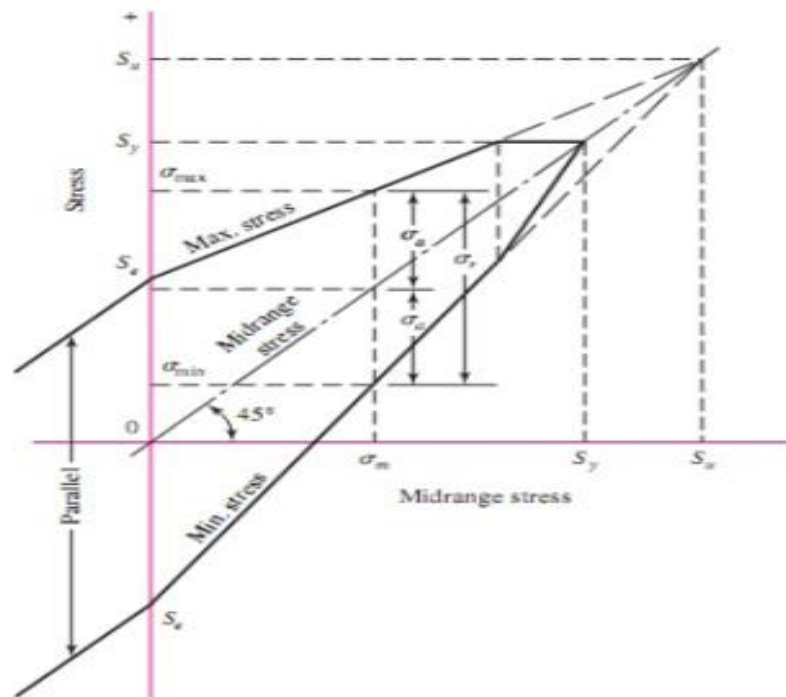


**Gambar 2.4** Kurva S-N

Kurva tersebut didapat dari pemetaan tegangan terhadap jumlah siklus sampai terjadi kegagalan pada benda uji. Pada kurva ini siklus menggunakan skala logaritma. Batas ketahanan fatigue (*endurance limit*) baja ditentukan pada jumlah siklus  $N > 10^7$  (Pratowo Bambang dan Novran Apriansyah, 2016). Untuk Mencari Siklus digunakan perkalian antara waktu dengan putaran motor  $N = t \cdot n$ , Dimana N adalah Siklus,  $t$  adalah waktu ( menit) dan  $n$  adalah putaran motor ( Rpm ).

#### 4. Diagram Goodman

Diagram goodman adalah persamaan yang digunakan untuk mengukur interaksi tegangan rata-rata dan tegangan bolak-balik pada umur kelelahan suatu material. Persamaan ini biasanya ditunjukkan dalam bentuk kurva linear antara tegangan bolak-balik berbanding dengan tegangan rata-rata yang akan menunjukkan jumlah maksimum siklus tegangan bolak-balik yang dapat ditahan material sebelum material patah akibat kelelahan.



**Gambar 2.5** Diagram Goodman

Ada berbagai teknik untuk merencanakan hasil uji kegagalan fatik dari bagian struktur yang mengalami tegangan yang berfluktuasi. Salah satunya disebut diagram Goodman yang dimodifikasi dan ditunjukkan pada gambar diatas. Untuk diagram ini tegangan rata-rata diplotkan pada absis dan komponen tegangan lainnya pada ordinat. Seperti yang ditunjukkan pada gambar, garis tegangan rata-rata membentuk sudut  $45^\circ$  dengan absis. Garis yang di hasilkan di tarik ke  $S_e$  di atas dan dibawah titik asal sebenarnya adalah diagram Goodman yang di modifikasi. Kekuatan luluh  $S_y$  juga diplot pada kedua sumbu, karena luluh dapat dianggap sebagai kriteria kegagalan jika  $\sigma_{max} > S_y$ .

## 2.3 Korosi

### 1. Pengertian

Korosi adalah salah satu proses perusakan material khususnya logam, akibat terjadinya reaksi logam tersebut dengan lingkungan di sekitarnya oleh karena itu bahan-bahan yang terbuat dari logam atau paduannya dapat mengalami kerusakan akibat terserang korosi (Pattireuw Kevin J.,dkk.2013).Berdasarkan defenisi dari Afandi Yudha Kurniawan, Irfan Syarif Arief, dan Amiadji Korosi adalah penghancuran paksa zat seperti logam dan bahan bangunan mineral media sekitarnya, yang biasanya cair (agen korosif). Ini biasanya dimulai pada permukaan dan disebabkan oleh kimia dan dalam kasus logam, reaksi elektrokimia. Kehancuran kemudian dapat menyebar ke bagian dalam materi. Organisme juga dapat berkontribusi pada korosi bahan bangunan . Selain itu korosi juga dapat diartikan sebagai penurunan mutu logam yang disebabkan oleh reaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungan sekitarnya (Afandi Yudha Kurniawan, Irfan Syarif Arief, dan Amiadji,2015).

Korosi dapat terjadi apabila terdapat empat elemen yaitu yang pertama Anoda dimana terjadi reaksi oksidasi, maka daerah tersebut akan timbul korosi .Yang kedua yaitu katoda dimana terjadi reaksi reduksi, daerah tersebut mengkonsumsi elektron.Yang ketiga yaitu Ada hubungan (*Metallic Pathaway*), Tempat arus mengalir dari katoda ke anoda .Yang keempat yaitu Larutan (*electrolyte*), Larutan korosif yang dapat mengalirkan arus listrik, mengandung ion-ion.Agar korosi dapat terjadi, keempat elemen tersebut harus ada. Jika salah satu dari keempat elemen itu tidak ada, maka korosi tidak akan terjadi (Afandi Yudha Kurniawan, Irfan Syarif Arief, dan Amiadji,2015).

### 2. Jenis-Jenis Korosi

1. Uniform attack ( korosi seragam )

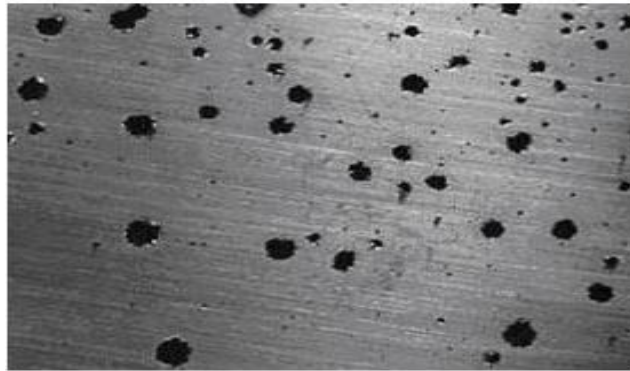


**Gambar 2.6** Korosi seragam



Adalah korosi yang terjadi pada permukaan logam akibat reaksi kimia karena pH air yang rendah dan udara yang lembab, sehingga makin lama logam makin menipis. Biasanya ini terjadi pada pelat baja atau profil, logam homogen. Korosi jenis ini bisa dicegah dengan cara Diberi lapis lindung yang mengandung inhibitor seperti lemak.

## 2. Pitting corrosion ( korosi sumur )



**Gambar 2.7** Pitting Corrosion

Adalah korosi yang disebabkan karena komposisi logam yang tidak homogen yang dimana pada daerah batas timbul korosi yang berbentuk sumur. Korosi jenis ini dapat dicegah dengan cara memilih bahan yang homogen, memberikan inhibitor dan memberikan coating dari zat agresif.

## 3. Erosion Corrosion ( korosi erosi )



**Gambar 2.8** Korosi Erosi

Korosi yang terjadi karena keausan dan menimbulkan bagian – bagian yang tajam dan kasar, bagian – bagian inilah yang mudah terjadi korosi dan juga diakibatkan karena fluida yang sangat deras dan dapat mengikis film pelindung pada logam. Korosi ini biasanya terjadi pada pipa dan propeller. Korosi jenis ini dapat dicegah dengan cara memilih bahan yang homogen, memberi coating dari

zat agresif, memberikan inhibitor dan menghindari aliran fluida yang terlalu deras.

#### 4. Galvanis corrosion (korosi galvanis )



**Gambar 2.9** Korosi Galvanis

Korosi yang terjadi karena adanya 2 logam yang berbeda dalam satu elektrolit sehingga logam yang lebih anodic akan terkorosi. Korosi ini dapat dicegah dengan cara memberi isolator yang cukup tebal hingga tidak ada aliran elektrolit, memasang proteksi katodik dan menambahkan anti korosi inhibitor pada cairan .

#### 5. Stress corrosion (korosi tegangan )



**Gambar 2.10** Korosi Tegangan

Terjadi karena butiran logam yang berubah bentuk yang diakibatkan karena logam mengalami perlakuan khusus ( seperti diregang, ditekuk dll.) sehingga butiran menjadi tegang dan butiran ini sangat mudah bereaksi dengan lingkungan. Korosi jenis ini dapat dicegah dengan cara memberi inhibitor dan apabila ada logam yang mengalami stres maka logam harus direlaksasi.

## 6. Crevice corrosion ( korosi celah)



**Gambar 2.11** Korosi Celah

Korosi yang terjadi pada logam yang berdempetan dengan logam lain diantaranya ada celah yang dapat menahan kotoran dan air sehingga konsentrasi O<sub>2</sub> pada mulut kaya dibanding pada bagian dalam, sehingga bagian dalam lebih anodic dan bagian mulut jadi katodik Korosi ini dapat dicegah dengan cara memberikan Isolator, mengeringkan bagian yang basah dan membersihkan kotoran yang ada.

## 7. Korosi mikrobiologi



**Gambar 2.12** Korosi Mikro Biologi

Korosi yang terjadi karena mikroba Mikroorganisme yang mempengaruhi korosi antara lain bakteri, jamur, alga dan protozoa. Korosi ini bertanggung jawab terhadap degradasi material di lingkungan. Pengaruh inisiasi atau laju korosi di suatu area, mikroorganisme umumnya berhubungan dengan permukaan korosi kemudian menempel pada permukaan logam dalam bentuk lapisan tipis atau biodeposit. Lapisan film tipis atau biofilm. Pembentukan lapisan tipis saat 2 – 4 jam pencelupan sehingga membentuk lapisan ini terlihat hanya bintik-bintik dibandingkan menyeluruh di permukaan. Korosi jenis ini dapat dicegah dengan cara memilih logam yang tepat untuk suatu lingkungan dengan kondisi-kondisinya, memberi lapisan pelindung agar lapisan logam terlindung dari

lingkungannya, memperbaiki lingkungan supaya tidak korosif, memberikan perlindungan secara elektrokimia dengan anoda korban atau arus tandingan. dan memperbaiki konstruksi agar tidak menyimpan air, lumpur dan zat korosif lainnya.

### 3. Hal – hal yang mempengaruhi terjadinya korosi

Hal – hal yang mempengaruhi terjadinya korosi yaitu yang pertama Temperatur, semakin tinggi temperatur maka reaksi kimia akan semakin cepat maka korosi akan semakin cepat terjadi. Yang kedua yaitu kecepatan aliran, jika kecepatan aliran semakin cepat maka akan merusak lapisan film pada logam maka akan mempercepat korosi karena logam akan kehilangan lapisan. Yang ketiga yaitu pH, pada pH yang optimal maka korosi akan semakin cepat ( mikroba ). yang keempat yaitu Kadar Oksigen, semakin tinggi kadar oksigen pada suatu tempat maka reaksi oksidasi akan mudah terjadi sehingga akan mempengaruhi laju reaksi korosi, dan yang terakhir yaitu kelembaban udara (Utomo Budi, 2009)

### 4. Laju Korosi

Laju korosi adalah kecepatan rambatan atau kecepatan penurunan kualitas bahan terhadap waktu. Dalam perhitungan laju korosi, satuan yang biasa digunakan adalah mm/th (standar internasional) atau mill/year (mpy, standar British). Tingkat ketahanan suatu material terhadap korosi umumnya memiliki nilai laju korosi antara 1 – 200 mpy. Tabel di bawah ini adalah penggolongan tingkat ketahanan material berdasarkan laju korosinya.

**Tabel 2.6** Tingkat Ketahanan Korosi Berdasarkan Laju Korosi

Relative Corrosion resistance	Approximate Metric Equivalent				
	mpy	mm/year	µm/yr	nm/yr	pm/sec
Outstanding	< 1	< 0.02	< 25	< 2	< 1
Excellent	1 - 5	0.02 - 0.1	25 - 100	2 - 10	1 - 5
Good	5 - 20	0.1 - 0.5	100 - 500	10 - 50	5 - 20
Fair	20 - 50	0.5 - 1	500 - 1000	50 - 100	20 - 50
Poor	50 - 200	42125	1000 - 5000	150 - 500	50 - 200
Unacceptable	200+	5+	5000+	500+	200+

Metode elektrokimia adalah metode mengukur laju korosi dengan mengukur beda potensial objek hingga didapat laju korosi yang terjadi, metode ini mengukur laju korosi pada saat diukur saja dimana memperkirakan laju tersebut dengan waktu yang panjang. Kelebihan metode ini adalah kita langsung dapat mengetahui laju korosi pada saat di ukur, hingga waktu pengukuran tidak memakan waktu yang lama. Pengujian laju korosi dengan metode elektrokimia dengan polarisasi dari potensial korosi bebasnya dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang didasari pada Hukum Faraday seperti di bawah ini :

$$CPR = K \frac{a \cdot i}{n \cdot D} \text{ mmpy}$$

Dimana :

K = Konstanta ( 0,129 untuk mpy,  
0,00327 untuk mmpy )

a = Berat atom logam terkorosi (gram)

i = Kerapatan arus (  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  )

n = Jumlah elektron valensi logam terkoros

D = Densitas logam terkorosi (  $\text{gram}/\text{cm}^3$  )

## 2.4 Korosi Kelelahan

### 1. Pengertian

Kelelahan korosi adalah retakan logam yang disebabkan oleh aksi gabungan dari pembebanan siklik dan lingkungan korosif. Tingkat keparahan kelelahan korosi tergantung pada rentang dan frekuensi tekanan, sifat kondisi korosi dan waktu di bawah tekanan (ali nurdin,2014). Jadi, kelelahan korosi dipengaruhi oleh berbagai parameter mekanik, kimia dan structural yang berinteraksi secara lokal.

Kelelahan korosi mirip dengan retak korosi tegangan dalam banyak aspek. Perbedaan utama antara kedua jenis lingkungan ini adalah peningkatan retak karakter pembebanan, yang statis dalam retakan korosi dan berulang memuat dalam kelelahan korosi. Baik umur kelelahan dan batas kelelahan berkurang di lingkungan korosif dibandingkan dengan kelelahan di netral lingkungan hidup. Ini disebabkan oleh interaksi elektrokimia, metalurgi dan proses mekanis di ujung retak. (ali nurdin,2014)

### 2. Tahapan dan Mekanisme Kelelahan Korosi

Di bawah kondisi pembebanan siklik, lingkungan korosif dapat mempercepat inisiasi cacat permukaan pada bahan yang awalnya bebas retak dan menyebarkan

cacat untuk ukuran kritis tertentu. Kelelahan korosi adalah istilah yang biasa digunakan untuk menunjukkan kerusakan dan kegagalan bahan di bawah aksi kombinasi dari tekanan siklik dan media korosif meskipun sebagian besar adaptasi tersebar luas dalam konteks lingkungan berair. Lingkungan korosif menghasilkan produk korosi. Kelelahan korosi dikaitkan dengan dua mekanisme yang berbeda: pembubaran anodik mekanisme korosi kelelahan dan korosi dibantu hydrogen (Ali Nurdin, 2014)

Mekanisme terjadinya kegagalan fatik dapat dibagi menjadi tiga fase yaitu : awal retak (*initiation crack*), perambatan retak (*crack propagation*) dan perpatahan akhir (*fracture failure*). Dua tahap pertama menentukan umur material . Kegagalan kelelahan korosi secara istimewa dimulai dari lubang-lubang korosi, karena pembubaran anodik di dalam lubang dipercepat oleh mekanisme mekanik dan kerusakan yang tidak dapat diperbaiki yang disebabkan oleh produk korosi. Meskipun mekanisme perambatan retak fatik sangat rumit, efek korosi pada perambatan retak jelas tidak dapat diabaikan (Han Zhongying, Xiaoguang Huang dan Zhicheng Yang, 2019).

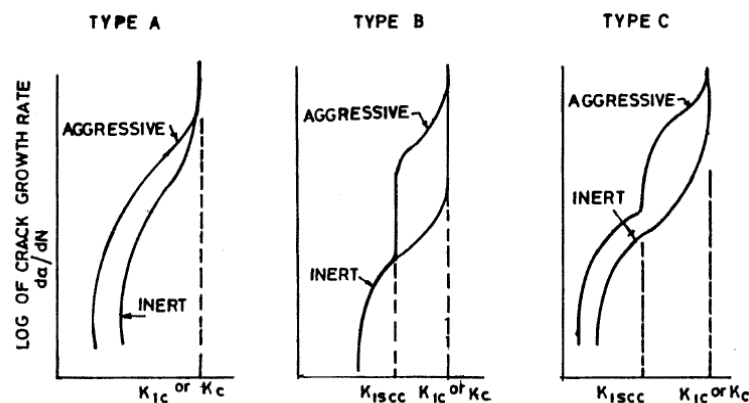
### 3. Inisiasi dan propagasi dari CFC

Dari sudut pandang teknik analisis, proses kerusakan kelelahan di logam terdiri dari dua tahap, yaitu, inisiasi retak kelelahan dan propagasi retak kelelahan. Oleh karena itu, kita memiliki dua kategori tes kelelahan korosi laboratorium: siklus kegagalan (inisiasi retak) tes dan retak tes propagasi. Dalam retak pengujian inisiasi, spesimen atau bagian yang mengalami jumlah *stres* atau tegangan siklus diperlukan untuk *fatigue corrosion cracking* (CFC) untuk memulai dan kemudian tumbuh cukup besar untuk menghasilkan kegagalan. Data tersebut biasanya diperoleh dengan menguji spesimen halus atau berlekuk. Dengan jenis pengujian, bagaimanapun, sulit untuk membedakan antara umur inisiasi CFC dan kehidupan propagasi *fatigue corrosion cracking* (CFC). Dalam retak pengujian propagasi, *Fracture Mechanics* (FM) metode yang digunakan untuk menentukan tingkat pertumbuhan retak yang sudah ada sebelumnya di bawah beban siklik. retak yang sudah ada sebelumnya atau cacat tajam dalam material mengurangi atau mungkin menghilangkan bagian inisiasi retak dari umur kelelahan komponen. Kedua jenis pengujian yang penting; Namun, tampak bahwa inisiasi retak lebih penting dalam proses kegagalan bagian yang relatif

tipis, sementara pertumbuhan retak muncul untuk mendominasi daya tahan komponen bagian yang tebal (berbaring,1992)

#### 4. Fraktur mekanik berdasarkan kurva pertumbuhan CFC

Korosi pertumbuhan retak kelelahan biasanya dianggap dalam hal intensitas tegangan yang diterapkan terkait dengan beberapa ambang batas yang jelas untuk korosi retak tegang, di bawah pembebanan statis. Pandangan konvensional adalah bahwa baik *fatigue corrosion cracking* (CFC) atau *stress corrosion cracking* (SCC) mendominasi di berbagai tingkat *stress intensity factor* (SIF), dan akhirnya pada nilai-nilai yang lebih tinggi dari *stress intensity factor* (SIF), yaitu pada nilai-nilai SIF mendekati ketangguhan retak bahan,  $K_{Ic}$  atau  $K_{Ic}$ , beban retak menjadi penting. Kategori pertumbuhan *fatigue corrosion cracking* (CFC) sebagai salah satu dari tiga jenis perilaku digambarkan dalam gambar 9. Dalam Tipe A perilaku, ada interaksi sinergis dari mekanisme pertumbuhan retak siklik dan korosif di semua tapi harga yang sangat cepat dari pertumbuhan retak, di mana aspek mekanik yang dominan karena retak terjadi lebih cepat dari proses kimia dan transportasi yang terlibat dalam kelelahan korosi. Dengan respon Tipe B, tidak ada efek lingkungan di bawah ambang batas  $K_{Isc}$  /  $K_{Isc}$  diamati dalam studi pertumbuhan retak beban berkelanjutan. Atas  $K_{Isc}$ , pertumbuhan beban retak berkelanjutan kontribusi besar untuk komponen pertumbuhan retak siklik. respon tipe C adalah menengah antara tipe A dan B.



Gambar 2.13 Tiga jenis perilaku pertumbuhan retak kelelahan korosi.

#### 5. Variabel yang mempengaruhi korosi kelelahan.

variabel yang mempengaruhi perilaku kelelahan korosi terbagi dalam tiga kategori yaitu mekanik, metalurgi, dan lingkungan.

## 1. Pengaruh variabel mekanik

### a. frekuensi siklik

Frekuensi beban siklik adalah variabel yang paling penting yang mempengaruhi kelelahan korosi untuk sebagian besar material, lingkungan, dan kondisi intensitas tegangan. Tingkat retak lingkungan atas yang diproduksi di vakum umumnya meningkat dengan menurunnya frekuensi. Frekuensi ada di atas yang kelelahan korosi berkurang. Dominasi frekuensi secara langsung berkaitan dengan waktu ketergantungan dari transportasi dan reaksi kimia langkah massa diperlukan untuk lingkungan retak. Tidak mungkin untuk memprediksi rentang frekuensi di mana kelelahan korosi parah, karena proses kimia banyak. Hal ini juga sulit untuk ekstrapolasi data tingkat pertumbuhan jangka pendek (frekuensi tinggi) retak laboratorium untuk memprediksi kinerja komponen jangka panjang. Karena efek dari frekuensi berhubungan dengan efek lingkungan, pada frekuensi tinggi, ada sedikit waktu untuk aksi lingkungan, yang berarti bahwa tingkat pertumbuhan retak per siklus pendekatan yang ditemukan di udara kering (berbaring,1992).

### b. Tegangan Amplitudo

Secara umum, tegangan amplitudo siklik rendah mengakibatkan umur kelelahan relatif lama, memungkinkan kesempatan yang lebih besar untuk keterlibatan lingkungan dalam proses kelelahan. Namun, interaksi lingkungan mungkin tidak signifikan kecuali laju regangan adalah dalam kisaran penting untuk *stress corrosion cracking* (SCC) dalam sistem paduan atau lingkungan tertentu. amplitudo stres harus dipertimbangkan bersama-sama dengan *mean stress* dan frekuensi. tingkat tegangan yang rendah memungkinkan lebih banyak waktu untuk interaksi lingkungan, tetapi jika frekuensi tinggi, ujung retak mungkin tidak terkena lingkungan untuk waktu yang cukup untuk proses korosi untuk melakukan kerusakan yang signifikan (berbaring,1992).

### c. Intensitas Tegangan

Tingkat pertumbuhan retak kelelahan korosi pada umumnya meningkat dengan meningkatnya intensitas tegangan; Namun, ketergantungan yang tepat sangat bervariasi. Misalnya, material yang sangat sensitif terhadap lingkungan, seperti baja kekuatan tinggi dalam air suling, yang ditandai dengan tingkat pertumbuhan retak tinggi yang dipengaruhi oleh *Stress intensity factor range*



( $\Delta K$ ). Penting untuk memeriksa seluruh relevan *Stress intensity factor range* ( $\Delta K$ ), bukan dengan asumsi peningkatan diamati pada *Stress intensity factor range* ( $\Delta K$ ) tertentu (Berbaring, 1992).

## 2. Pengaruh variabel lingkungan

### a. Pengaruh proteksi katodik dan potensial elektroda

Potensial elektroda sangat mempengaruhi tingkat kelelahan korosi penjalaran retak untuk paduan di lingkungan berair. perubahan dikendalikan potensi spesimen dapat mengakibatkan penurunan atau peningkatan signifikan dari kelelahan retak. Pengaruh yang tepat tergantung pada mekanisme efek lingkungan dan pada besarnya anodik atau katodik dari potensial diterapkan. Tingkat perlindungan 0,2 V sampai 0,3 V lebih negatif daripada potensial korosi bebas akan mengurangi laju korosi baja karbon dengan 99 persen.

### b. Suhu

Suhu dapat mempengaruhi reaksi permukaan lingkungan atau logam serta banyak proses dalam kelelahan korosi, suhu dapat mempengaruhi tingkat pertumbuhan retak kelelahan korosi. Dalam banyak sistem lingkungan atau paduan, kelelahan korosi tingkat pertumbuhan retak meningkat dengan meningkatnya suhu.

## 3. Pengaruh variabel lain

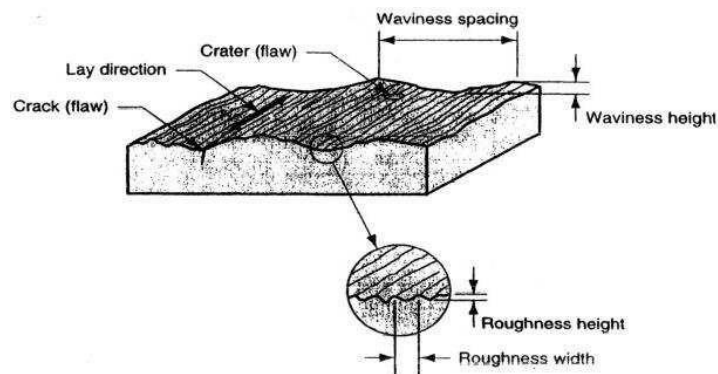
### a. Gelombang siklik

Beban gelombang siklis memiliki sedikit efek pada tingkat pertumbuhan retak kelelahan di lingkungan yang tidak korosif, Tetapi pertumbuhan kelelahan korosi retak di lingkungan korosif sangat tergantung pada bentuk beban gelombang siklik. Efek lingkungan ditingkatkan pada tingkat pertumbuhan retak kelelahan bisa menjadi besar jika gelombang siklik terdiri dari periode yang signifikan meningkat beban. Semakin lama waktu buka kenaikan selama setiap siklus beban, semakin besar pengaruh lingkungan yang agresif.

## 2.5 Kekasaran Permukaan

### 1. Pengertian

. Kekasaran permukaan adalah karakteristik terukur yang mengacu pada penyimpangan kekasaran sebagaimana uraian di atas. Permukaan akhir (surface finish) adalah suatu istilah hubungan yang mencerminkan kehalusan atau mutu umum suatu permukaan. Didalam pemakaian kata yang umum, permukaan akhir sering digunakan sebagai suatu kata lain untuk kekasaran permukaan. Tekstur permukaan seperti yang ditampilkan pada gambar 1 terdiri dari penyimpangan acak yang berulang pada permukaan normal dari suatu obyek permukaan. Kekasaran mengacu pada jarak penyimpangan dari permukaan yang nominal yang ditentukan oleh karakteristik material dan cara memproses hingga diperoleh bentuk permukaan itu. Waviness menggambarkan besar penyimpangan pengaturan jarak sayatan saat pengerjaan, kondisi ini dapat diakibatkan oleh getaran, lenturan, perlakuan panas dan factor lain (Karmin dkk, 2013).



**Gambar 2.14** : Surface Texture Features

### 2. Parameter Kekerasan

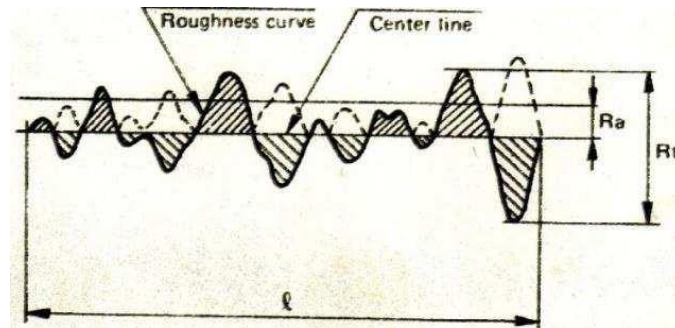
- a) Penyimpangan Rata-rata Aritmatik dari Garis Rata-rata Profil ( $R_a$ )

$R_a$  adalah rata-rata absolut penyimpangan yang diukur dari garis rata-rata (*center line*) profil efektif.

$$Ra = M / l$$

M = Luas keseluruhan (arsiran) diatas dan dibawah *center line*

l = Panjang bagian yang diuji (*evaluation length*)



**Gambar 2.15** : Kurva Kekasaran

b) High of Rougness Curve (Rt)

Ketidak rataan ketinggian maksimum adalah jarak antara dua garis sejajar yang menyinggung profil pada titik tertinggi dan terendah antara panjang bagian yang diuji

c) Ketidak rataan Ketinggian Sepuluh Titik (Rz)

Ketidak rataan ketinggian sepuluh titik (Rz) adalah jarak rata-rata antara lima puncak tertinggi dan lima lembah terdalam disepanjang bagian yang diuji, yang diukur dari garis sejajar dengan garis rata-rata disepanjang “evolution length”

**3. pertimbangan yang menyangkut kekasaran permukaan**

Pertimbangan pertimbangan yang menyangkut kekasaran permukaan antarlain;

- a) Alasan estitika, permukaan itu halus dan bebas goresan dan memungkinkan memberi suatu kesan baik kepadapelanggan.
- b) Permukaan mempengaruhi keselamatan.
- c) Gesekan dan Keausan tergantung pada karakteristik permukaan.
- d) Permukaan mempengaruhi sifatmekanik dan sifat fisis; contoh, permukaan yang kasar menjadikan titik konsentrasi tegangan.
- e) Perakitan bagian-bagian permukaan mengikat sambungan

#### 4. Cara Pengukuran Permukaan

Banyak cara yang dapat digunakan untuk mengukur tingkat kekerasan permukaan. Cara yang paling sederhana dengan meraba atau menggeruk permukaan yang diperiksa. Cara ini sudah pasti ada kelemahannya, karena sifat hanya membandingkan saja. Dan dasar pengambilan keputusan baik tidaknya suatu permukaan adalah berdasarkan perasaan si pengukur belak, yang tentu antara pengukuran satu dengan pengukuran lainnya akan berbeda. Berikut beberapa cara pengukuran permukaan yang lebih teliti;

a) Pemeriksaan kekasaran permukaan dengan Mikroskop (*Microscopic Inspection*)

Keterbatasan pemeriksaan permukaan dengan mikroskop ini adalah pengambilan bagian permukaan yang sempit setiap kali akan melakukan pengukuran. Maka dari itu, dalam pemeriksaan kekasaran permukaan harus dilakukan berulang-ulang untuk kemudian dicari harga rata-ratanya. Pemeriksaan kekasaran permukaan dengan mikroskop ini termasuk juga salah satu pengukuran dengan cara membandingkan, yaitu membandingkan hasil pemeriksaan permukaan yang diukur dengan permukaan dari pembanding yang kedua-duanya dilihat dengan mikroskop. Pertama melihat permukaan ukur dengan mikroskop, kemudian ganti melihat permukaan pembanding. Dengan membandingkan kedua permukaan yang dilihat dengan mikroskop ini maka dapat dianalisis bagaimana keadaan yang sesungguhnya dari permukaan yang diperiksa.

b) Pemeriksaan kekasaran permukaan dengan foto (*surface photograph*)

Pengukuran dengan cara ini adalah mengambil gambar atau memotret permukaan yang akan diperiksa. Kemudian foto permukaan tersebut diperbesar dengan perbesaran yang berbeda-beda. Perbesaran yang diambil adalah perbesaran secara vertikal. Dengan membandingkan hasil perbesaran foto permukaan yang berbeda-beda ini maka dapat dianalisis ketidakrataan dari permukaan yang diperiksa.

c) Pemeriksaan Kekasaran dengan peralatan Kekasaran secara Mekanik (*Mechanical Roughness Instrument* yang disingkat dengan *MECRIN* adalah peralatan untuk memeriksa kekasaran permukaan yang merupakan perkembangan dari cara perabaan atau penggarukan permukaan. Alat ini bekerja dengan sistem mekanik dan diproduksi oleh *Messrs.*