

## BAB IV

### DATA PENGUJIAN DAN PENGOLAHAN DATA

#### 4.1. PERSIAPAN SAMPEL

##### 4.1.1. Hasil Uji Komposisi

Tabel 4.1. Hasil Uji Komposisi Baja dari spons bijih laterit Y

Sampel SRK Y								
	F	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	99.550	0.0562	<0.0050	0.202	0.0091	0.0108	0.0148	< 0.0050
2	99.541	0.0536	0.0051	0.200	0.0088	0.0100	0.0144	< 0.0050
3	99.562	0.0483	0.0061	0.197	0.0073	0.0082	0.0148	< 0.0050
Ave	99.551	0.0527	<0.0050	0.200	0.0084	0.0097	0.0146	< 0.0050
	Ni	Al	Co	Cu	Mb	T	V	W
1	< 0.0050	0.0372	0.0047	0.0090	< 0.0020	< 0.0020	0.0023	< 0.0150
2	< 0.0050	0.0394	0.0047	0.0109	< 0.0020	< 0.0020	0.0023	< 0.0150
3	< 0.0050	0.0378	0.0042	0.0096	< 0.0020	< 0.0020	0.0022	< 0.0150
Ave	< 0.0050	0.0382	0.0046	0.0098	< 0.0020	< 0.0020	0.0023	< 0.0150
	Pb	Sn	B	Ca	Zr	As	Bi	
1	< 0.0250	< 0.0020	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0020	< 0.0050	0.0921	
2	< 0.0250	< 0.0020	< 0.0010	< 0.0010	0.0059	0.0073	0.0886	
3	< 0.0250	< 0.0020	< 0.0010	< 0.0010	0.0055	< 0.0050	0.0893	
Ave	< 0.0250	< 0.0020	< 0.0010	< 0.0010	0.0044	0.0055	0.0900	

Tabel 4.2. Hasil Uji Komposisi Baja dari spons bijih laterit X

Sampel SRK X								
	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	98.732	0.0597	< 0.0050	0.202	0.0167	0.0128	0.210	0.0062
2	98.747	0.0588	< 0.0050	0.201	0.0194	0.0150	0.210	0.0051
3	98.788	0.0503	< 0.0050	0.202	0.0165	0.0145	0.206	0.0054

Ave	98.756	0.0563	< 0.0050	0.202	0.0175	0.0141	0.209	0.0056
	<b>Ni</b>	<b>Al</b>	<b>Co</b>	<b>Cu</b>	<b>Nb</b>	<b>Ti</b>	<b>V</b>	<b>W</b>
1	0.543	0.0335	0.0322	0.0740	< 0.0020	< 0.0020	0.0042	< 0.0150
2	0.548	0.0330	0.0325	0.0747	< 0.0020	< 0.0020	0.0033	< 0.0150
3	0.539	0.0327	0.0314	0.0668	< 0.0020	< 0.0020	0.0043	< 0.0150
Ave	0.544	0.0330	0.0320	0.0718	< 0.0020	< 0.0020	0.0039	< 0.0150
	<b>Pb</b>	<b>Sn</b>	<b>B</b>	<b>Ca</b>	<b>Zr</b>	<b>As</b>	<b>Bi</b>	
1	<0.0250	0.0033	< 0.0010	0.0005	0.0074	0.0055	0.0374	
2	<0.0250	0.0040	< 0.0010	0.0005	0.0065	0.0078	< 0.0300	
3	<0.0250	0.0027	< 0.0010	0.0004	0.0065	0.0059	< 0.0300	
Ave	<0.0250	0.0034	< 0.0010	0.0005	0.0068	0.0064	< 0.0300	

#### 4.1.2. Hasil Uji Tarik

Tabel 4.3. Hasil Uji Tarik

Jenis	Bentuk	Dimensi Sampel (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	L <sub>0</sub> (mm)	P <sub>u</sub> (Kg)	P <sub>y</sub> (Kg)	ΔL (mm)	σ <sub>u</sub> (Kg/mm <sup>2</sup> )	σ <sub>y</sub> (Kg/mm <sup>2</sup> )	e (%)
X	Pelat (0°)	T=0,50	12,85	50	561,8	348	17,60	43,719	27,082	35,2%
		W=25,7								
	Pelat (90°)	T=0,50	12,85	50	566	368	16,70	44,047	28,638	33,4%
		W=25,7								
Y	Pelat (0°)	T=0,40	9,60	50	376	244	19,40	39,167	25,417	38,8%
		W=24								
	Pelat (90°)	T=0,40	9,60	50	370	256	19,10	38,542	26,667	38,2%
		W=24								

#### 4.1.3. Ukuran Sampel

Tabel 4.4. Ukuran Sampel Uji

Material	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)
X	0,55	25	250
Y	0,4	25	250

#### 4.1.4. Hasil Perhitungan Tegangan

Tabel 4.5. Perhitungan Tegangan

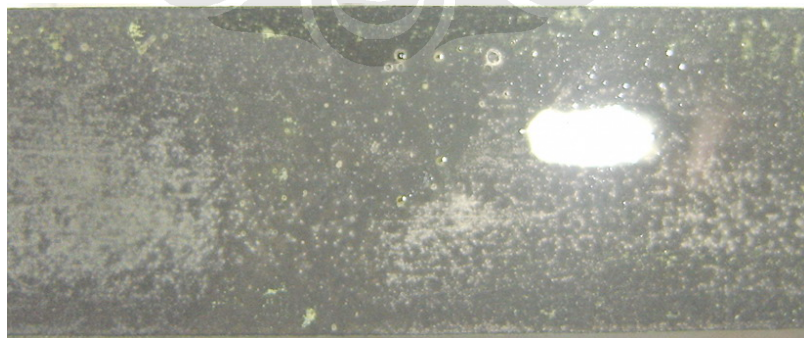
Jenis	$\theta$	Tebal (mm)	H (mm)	k	K	E	$\varepsilon$	Em (GPa)	$\sigma$ (GPa)
X	5	0,55	249	0,044	90,043	89,957	0,004	53,112	0,222
	9	0,55	248	0,078	90,139	89,861	0,018	53,112	0,957
Y	3	0,4	249,9	0,026	90,015	89,984	0,0006	52,299	0,0328
	10,5	0,4	248	0,092	90,189	89,811	0,0195	52,299	1,0178
	4	0,4	249,7	0,035	90,027	89,973	0,0031	52,299	0,1641

#### 4.2. Hasil Pengamatan Visual

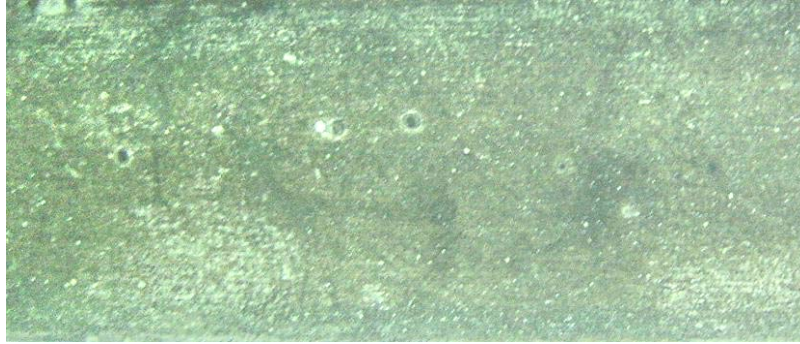
##### 4.2.1. Hasil Pengamatan Permukaan



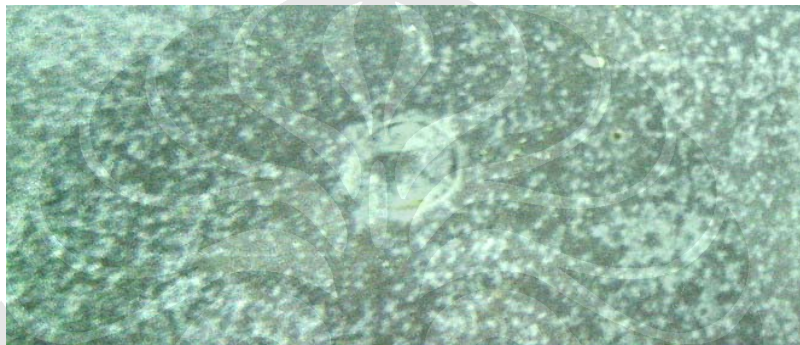
Gambar 4.1. Foto permukaan sampel X elastis pada larutan NaCl 0,1%



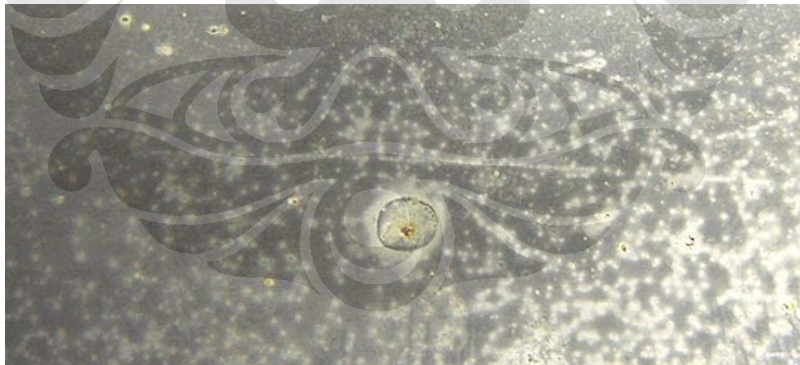
Gambar 4.2. Foto permukaan sampel Y elastis pada larutan NaCl 0,1%



Gambar 4.3. Foto permukaan sampel X plastis pada larutan NaCl 0,1%



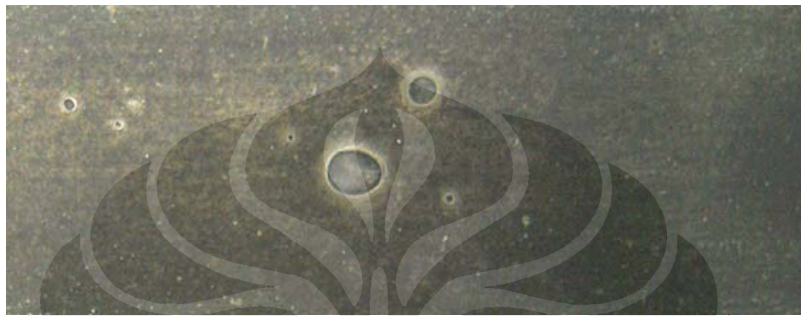
Gambar 4.4. Foto permukaan sampel Y plastis pada larutan NaCl 0,1%



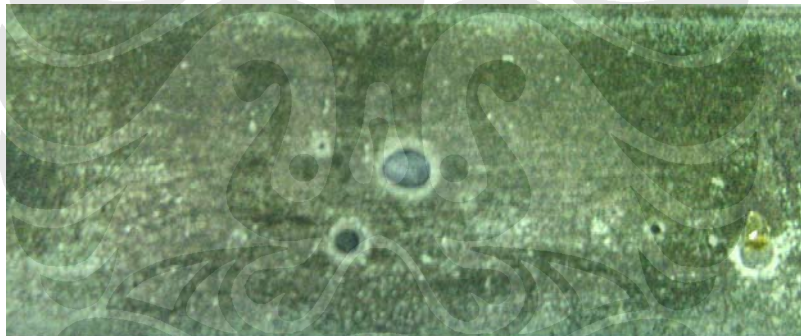
Gambar 4.5. Foto permukaan sampel X elastis pada larutan NaCl 0,3%



Gambar 4.6. Foto permukaan sampel Y elastis pada larutan NaCl 0,3%



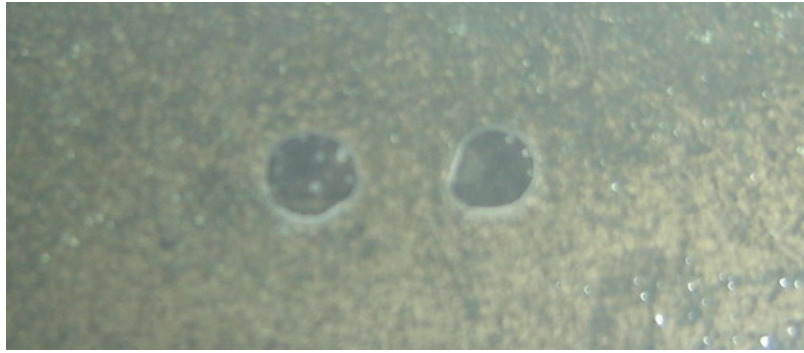
Gambar 4.7. Foto permukaan sampel X plastis pada larutan NaCl 0,3%



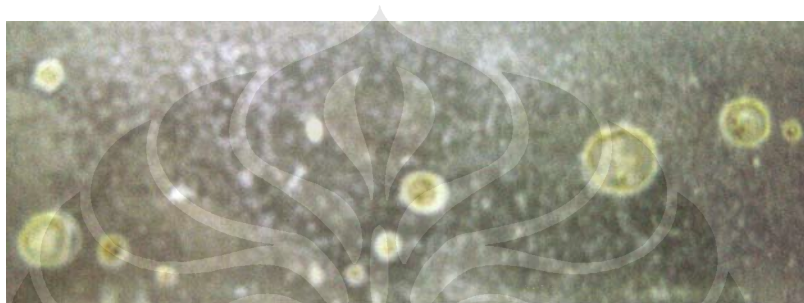
Gambar 4.8. Foto permukaan sampel Y plastis pada larutan NaCl 0,3%



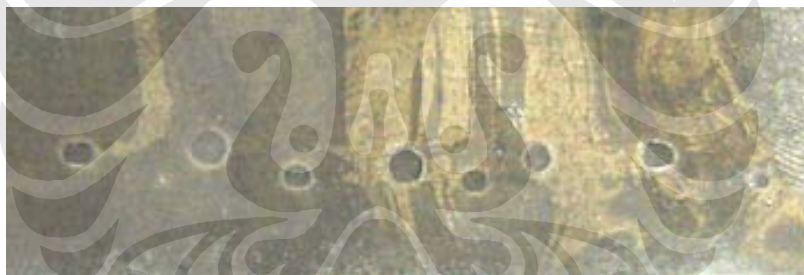
Gambar 4.9. Foto permukaan sampel X elastis pada larutan NaCl 0,5%



Gambar 4.10. Foto permukaan sampel Y elastis pada larutan NaCl 0,5%



Gambar 4.11. Foto permukaan sampel X plastis pada larutan NaCl 0,5%

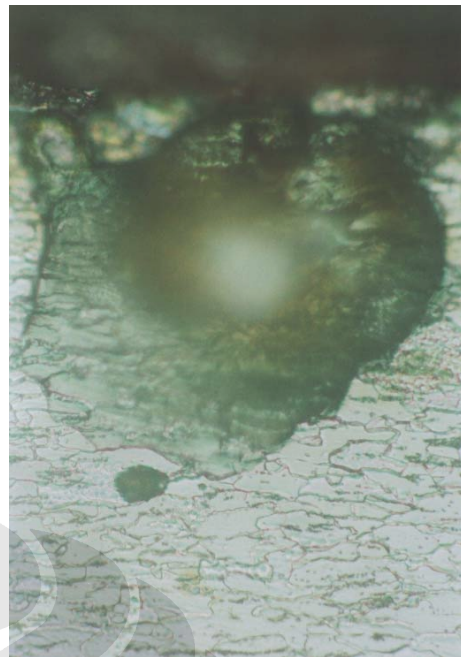


Gambar 4.12. Foto permukaan sampel Y plastis pada larutan NaCl 0,5%

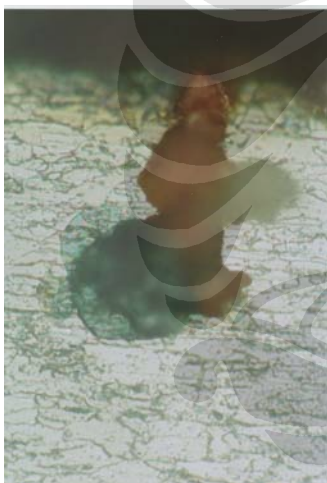
#### 4.2.2. Hasil Pengamatan Struktur Mikro



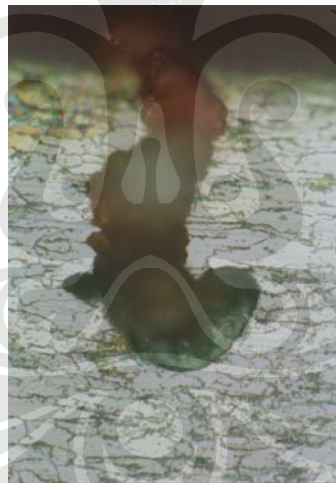
Gambar 4.13. Baja X pada 0,3% NaCl



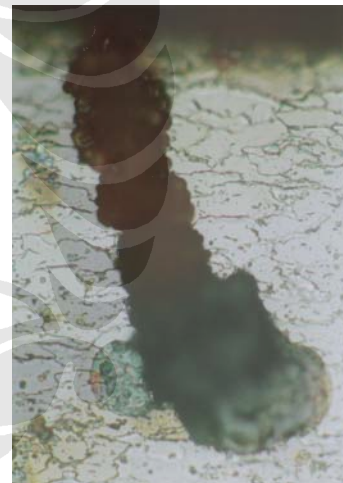
Gambar 4.14. Baja Y pada 0,5% NaCl



Gambar 4.15. Baja Y pada 0,1% NaCl



Gambar 4.16. Baja Y pada 0,3% NaCl



Gambar 4.17. Baja Y pada 0,5% NaCl

### 4.3. Hasil Pengujian Korosi Retak Tegang

#### 4.3.1. Sampel Uji Korosi Retak Tegang

Tabel 4.6. Sampel Uji Korosi Retak Tegang

No.	Kode <i>Specimen Holder</i>	Material	Tegangan (GPa)	Kondisi

1	6	Y	1,0178	NaCl 0,1 %
2	12	Y	0,1641	
3	18	X	0,957	
4	24	X	0,222	
5	2	Y	1,0178	NaCl 0,3 %
6	8	Y	0,1641	
7	14	X	0,957	
8	20	X	0,222	
9	4	Y	1,0178	NaCl 0,5 %
10	10	Y	0,1641	
11	16	X	0,957	
12	22	X	0,222	

### 4.3.2. Data Pengujian Korosi Retak Tegang

#### 4.3.2.1. Perhitungan Perubahan Berat

Tabel 4.7. Perubahan Berat Setelah Pengujian

No	Kode	Material	$\sigma$ (GPa)	$W_{awal}$ (gram)	$W_{akhir}$ (gram)	$\Delta W$ (gram)	Kondisi
1	6	Y	1,0178	19,1696	19,059	0,1106	NaCl 0,1 %
2	12	Y	0,1641	19,1668	19,0859	0,0809	
3	18	X	0,957	24,2164	24,1203	0,0961	
4	24	X	0,222	24,1028	24,0246	0,0782	
5	2	Y	1,0178	18,6891	18,4774	0,2117	NaCl 0,3 %
6	8	Y	0,1641	19,4693	19,3048	0,1645	
7	14	X	0,957	23,6887	23,5104	0,1783	
8	20	X	0,222	24,4205	24,274	0,1465	
9	4	Y	1,0178	18,4812	18,2374	0,2438	NaCl 0,5 %
10	10	Y	0,1641	19,3708	19,1801	0,1907	
11	16	X	0,957	23,9453	23,7228	0,2225	
12	22	X	0,222	23,9152	23,7582	0,157	



#### 4.3.2.2. Perhitungan Diameter, dan Kedalaman Pitting

Tabel 4.8. Ukuran Diameter dan Kedalaman Pitting

No	Kode	Material	$\sigma$ (GPa)	Dia. Pitting (mm)	Pitting Depth (mm)	Kondisi
1	6	Y	1,0178	2,846	0,028	NaCl 0,1 %
2	12	Y	0,1641	2,427	0,014	
3	18	X	0,957	2,031	0,021	
4	24	X	0,222	2,016	0,005	
5	2	Y	1,0178	4,104	0,047	NaCl 0,3 %
6	8	Y	0,1641	4,036	0,04	
7	14	X	0,957	3,099	0,043	
8	20	X	0,222	3,028	0,018	
9	4	Y	1,0178	5,152	0,084	NaCl 0,5 %
10	10	Y	0,1641	5,057	0,041	
11	16	X	0,957	5,013	0,045	
12	22	X	0,222	4,639	0,033	

#### 4.3.2.3. Perhitungan Laju Korosi Material

Laju korosi ditentukan dengan rumus:

$$\text{Corrosion Rate (mm/yr)} = \frac{8,76 \cdot 10^4 \times W}{A \times T \times D}$$

dimana:

T = Waktu ekspos (jam)

A = Luas area yang terekspos (cm<sup>2</sup>)

W = Kehilangan berat (gram)

D = Massa jenis material (g/cm<sup>3</sup>)

Contoh perhitungan laju korosi (mm/yr) untuk sampel berkode 6 baja dari spons bijih laterit Y pada larutan NaCl 0,1% dengan jangka waktu perendaman selama 115 jam sebagai berikut:

- Berat yang hilang =  $(19,1696 - 19,059)$  gram = 0,1106 gram
- Berat jenis =  $7,86 \text{ g/cm}^3$
- Luas area terekspos =  $2 \times \{(25 \times 2,5) + (25 \times 0,04) + (2,5 \times 0,04)\} \text{ cm}^2$   
=  $127,2 \text{ cm}^2$
- Waktu = 115 jam
- Laju korosi =  $\frac{8,76 \cdot 10^4 \times 0,1106 \text{ gr}}{127,2 \text{ cm}^2 \times 115 \text{ jam} \times 7,86 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}}$   
= 0,0843 mm/yr

Tabel 4.9. Laju Korosi Material

No	Kode	Material	$\sigma$ (GPa)	Laju Korosi (mm/yr)	Kondisi
1	6	Y	1,0178	0,084265875	NaCl 0,1 %
2	12	Y	0,1641	0,061637516	
3	18	X	0,957	0,07321836	
4	24	X	0,222	0,059580393	
5	2	Y	1,0178	0,161293723	NaCl 0,3 %
6	8	Y	0,1641	0,125332156	
7	14	X	0,957	0,135846343	
8	20	X	0,222	0,111617999	
9	4	Y	1,0178	0,185750636	NaCl 0,5 %
10	10	Y	0,1641	0,145293873	
11	16	X	0,957	0,169522217	
12	22	X	0,222	0,119617924	

## **BAB V**

### **PEMBAHASAN**

#### **5.1. ANALISA KUALITATIF**

##### **5.1.1. Pengamatan Makro**

Pengujian korosi retak tegang dilakukan dengan menggunakan *two-point load specimen* dimana sampel uji dicelup ke dalam larutan garam NaCl 0,1%, NaCl 0,3% dan NaCl 0,5% selama 115 jam.

Selama pengujian berlangsung, dilakukan pengamatan berkala setiap 24 jam terhadap permukaan sampel uji. Hal ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik korosi yang terjadi selama pengujian. Dari hasil pengamatan nampak adanya perbedaan karakteristik permukaan dari setiap material bergantung dari jenis material yang digunakan maupun konsentrasi NaCl dalam larutan uji.

Berdasarkan hasil pengamatan pada permukaan sampel material uji, diketahui terbentuk *pitting* pada permukaan material yang disebabkan ion klorida yang ada dalam larutan uji merusak lapisan pasif material. Hal ini ditandai dengan adanya lubang-lubang kecil yang terbentuk di beberapa daerah di permukaan material uji.

Dari Gambar 4.1 hingga 4.12 dapat dilihat dan dibandingkan bahwa material baja X yang memiliki kandungan nikel dan kromium sebesar 0,544% dan 0,209% memiliki kecenderungan terjadinya korosi *pitting* yang lebih sedikit daripada baja Y yang memiliki kandungan nikel dan kromium sebesar 0,005% dan 0,0146%.

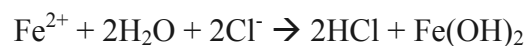
Pada lingkungan NaCl 0,1%, sampel baja X yang diberikan tegangan aplikasi sebesar 222 MPa memperlihatkan kecenderungan terkorosi yang kecil dimana baik jumlah maupun ukuran *pitting* yang diamati secara visual sangat sedikit. Kecenderungan meningkatnya *pitting* baik dari segi jumlah maupun ukuran terlihat dengan semakin meningkatnya konsentrasi larutan NaCl yang digunakan serta tegangan aplikasi yang diberikan pada material. Hal ini dibuktikan dengan membandingkan Gambar 4.1, Gambar 4.5 dan 4.9. Dari

gambar-gambar tersebut dapat dibandingkan bahwa untuk material dengan jenis material dan besar tegangan aplikasi yang sama, ternyata kecenderungan terbentuknya korosi *pitting* semakin meningkat dengan meningkatnya konsentrasi NaCl.

Selain perbedaan konsentrasi NaCl, perbedaan tegangan juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kecenderungan korosi material, dimana semakin besar tegangan aplikasi maka *pitting* yang terbentuk semakin banyak dan besar. Hal ini dibuktikan dengan membandingkan Gambar 4.1 dengan 4.3, Gambar 4.5 dengan 4.7 dan Gambar 4.9 dengan 4.11 dimana dapat dilihat bahwa untuk jenis material dan lingkungan yang sama *pitting* yang terbentuk semakin banyak dan besar dengan semakin meningkatnya tegangan aplikasi. Hal serupa juga berlaku untuk material baja Y.

Selain itu, mayoritas *pitting* yang terbentuk terkonsentrasi di bagian tengah-tengah sampel. Hal ini menandakan bahwa faktor tegangan turut mempengaruhi proses pembentukan *pitting*, dimana pada bagian tengah sampel atau pada bagian puncak defleksi merupakan daerah dengan nilai tegangan yang paling besar seperti halnya ditunjukkan pada Gambar 3.5.

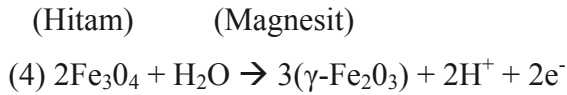
Dari pengamatan visual terlihat beberapa bagian permukaan sampel mengalami perubahan warna, dimana mayoritas warna yang muncul adalah putih hijau dan kuning. Menurut Vogel[7] dan Zaki Ahmad[8], endapan berwarna putih kehijauan merupakan  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , sedangkan endapan berwarna kuning maupun kuning kecoklat-coklatan merupakan  $\text{FeOOH}$ . Hal ini semakin membuktikan bahwa pada kondisi larutan uji dengan menggunakan NaCl, terbentuk lapisan pasif dari besi menurut reaksi:



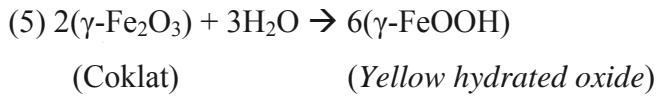
(endapan putih kehijauan)

$\text{Fe}(\text{OH})_2$  tidak dapat larut dalam air dan memisahkan diri dari elektrolit. Nama yang terkenal dari  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  adalah karat. Reaksi detail yang terjadi saat korosi dari material yang berbasis besi antara lain:

- (1)  $\text{Fe} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{FeO} + 2\text{H}^+ + 2e^-$  Membentuk lapisan *monolayer* dari FeO
- (2)  $\text{Fe} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+ + 2e^-$
- (3)  $3\text{FeO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 2\text{H}^+ + 2e^-$



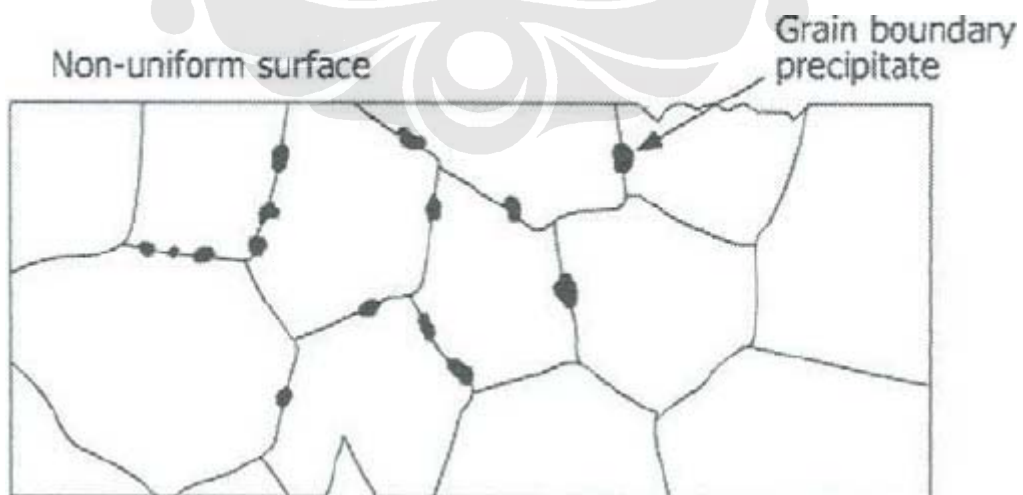
(Coklat)



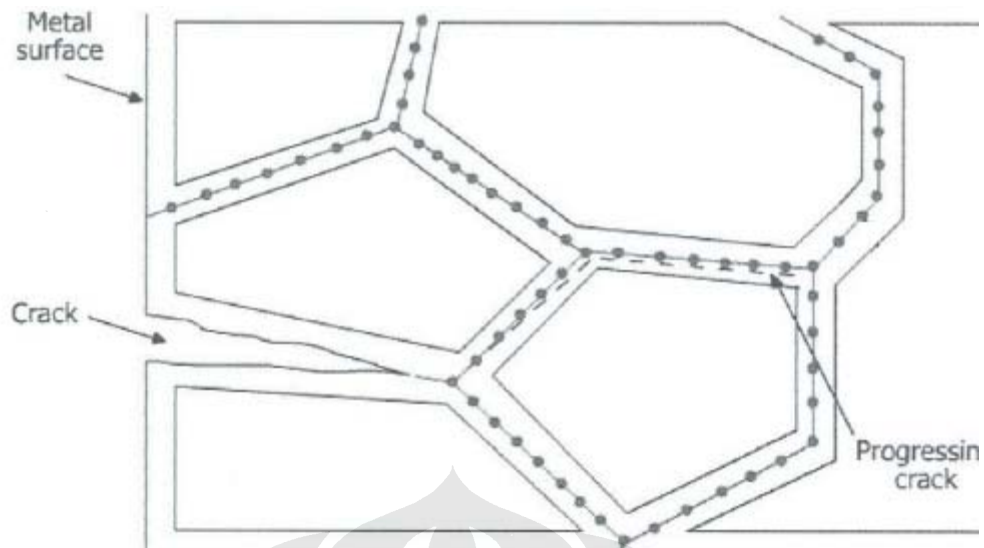
### 5.1.2. Pengamatan Struktur Mikro

Dari hasil pengamatan struktur mikro, dapat dilihat bahwa terjadi jenis retakan intergranular dimana retakan merambat di sepanjang batas butir. Retakan merambat di sepanjang batas butir dan menjalar ke bagian yang lebih dalam dengan inisiasi retakan berawal dari daerah *pitting* yang terbentuk.

Logam merupakan material kristalin yang terdiri dari banyak butir. Ketika korosi berlangsung di sepanjang batas butir, butir menjadi lebih lemah pada batas butir dan dapat terpisah. Hal ini disebabkan karena batas butir dari material memiliki kerentanan terhadap korosi retak tegang. Hal ini kemungkinan terjadi karena adanya segregasi dari elemen yang terdapat dalam komposisi material. Batas butir menjadi daerah yang memiliki energi yang tinggi sehingga lebih cenderung diserang. Selain itu elemen-elemen yang bersegregasi pada batas butir dapat memicu *driving force* untuk terjadinya korosi karena adanya perbedaan potensial antara batas butir dengan matriks[8].



Gambar 5.1. Pengendapan elemen pada batas butir[8].



Gambar 5.2. *Intergranular cracking* yang terjadi karena adanya segregasi elemen pada batas butir[8].

Selain itu diketahui bahwa semakin besar konsentrasi NaCl yang digunakan, diameter *pitting* yang terbentuk semakin besar dan dengan meningkatnya ion klorida yang agresif, penetrasi retakan menjadi semakin dalam. Hal ini disebabkan adanya ion klorida akan merusak lapisan pasif yang terbentuk pada material, mempercepat terjadinya reaksi anodik[3] serta terjadinya korosi yang terlokalisasi seperti *pitting*.

Dari Gambar 2.16 dapat dilihat dan dijelaskan bagaimana ion klorida yang berada pada larutan dapat mempercepat terjadinya korosi logam. Reaksi oksidasi terjadi pada dasar lubang ( $M \rightarrow M^{n+} + ne^-$ ) yang diseimbangkan oleh reaksi katodik pada batas permukaan ( $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$ ). Peningkatan konsentrasi dari  $M^{n+}$  di dalam lubang menyebabkan terjadinya migrasi ion klorida ( $Cl^-$ ) untuk menjaga netralitas. Logam klorida yang terbentuk,  $M^+Cl^-$ , kemudian dihidrolisis oleh air menjadi hidroksida dan asam bebas ( $M^+Cl^- + H_2O \rightarrow MOH + H^+Cl^-$ ). Semakin tingginya konsentrasi ion  $Cl^-$  akan menyebabkan reaksi oksidasi logam akan berlangsung lebih cepat, akibatnya reaksi penguraian logam Fe menjadi  $Fe^{2+}$  semakin cepat sehingga daerah yang terkorosi akan semakin luas dan dalam.

## 5.2. ANALISA KUANTITATIF

### 5.2.1. Pengaruh terhadap Pengurangan Berat dan Laju Korosi

Dari hasil pengujian korosi retak tegang dapat diketahui bahwa pengurangan berat material dan laju korosi dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain komposisi material, tegangan aplikasi yang diberikan serta lingkungan yang digunakan.

#### 5.2.1.1. Pengaruh Komposisi Material

Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk material X yang dicelup dalam larutan NaCl 0,1% mengalami pengurangan berat sebesar 18,62%, sedangkan untuk material Y sebesar 26,85%. Kecenderungan serupa juga terlihat pada larutan NaCl 0,3% dan 0,5%. Hal ini memperlihatkan bahwa material X memiliki kecenderungan terkorosi yang lebih kecil dibandingkan dengan Y.

Selain itu diketahui pula bahwa laju korosi material memiliki karakteristik yang berbeda-beda dari setiap material. Pada larutan NaCl 0,1%, laju korosi material X sebesar 0,0596 mm/year dan 0,0732 mm/year, sedangkan material Y memiliki nilai laju korosi sebesar 0,0616 mm/year dan 0,0842 mm/year. Hal serupa juga terjadi pada larutan NaCl 0,3% dan NaCl 0,5%.

Perbedaan yang signifikan antara material X dengan material Y adalah berada pada jumlah kandungan nikel dan kromium dalam komposisi masing-masing dimana X memiliki kandungan nikel dan kromium sebesar 0,544% dan 0,209%, sedangkan Y memiliki kandungan nikel dan kromium sebesar 0,005% dan 0,0146%.

McBee dan Kruger[9] menunjukkan bahwa penambahan kromium ke dalam besi dalam sebuah paduan dapat menyebabkan lapisan oksida berubah dari polikristalin menjadi nonkristalin seiring dengan meningkatnya jumlah kromium yang ditambahkan[8]. Kruger[10], berpendapat bahwa adanya ikatan dan fleksibilitas struktur dari lapisan oksida pada paduan yang memiliki kandungan kromium yang tinggi membuat lapisan pasif tersebut lebih tahan terhadap pemecahan lapisan pasif dan oleh karena itu sistem menjadi lebih tahan terhadap korosi[8].

Logam dan paduan polikristalin banyak mengandung *defect*, dan fenomena pasifasi dari logam-logam tersebut memiliki karakteristik masing-masing, khususnya ketika cacat-cacat tersebut mengandung konsentrasi atom-atom

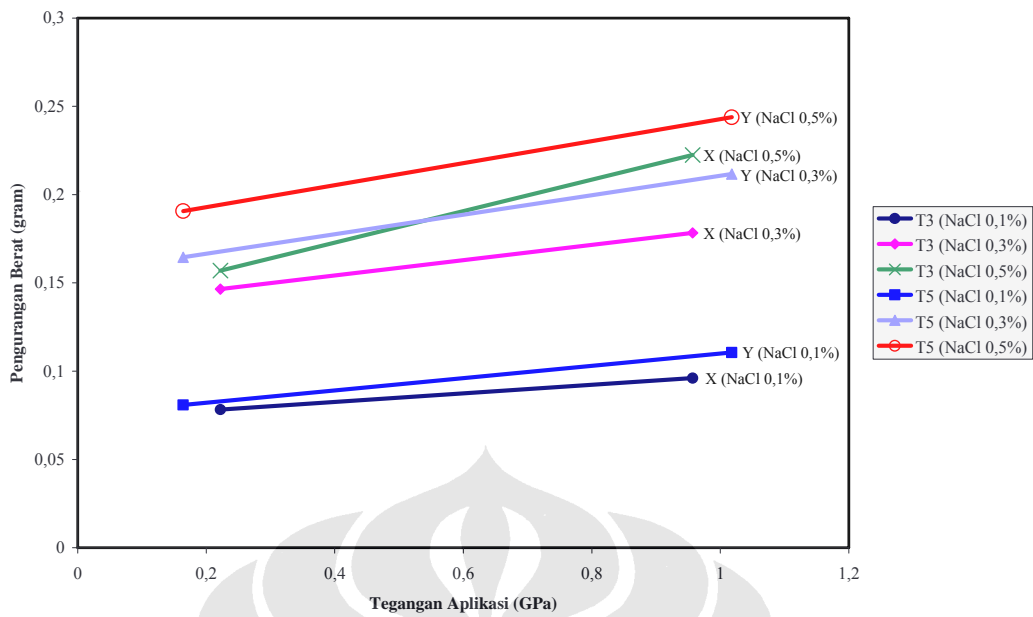
pengotor yang cukup tinggi, misalnya sulfur yang bersegregasi di batas butir pada baja[11].

Penelitian yang dilakukan oleh K. Sugimoto, et al.[12] menunjukkan bahwa adanya kandungan Cr yang ditambahkan ke dalam paduan dapat menekan reaksi pemutusan  $Fe_2O_3$  yang merupakan komponen dalam lapisan pasif dimana pemutusan  $Fe_2O_3$  dapat menyebabkan terjadinya pemecahan lapisan pasif[13].

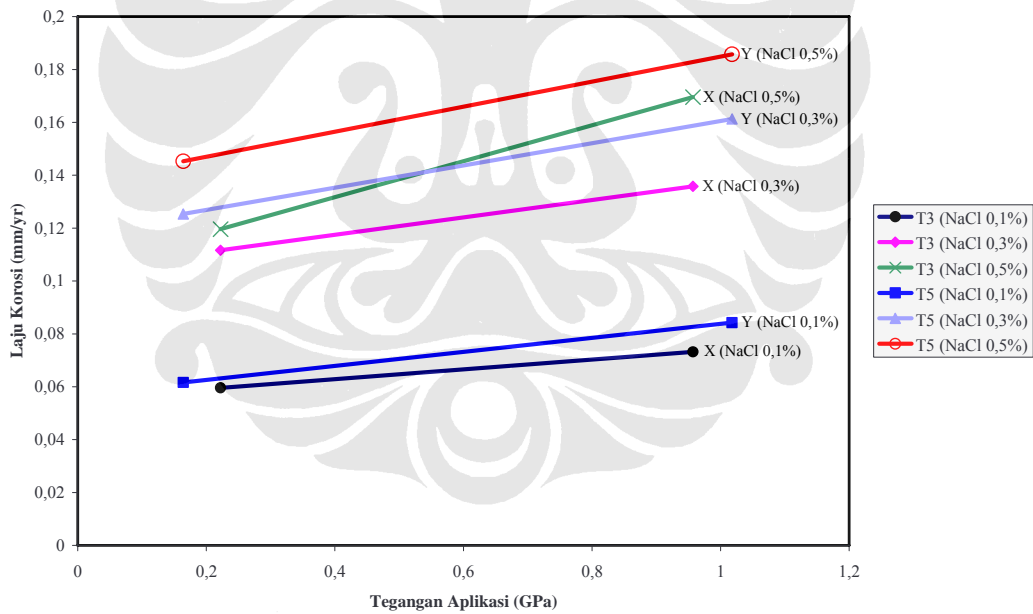
Komposisi paduan serta mikrostruktur dapat memiliki pengaruh yang sangat kuat pada ketahanan *pitting* dari sebuah paduan, seperti yang ditunjukkan oleh Horvath dan Uhlig[14], yang mendemonstrasikan keuntungan dari penambahan kromium pada baja dimana potensial korosi meningkat seiring dengan meningkatnya kandungan kromium.

Dari pembahasan dan hasil penelitian tersebut, dapat diambil kesimpulan bahwa dengan kandungan nikel dan kromium yang lebih besar, baja X memiliki kecenderungan terkorosi *pitting* yang jauh lebih sedikit dibandingkan baja Y, karena lapisan pasif yang terbentuk pada baja X lebih stabil serta dapat menahan serangan ion  $Cl^-$ . Dengan demikian reaksi oksidasi dari besi semakin lambat sehingga produk korosi yang dihasilkan pun semakin sedikit. Akibatnya pengurangan berat dari material uji semakin kecil pula karena reaksi oksidasi logam Fe semakin lambat. Selain itu dengan meningkatnya kandungan nikel dan kromium, laju korosi semakin berkurang, karena dengan penambahan kedua unsur tersebut, lapisan pasif yang terbentuk semakin kuat terhadap serangan korosi.





Gambar 5.3. Pengaruh tegangan terhadap pengurangan berat



Gambar 5.4. Pengaruh tegangan terhadap laju korosi

### 5.2.1.2. Pengaruh Tegangan Aplikasi

Dari grafik di atas, dapat dilihat ada kenaikan pengurangan berat seiring dengan bertambahnya tegangan. Pada larutan NaCl 0,1 %, material X yang diberi tegangan sebesar 0,1641 GPa mengalami pengurangan berat sebesar 0,0809 gram.

Hal ini lebih sedikit daripada material yang sama yang diberi tegangan sebesar 1,0178 GPa dimana pengurangan berat yang terjadi sebesar 0,1106 gram. Kecenderungan serupa juga terjadi pada material X yang dicelup pada larutan NaCl 0,3% dan NaCl 0,5%, dimana dengan meningkatnya tegangan aplikasi membuat pengurangan berat yang terjadi juga semakin meningkat. Begitu pula dengan material Y yang dicelup pada larutan NaCl 0,1%, 0,3% dan 0,5% dimana semua menunjukkan hal serupa yaitu peningkatan besar pengurangan berat seiring dengan meningkatnya tegangan aplikasi.

Hal ini menunjukkan bahwa tegangan aplikasi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pengurangan berat dan laju korosi, dimana semakin besar tegangan yang diberikan, maka pengurangan berat dan lokasi yang terjadi semakin besar pula. Peningkatan tegangan diperkirakan mempengaruhi pertumbuhan retak dimana perambatan retak yang terjadi semakin bertambah, *pitting* yang terbentuk semakin dalam sehingga logam induk semakin banyak yang teroksidasi. Akibatnya material mengalami kehilangan berat akibat terurainya logam.

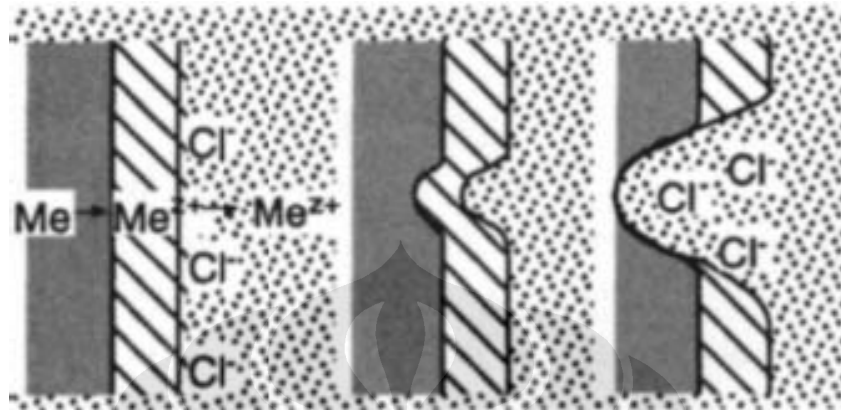
#### 5.2.1.3. Pengaruh Lingkungan

Dari hasil penelitian, diketahui bahwa peningkatan kadar NaCl yang digunakan menyebabkan semakin meningkatnya pengurangan berat dari material. Hal ini berlaku bagi material X maupun Y. Untuk material X dengan tegangan yang sama (misal 0,222 GPa), mengalami penurunan berat sebesar 0,0782 gram pada NaCl 0,1%, 0,1465 gram pada NaCl 0,3% dan 0,157 pada NaCl 0,5%.

Demikian halnya laju korosi, dimana penambahan kadar NaCl dari 0,1% hingga 0,5%, laju korosi semakin meningkat karena hal ini berarti ion klorida yang bersifat agresif semakin meningkat pula. Lapisan pasif material semakin rusak dengan bertambahnya ion klorida sehingga reaksi oksidasi material semakin cepat.

Hal ini terjadi karena adanya ion klorida dalam larutan dapat merusak lapisan pasif yang terbentuk. Akibatnya reaksi oksidasi Fe akan semakin cepat karena terjadi proses autokatalis, yaitu dimana proses korosi yang terjadi pada lubang menghasilkan kondisi yang mempercepat aktivitas dari lubang yang terbentuk. Penguraian logam Fe terjadi sangat cepat pada lubang sehingga

cenderung menghasilkan kelebihan muatan positif di daerah ini yang menyebabkan pindahnya ion klorida untuk menjaga netralitas elektron. Oleh karena itu, pada lubang terdapat konsentrasi MCl yang cukup tinggi dan ion hidrogen yang tinggi pula sebagai hasil dari proses hidrolisis.

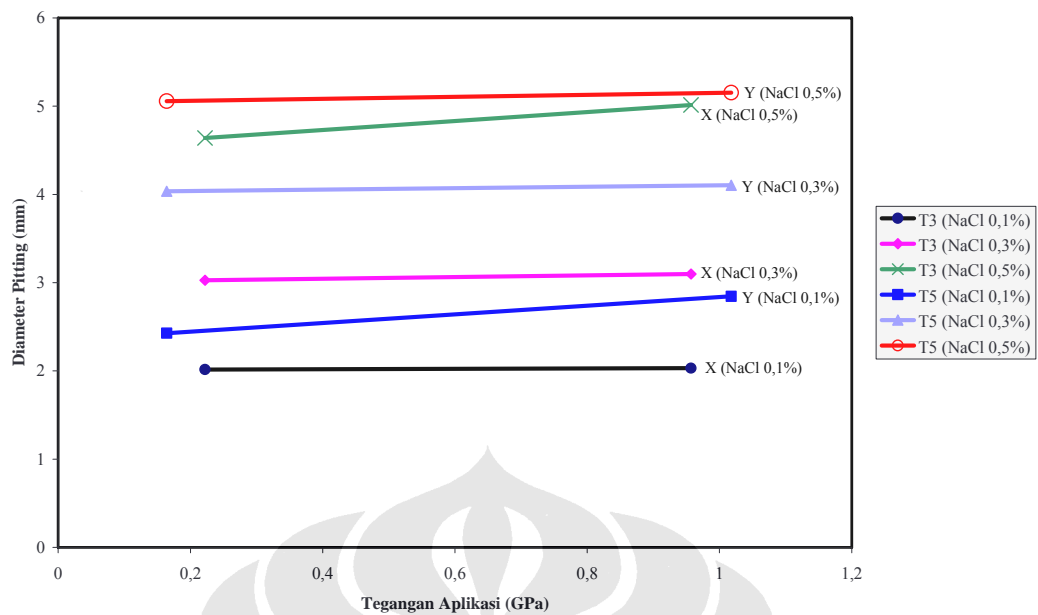


Gambar 5.5. Adsorpsi ion  $\text{Cl}^-$  ke logam Fe menyebabkan peristiwa oksidasi Fe semakin cepat[8].

### 5.2.2. Pengaruh terhadap Diameter *Pitting*

Diameter *pitting* diukur dengan menggunakan *measurement microscope* setelah sebelumnya dilakukan perendaman sampel uji selama 115 jam. Dari hasil pengukuran diperoleh hasil dimana terjadi peningkatan besar diameter *pitting* yang terbentuk seiring dengan bertambahnya tegangan dan konsentrasi larutan. Selain itu dengan adanya perbedaan komposisi material, karakteristik *pitting* yang terbentuk pun berbeda, dimana material yang memiliki komposisi paduan yang lebih banyak, memperlihatkan ketahanan korosi yang lebih baik. Hal ini dibuktikan dengan besarnya diameter *pitting* yang terbentuk pada material X, yang memiliki kandungan nikel dan kromium lebih banyak, jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan Y.

Pengukuran diameter *pitting* merupakan salah satu indikator yang menunjukkan ketahanan terhadap korosi *pitting* dari suatu material.



Gambar 5.6. Pengaruh tegangan terhadap diameter *pitting*

#### 5.2.2.1. Pengaruh Komposisi Material

Grafik hasil pengujian korosi retak tegang menunjukkan gejala umum bahwa material X yang memiliki kandungan nikel dan kromium lebih banyak dibandingkan dengan Y, memiliki diameter *pitting* yang lebih kecil.

Hal ini dapat dilihat untuk lingkungan yang sama (misal NaCl 0,1%), diameter *pitting* yang terbentuk pada X mengalami peningkatan sebesar 0,74%, sedangkan untuk material Y mengalami peningkatan pertambahan diameter sebesar 14,72% seiring dengan meningkatnya tegangan aplikasi.

Hal ini menunjukkan adanya pengaruh paduan nikel dan kromium pada komposisi material masing-masing dimana dengan peningkatan kadar nikel dan kromium, lapisan pasif yang terbentuk akan semakin kuat dalam menahan serangan ion klorida yang terdapat dalam larutan. Akibatnya laju penguraian Fe yang terdapat pada material lebih lambat pada material X lambat karena terhambat oleh lapisan pasif.

#### 5.2.2.2. Pengaruh Tegangan Aplikasi

Jika diamati dari grafik di atas, dapat diketahui bahwa untuk material yang sama, diameter *pitting* yang terjadi akan semakin besar seiring dengan semakin meningkatnya tegangan aplikasi.

Material X yang dicelup pada larutan NaCl 0,1%, memiliki diameter *pitting* sebesar 2,016 mm ketika diberikan tegangan sebesar 0,222 GPa dan sebesar 2,031 mm saat tegangan mencapai 0,957 GPa. Pada larutan NaCl 0,3%, diameter yang terbentuk untuk material X sebesar 3,028 mm pada tegangan 0,222 GPa dan 3,099 mm dengan tegangan aplikasi 0,957 GPa. Pada larutan NaCl 0,5%, material X memiliki tegangan 0,222 GPa dengan diameter *pitting* sebesar 4,639 mm dan 5,013 mm pada tegangan 0,957 GPa.

Kecenderungan peningkatan diameter *pitting* seiring dengan meningkatnya tegangan juga dialami oleh material Y, dimana pada larutan NaCl 0,1%, diameter yang terbentuk sebesar 2,427 mm untuk tegangan 0,1641 GPa dan 2,846 mm untuk tegangan sebesar 1,0178 GPa. Untuk larutan NaCl 0,3%, diameter *pitting* yang terbentuk sebesar 4,036 mm pada tegangan 0,1641 GPa dan 4,104 mm dengan besar tegangan 1,0178 GPa. Pada larutan NaCl 0,5%, diameter *pitting* mencapai 5,057 mm dengan besar tegangan aplikasi sebesar 0,1641 GPa dan 5,152 mm untuk tegangan 1,0178 GPa.

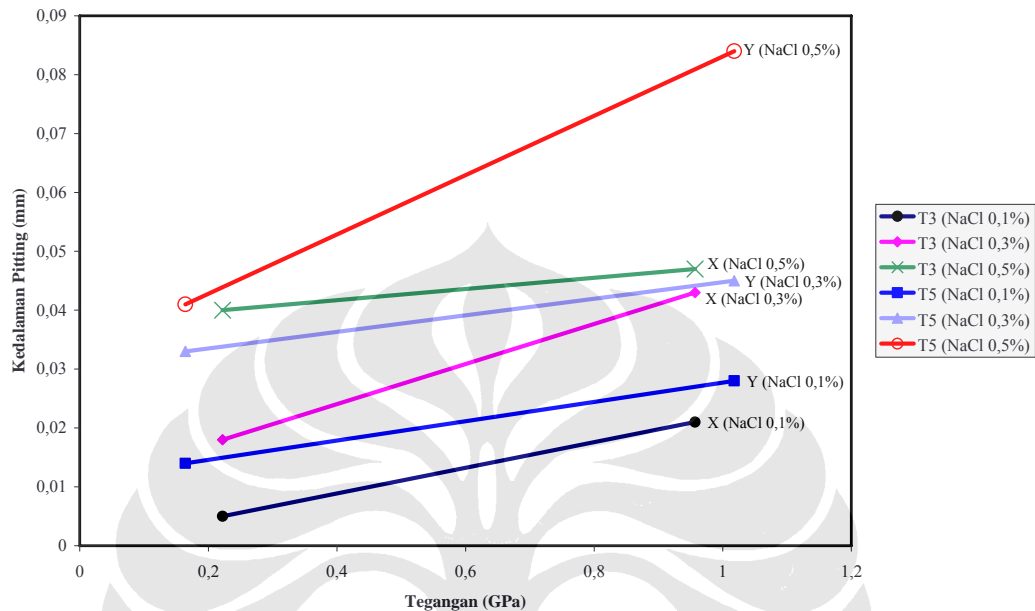
#### 5.2.2.3. Pengaruh Lingkungan

Kadar NaCl yang digunakan juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap besarnya diameter *pitting* yang terbentuk pada masing-masing material. Dapat dilihat dari grafik bahwa penambahan konsentrasi NaCl pada larutan uji akan meningkatkan diameter *pitting* yang terbentuk selama pengujian.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, ion klorida merupakan ion agresif yang dapat menghancurkan lapisan pasif material. Semakin banyak ion klorida yang terkandung, reaksi oksidasi Fe semakin cepat melalui proses autokatalisis yang terjadi pada lubang. Hal ini menyebabkan banyak terurainya logam Fe karena proses tersebut sehingga mengakibatkan diameter *pitting* yang terbentuk semakin besar.

### 5.2.3. Pengaruh terhadap Kedalaman *Pitting*

Hasil pengujian menunjukkan kedalaman *pitting* dipengaruhi oleh komposisi material, tegangan aplikasi yang diberikan terhadap sampel uji, dan konsentrasi NaCl yang digunakan.



Gambar 5.7. Pengaruh tegangan terhadap kedalaman *pitting*

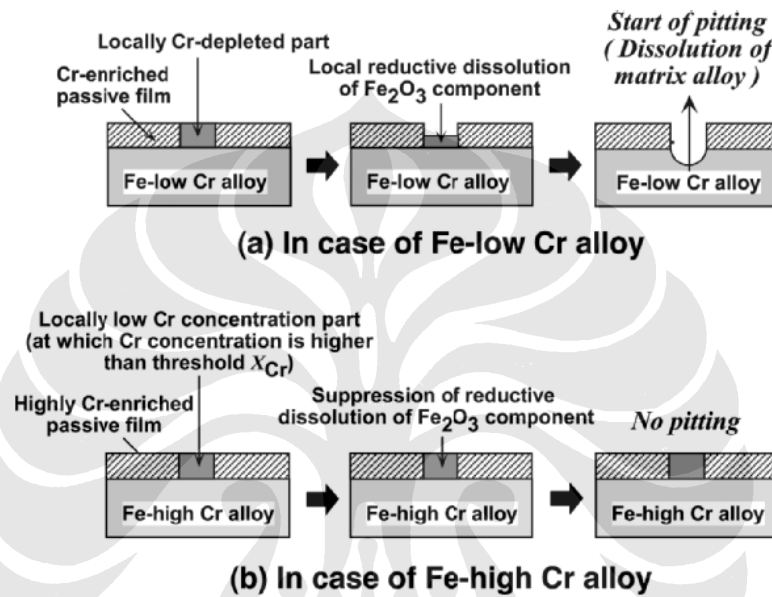
#### 5.2.3.1. Pengaruh Komposisi Material

Grafik di atas menunjukkan bahwa material X yang memiliki kandungan nikel dan kromium sebesar 0,544% dan 0,209%, dibandingkan dengan Y yang memiliki kandungan nikel dan kromium sebesar 0,005% dan 0,0146%, menghasilkan kedalaman *pitting* yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan kedalaman *pitting* yang dihasilkan dari material Y.

Pada larutan NaCl 0,1%, kedalaman *pitting* yang dihasilkan X sebesar 0,005 mm dan 0,021 mm dan 0,014 mm dan 0,028 mm untuk material Y. Kedalaman *pitting* yang terbentuk ketika dicelup dalam larutan NaCl 0,3% sebesar 0,018 mm dan 0,043 mm untuk X dan 0,04 mm dan 0,047 mm untuk Y. Sedangkan dalam larutan NaCl 0,5%, diameter *pitting* yang terbentuk sebesar 0,033 mm dan 0,045 mm untuk X serta 0,041 mm dan 0,084 mm untuk Y.

Komposisi nikel dan kromium memainkan peranan penting terhadap penetrasi retakan dimana dengan adanya kandungan nikel dan kromium yang

meningkat, lapisan pasif yang terbentuk semakin kuat menahan agresifitas ion klorida. Akibatnya reaksi penguraian logam Fe dapat dihambat sehingga pertumbuhan *pitting* tidak menjadi bertambah cepat. Selain itu dengan peningkatan kandungan nikel dan kromium juga dapat meningkatkan ketahanan material dimana butir menjadi semakin kuat menahan penetrasi retakan yang dapat menjadi inisiasi retak berikutnya, Hal ini dibuktikan dari hasil pengujian tarik, dimana material X memiliki kekuatan yang lebih tinggi daripada material Y.



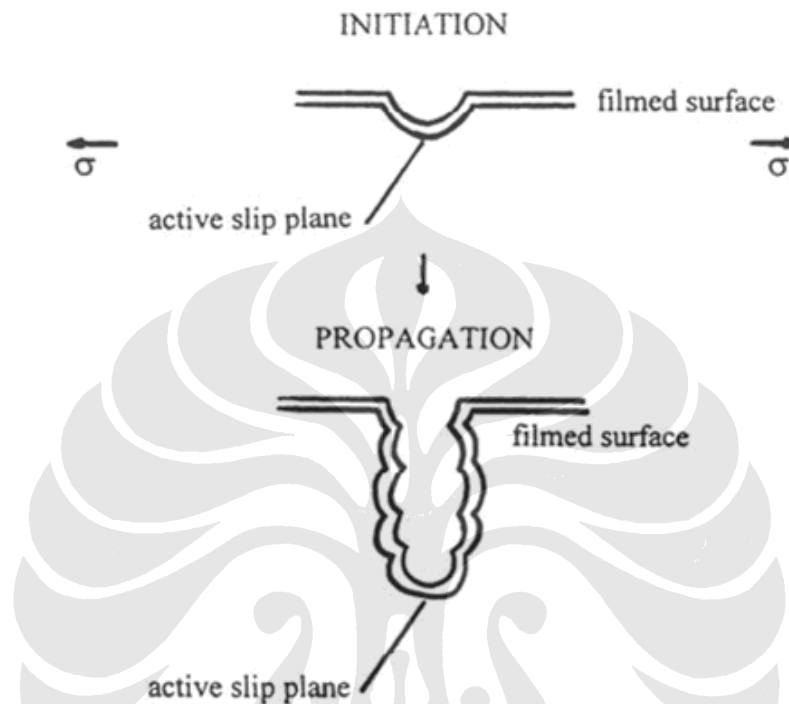
Gambar 5.8. Mekanisme inisiasi *pitting*[13].

#### 5.2.3.2. Pengaruh Tegangan Aplikasi

Perambatan retak juga bergantung pada intensitas tegangan yang diberikan. Hal ini ditunjukkan dari hasil pengujian dimana semakin besar tegangan yang diberikan kepada material, kedalaman *pitting* semakin besar.

Dari hasil pengujian diperoleh data bahwa untuk material dan lingkungan yang sama (misal material X pada NaCl 0,1%), besarnya nilai kedalaman *pitting* meningkat dari semula 0,005 mm ketika diberikan tegangan sebesar 0,222 GPa, meningkat menjadi 0,021 mm ketika diberi tegangan sebesar 0,957 GPa. Hal serupa juga terjadi pada material Y yang dicelup pada lingkungan NaCl 0,1%, dimana kedalaman *pitting* bertambah dari 0,014 mm pada tegangan 0,1641 GPa menjadi sebesar 0,028 mm pada tegangan 1,0178 GPa.

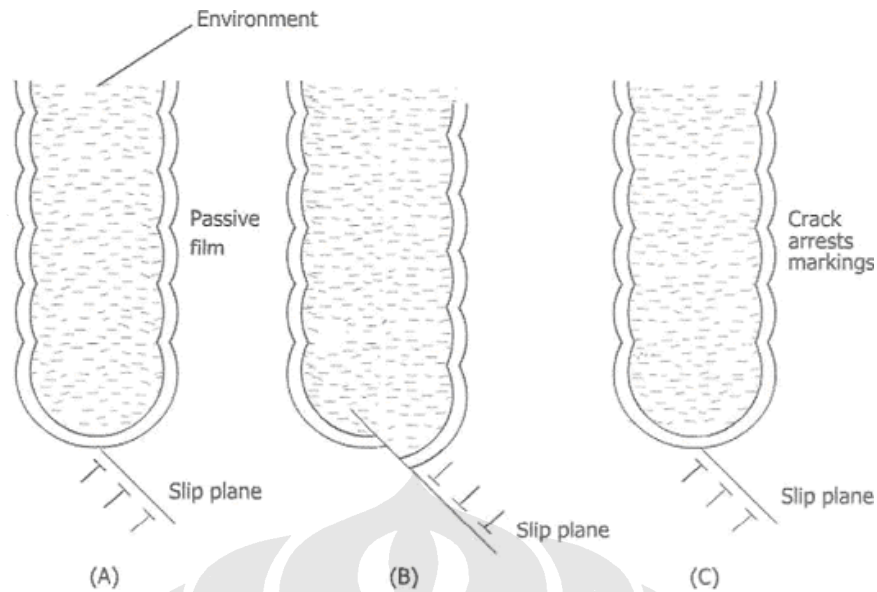
Hal ini semakin menguatkan alasan bahwa peningkatan tegangan membantu laju perambatan retak, dimana *pitting* yang terbentuk menjadi inisiasi retakan kemudian retak merambat karena pengaruh tegangan aplikasi yang diberikan kepada material yang akhirnya retak merambat dan membuat besar kedalaman *pitting* semakin meningkat.



Gambar 5.9. Skema inisiasi dan pertumbuhan retak[4].

Pembentukan lapisan pasif adalah bagian terpenting karena korosi retak tegang terjadi biasanya pada material yang tertutupi oleh lapisan pelindung. Di bawah kondisi tegangan tarik, bidang luncur atau *slip plane* menghancurkan lapisan pelindung seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.9.(a), sebagian kecil dari lapisan mengalami pemutusan seperti yang ditunjukkan oleh (b) dan kemudian terjadi repasifasi seperti yang ditunjukkan oleh (c).





Gambar 5.10. Skema pemutusan lapisan pasif[8].

#### 5.2.3.3. Pengaruh Lingkungan

Seperti halnya yang ditunjukkan pada Gambar 4.6, kedalaman *pitting* meningkat seiring dengan meningkatnya kadar NaCl yang digunakan. Hal ini disebabkan karena semakin banyak ion klorida yang berada dalam larutan, agresifitas larutan semakin meningkat untuk menghancurkan lapisan pasif.

Akibatnya korosi retak tegang yang terjadi semakin meningkat karena korosi jenis ini merupakan hasil sinergi dari lingkungan dan tegangan aplikasi. Dengan meningkatnya kadar NaCl, lapisan pasif yang terbentuk tidak dapat melindungi sepenuhnya logam material karena dihancurkan oleh ion klorida, laju oksidasi logam Fe semakin meningkat sehingga semakin banyak logam Fe yang teroksidasi dan *pitting* yang terbentuk semakin dalam. Perambatan retak pun semakin dalam karena lapisan pasif yang semula menghalangi dihancurkan oleh ion klorida.