

BAB IV

HASIL PENELITIAN

4.1 PERSIAPAN MATERIAL UJI

4.1.1 Hasil uji komposisi material baja laterit (T1 = 223320)

Hasil pengujian komposisi material uji dengan menggunakan *Spectrometer* terlihat pada lampiran 1. Komposisi dan unsur yang ada pada material uji terlihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil Pengujian komposisi dengan menggunakan *Spectrometer*

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1.	99.351	0.0454	0.0090	0.235	0.0076	0.0124	0.0741	< 0.0050
2.	99.337	0.0582	0.0151	0.236	0.0070	0.0137	0.0743	< 0.0050
3.	99.329	0.0527	0.0155	0.231	0.0072	0.0155	0.0728	< 0.0050
Ave	99.339	0.0521	0.0132	0.234	0.0073	0.0139	0.0737	< 0.0050
	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
1.	0.104	0.0652	0.0116	0.0331	< 0.0020	< 0.0020	0.0034	< 0.0150
2.	0.106	0.0681	0.0115	0.0330	< 0.0020	< 0.0020	0.0038	< 0.0150
3.	0.107	0.0668	0.0109	0.0319	< 0.0020	< 0.0020	0.0033	< 0.0150
Ave	0.106	0.0667	0.0113	0.0326	< 0.0020	< 0.0020	0.0035	< 0.0150
	Pb	Sn	B	Ca	Zr	As	Bi	
1.	< 0.0250	< 0.0020	< 0.0010	0.0004	0.0087	0.0072	< 0.0300	
2.	< 0.0250	< 0.0020	< 0.0010	> 0.0010	0.0076	0.0071	< 0.0300	
3.	< 0.0250	< 0.0020	< 0.0010	0.0008	0.0072	0.0069	0.0372	
Ave	< 0.0250	< 0.0020	< 0.0010	0.0007	0.0078	0.0071	< 0.0300	

4.1.2 Hasil Pengujian Tarik Material uji

Hasil pengujian tarik pada mesin *Shimadzu* terlihat pada lampiran 2. Pengujian tarik dilakukan pada 2 arah *rolling* yaitu arah sejajar dan arah tegak lurus *rolling*. Hasil pengujian terlihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Uji Tarik dengan Menggunakan Mesin *Shimadzu*

Arah rolling	Dimensi Sample (mm)	Luas penampang (mm ²)	Panjang ukur (mm)	Pu (kg)	Py (kg)	ΔL (mm)	σ_u (kg/mm ²)	σ_y (kg/mm ²)	e (%)
0°	t = 0.2	4.62	50	190	150	7.60	41	32	15.20
	w = 23.1								
90°	t = 0.2	4.61	50	190	160	8.90	43	34	17.8
	w = 23.06								

Dari hasil pengujian tarik ini didapat kurva stress-strain (lampiran 3) yang kemudian digunakan untuk mencari nilai *modulus young* dari material uji. Dari perhitungan, maka didapat nilai *modulus young* untuk material uji berkisar 33182.9 MPa atau 33.18 GPa.

4.1.3 Hasil Perhitungan Tegangan yang Digunakan pada Penelitian

Aplikasi Tegangan dihitung sesuai dengan standar pengujian ASTM G 39. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan *modulus young* hasil dari uji tarik material (Persamaan 2.9 dan 2.11). Hasil perhitungan aplikasi tegangan untuk material uji terlihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Hasil Perhitungan Tegangan yang Diaplikasikan

Jenis	Tebal (mm)	H (cm)	θ (°)	k	K	E	ϵ	Em (GPa)	σ (Mpa)
Baja Laterit	0.2	24.9	9	0.078	90.139	89.861	0.00949	33.1829	314.905
		24.8	13	0.113	90.291	89.711	0.01451		481.670
		24.5	18.5	0.161	90.595	89.411	0.02145		712
		24.9	10	0.0871	90.172	89.829	0.0108		358.371

4.2 PENGUJIAN MEDIA LARUTAN

Media larutan yang digunakan adalah air danau yang diambil dari air danau antara Fakultas Teknik dengan Fakultas Ilmu Budaya Universitas Indonesia yang diambil pada tanggal 19 maret 2008 jam 10.30 WIB. Pengujian terhadap air danau dilakukan di laboratorium korosi pada tanggal 19 maret 2008 jam 11.45 WIB. Uji air danau meliputi pengujian kalsium, *alkalinity*, klorida, pH, temperatur, dan TDS (Tabel 4.4). Dimana hasil besaran-besaran tersebut digunakan untuk menentukan *Langelier Saturation Index* (LSI) dan *Ryznar Stability Index* (RSI).

Tabel 4.4. Hasil Pengujian *Hanna Apparatus* terhadap Air Danau antara Fakultas Teknik dengan Fakultas Ilmu Budaya Universitas Indonesia

Uji	Hasil pembacaan	Perhitungan
Kalsium	80 ml	$\text{Ca} = 2 \times 80 = \mathbf{160 \text{ ppm (mg/L)}}$ $\text{CaCO}_3 = 2.5 \times 160 = \mathbf{400 \text{ ppm (mg/L)}}$
Alkaliniti	0.35 ml	$\text{CaCO}_3 = 0.35 \times 300 = \mathbf{105 \text{ ppm (mg/L)}}$
Klorida	0.07 ml	$\text{Cl} = 0.07 \times 10.000 = \mathbf{700 \text{ ppm (mg/L)}}$
TDS	0.08 ppt	$\mathbf{80 \text{ ppm}}$
Temperatur	$\mathbf{27.5 \text{ }^\circ\text{C}}$	
pH	$\mathbf{7.36}$	

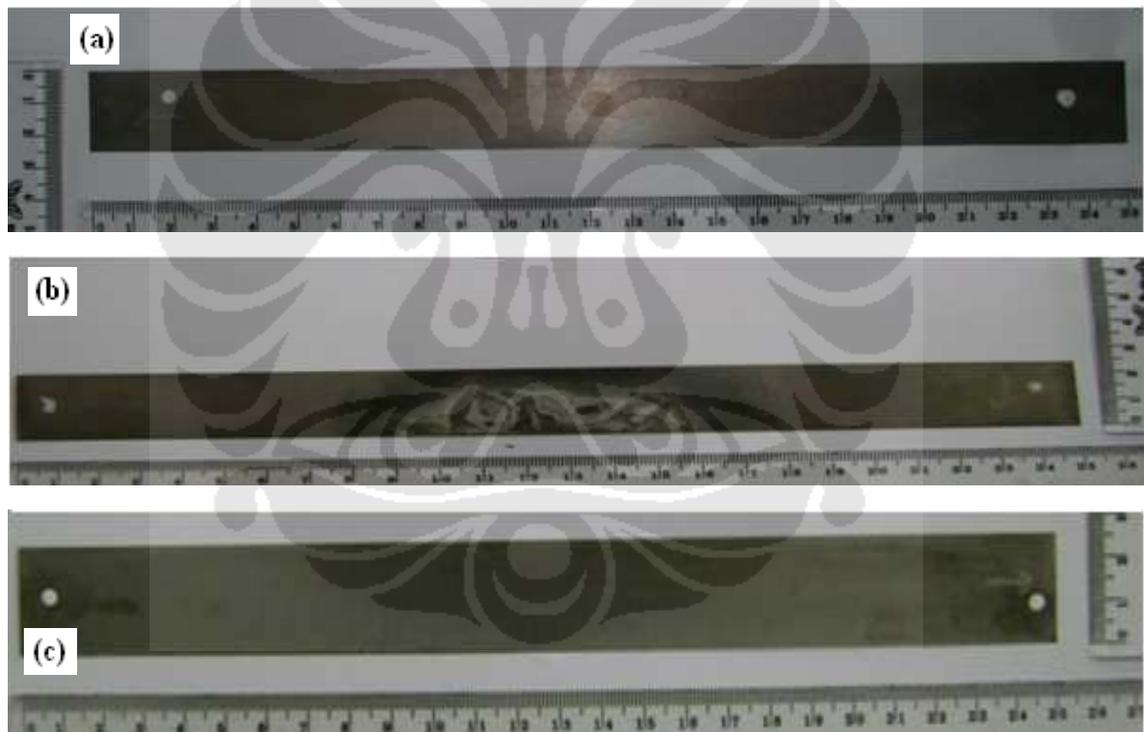
Dari pengujian tersebut maka nilai LSI (Persamaan 2.6) dan RSI (Persamaan 2.8) untuk air danau antara Fakultas Teknik dengan Fakultas Ilmu Budaya Universitas Indonesia yaitu nilai LSI air danau berkisar **0.152** atau

menunjukkan bahwa nilai LSI adalah positif artinya *scale* dapat terbentuk dan terjadi pengendapan CaCO_3 yang mungkin akan terbentuk. Sedangkan untuk nilai RSI berkisar **7.056** atau ≥ 7 artinya kalsium karbonat mungkin terbentuk tetapi bukan merupakan inhibitor (film) korosi.

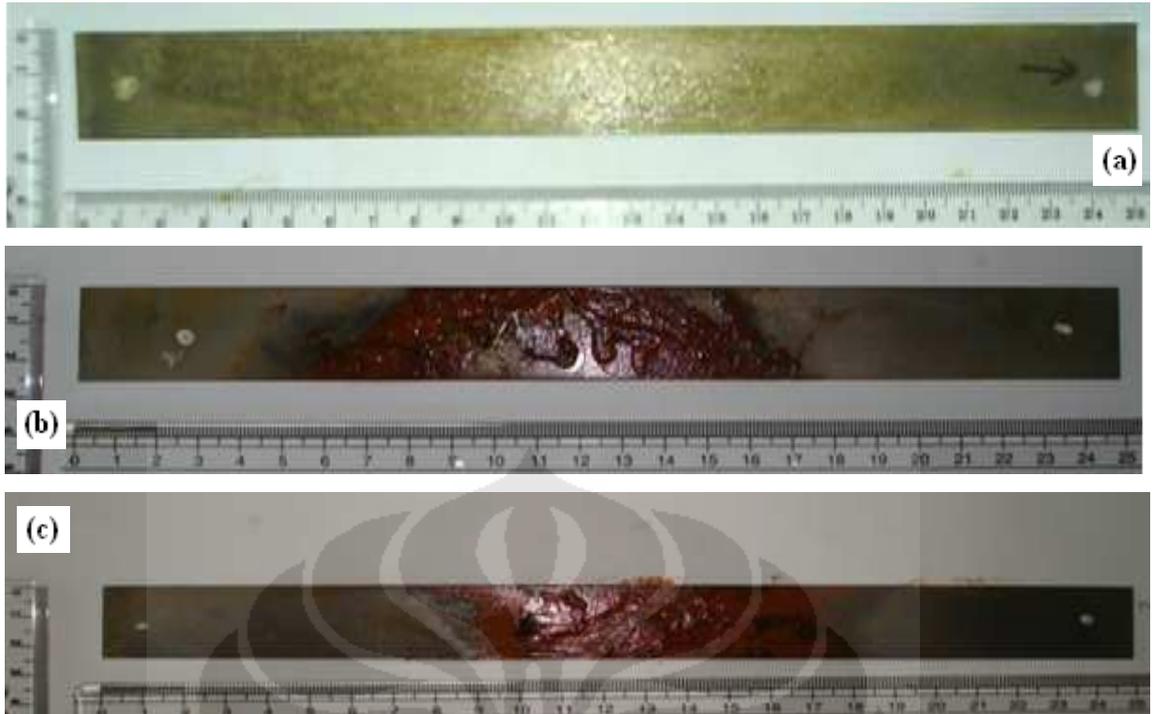
4.3 HASIL PENGAMATAN VISUAL

4.3.1 Pengamatan Visual setelah Perendaman pada Lingkungan Air Danau

Pengamatan visual dilakukan menggunakan kamera *digital* untuk sampel yang direndam selama 1 minggu, 2 minggu, 3 minggu, dan 4 minggu dengan aplikasi tegangan yang berbeda. Hasil pengamatan visual diperlihatkan pada Gambar 4.1. – Gambar 4.7.



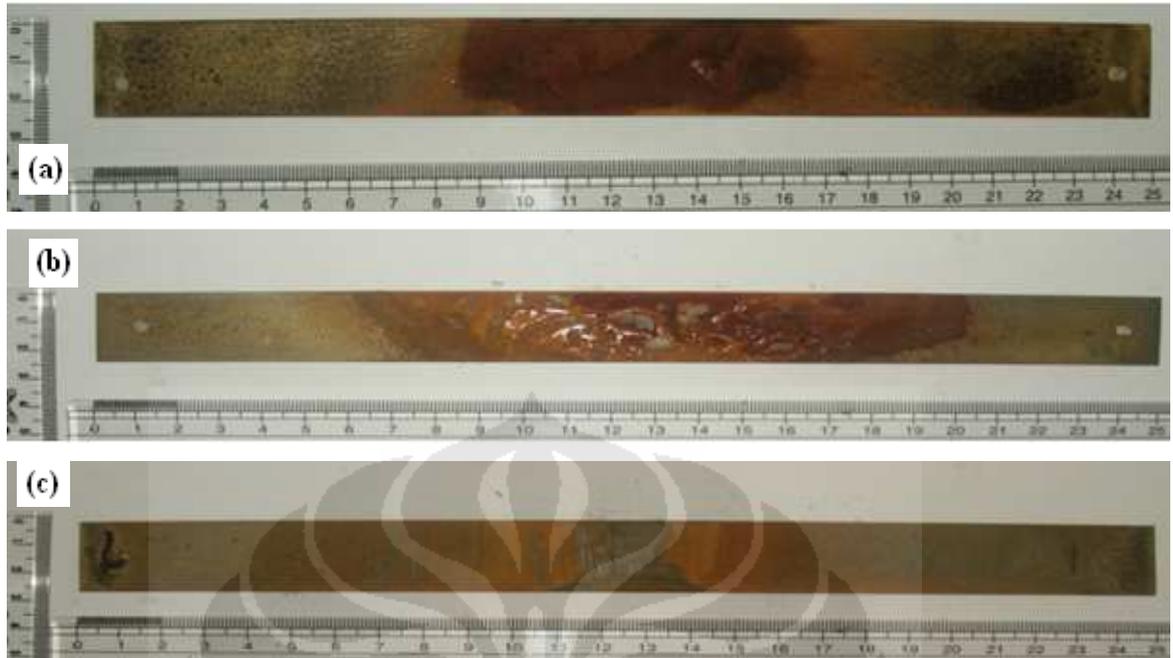
Gambar 4.1. Pengamatan Visual pada Tegangan berbeda (314 MPa (a) ; 481 MPa (b) ; 712 (c) MPa) selama 1 Minggu di lingkungan Danau



Gambar 4.2. Pengamatan Visual pada Tegangan berbeda (314 MPa (a) ; 481 MPa (b) ; 712 (c) MPa) selama 2 Minggu di Lingkungan Danau



Gambar 4.3. Pengamatan Visual pada Tegangan Berbeda (314 MPa (a) ; 481 MPa (b) ; 712 (c) MPa) selama 3 Minggu di Lingkungan Danau



Gambar 4.4. Pengamatan Visual pada Tegangan Berbeda (314 MPa (a) ; 481 MPa (b) ; 712 (c) MPa) selama 4 Minggu di Lingkungan Danau

4.3.2 Pengamatan Visual setelah Perendaman pada Lingkungan Danau dengan Penambahan Kadar Cl^-

Pengamatan visual dilakukan menggunakan kamera *digital* untuk sampel yang dicelup selama 1 minggu dengan aplikasi tegangan yang sama yaitu berkisar 314 MPa pada lingkungan air danau dengan penambahan kadar Cl^- sebesar 100 ppm, 200 ppm, dan 300 ppm. Hasil pengamatan visual diperlihatkan pada Gambar 4.1. – Gambar 4.12.



Gambar 4.5. Pengamatan visual di lingkungan danau + 100 ppm Cl^-



Gambar 4.6. Pengamatan visual di lingkungan danau + 200 ppm Cl⁻



Gambar 4.7. Pengamatan visual di lingkungan danau + 300 ppm Cl⁻

4.4 HASIL PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO

4.4.1 Pengamatan Mikro setelah Perendaman pada Lingkungan Air Danau

Pengamatan mikrostruktur dilakukan menggunakan mikroskop optik untuk sampel yang direndam selama 1 minggu, 2 minggu, 3 minggu, dan 4 minggu dengan aplikasi tegangan yang berbeda. Perbesaran yang digunakan pada mikroskop optik ialah 500 kali. Hasil pengamatan struktur mikro tersebut diperlihatkan pada Gambar 4.8. – Gambar 4.19.



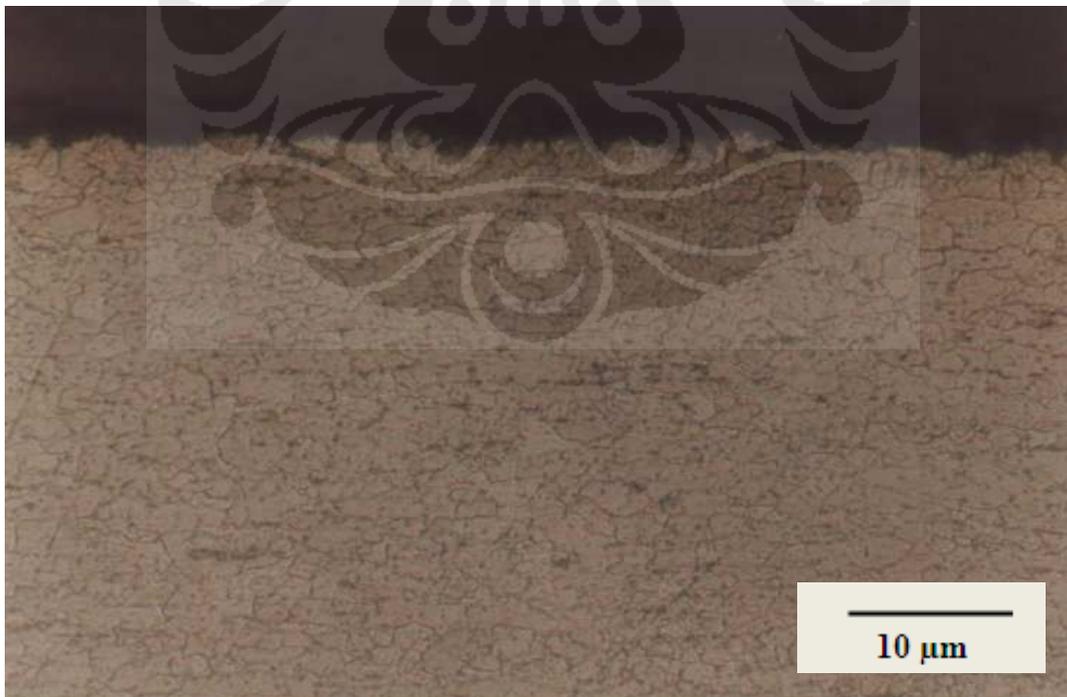
Gambar 4.8. Struktur mikro pada Tegangan 314 MPa selama 1 Minggu di Lingkungan Danau (etsa nital 2 % perbesaran 500 X)



Gambar 4.9. Struktur mikro pada Tegangan 481 MPa selama 1 Minggu di Lingkungan Danau (etsa nital 2 % perbesaran 500 X)



Gambar 4.10. Struktur mikro pada tegangan 712 MPa selama 1 Minggu di Lingkungan Danau (etsa nital 2 % perbesaran 500 X)



Gambar 4.11. Struktur Mikro pada Tegangan 314 MPa selama 2 Minggu di Lingkungan Danau (etsa nital 2 % perbesaran 500 X)



Gambar 4.12. Struktur Mikro pada Tegangan sekitar 481 MPa selama 2 Minggu di Lingkungan Danau (etsa nital 2 % perbesaran 500 X)



Gambar 4.13. Struktur Mikro pada Tegangan 712 MPa selama 2 Minggu di Lingkungan Danau (etsa nital 2 % perbesaran 500 X)



Gambar 4.14. Struktur Mikro pada Tegangan 314 MPa selama 3 Minggu di Lingkungan Danau (etsa nital 2 % perbesaran 500 X)



Gambar 4.15. Struktur Mikro pada Tegangan 481 MPa selama 3 Minggu di Lingkungan Danau (etsa nital 2 % perbesaran 500 X)



Gambar 4.16. Struktur Mikro pada Tegangan 712 MPa selama 3 Minggu di Lingkungan Danau (etsa nital 2 % perbesaran 500 X)



Gambar 4.17. Struktur Mikro pada Tegangan 314 MPa selama 4 Minggu di Lingkungan Danau (etsa nital 2 % perbesaran 500 X)



Gambar 4.18. Struktur Mikro pada Tegangan 481 MPa selama 4 Minggu di Lingkungan Danau (etsa nital 2 % perbesaran 500 X)



Gambar 4.19. Struktur Mikro pada Tegangan 712 MPa selama 4 Minggu di Lingkungan Danau (etsa nital 2 % perbesaran 500 X)

4.4.2 Pengamatan Mikro pada Lingkungan Danau dengan Penambahan kadar Cl^-

Pengamatan mikrostruktur dilakukan menggunakan mikroskop optik untuk sampel yang direndam selama 1 minggu dengan tegangan yang sama yaitu sekitar 341 MPa pada lingkungan air danau dengan penambahan kadar Cl^- sebesar 100 ppm, 200 ppm, dan 300 ppm. . Perbesaran yang digunakan pada mikroskop optik ialah 500 kali. Hasil pengamatan struktur mikro tersebut diperlihatkan pada Gambar 4.20. – Gambar 4.22.



Gambar 4.20. Struktur Mikro di Lingkungan Danau (+ 100 ppm Cl^-)
(etsa nital 2 % perbesaran 500 X)



Gambar 4.21. Struktur Mikro di Lingkungan Danau (+ 200 ppm Cl⁻)
(etsa nital 2 % perbesaran 500 X)



Gambar 4.22. Struktur Mikro di Lingkungan Danau (+ 300 ppm Cl⁻)
(etsa nital 2 % perbesaran 500 X)

4.5 HASIL PENGUJIAN KOROSI

4.5.1 Penimbangan Berat setelah Pengujian (lingkungan air danau)

Penimbangan berat material uji dilakukan dengan menggunakan timbangan digital yang dilakukan setelah perendaman pada minggu ke 1, minggu ke 2, minggu ke 3, dan minggu ke 4. Hasil penimbangan diperlihatkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Hasil Penimbangan berat pada lingkungan air danau

Tegangan (MPa)	Waktu (jam)	Minggu Ke-	berat awal (gr)	berat akhir (gr)	Perubahan berat (gr)	Perubahan berat (mgr)
314.905	168	1	9.282	9.264	0.018	18
	336	2	9.223	9.191	0.032	32
	504	3	9.208	9.106	0.102	102
	672	4	9.155	9.028	0.127	127
481.67	168	1	9.316	9.095	0.041	41
	336	2	9.202	9.148	0.054	54
	504	3	9.518	9.437	0.081	81
	672	4	9.015	8.869	0.146	146
712	168	1	9.354	9.325	0.029	29
	336	2	9.156	9.103	0.053	53
	504	3	9.245	9.144	0.101	101
	672	4	9.257	9.117	0.14	140

4.5.2 Penimbangan Berat setelah Pengujian di dalam Lingkungan Danau dengan Penambahan Kadar Cl⁻

Penimbangan berat material uji dilakukan dengan menggunakan timbangan *digital* yang dilakukan setelah 1 minggu perendaman. Hasil penimbangan material uji diperlihatkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Hasil Penimbangan berat pada lingkungan danau dengan penambahan Cl^- yang berbeda

Waktu (jam)	Tegangan (Mpa)	Kondisi lingkungan	berat awal (gr)	berat akhir (gr)	Perubahan berat (gr)	Perubahan berat (mgr)
168	314.905	danau	9.282	9.264	0.018	18
		100 ppm Cl^-	9.432	9.32	0.112	112
		200 ppm Cl^-	9.236	9.092	0.144	144
		300 ppm Cl^-	9.354	9.182	0.172	172

4.5.3 Perhitungan Laju Korosi di dalam Lingkungan Air Danau

Perhitungan laju korosi material uji menggunakan metode *weight loss* (Persamaan 2.12). Laju korosi dihitung setiap minggu ke 1, minggu ke 2, minggu ke 3, dan minggu ke 4. Hasil perhitungan laju korosi diperlihatkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Hasil Perhitungan Laju Korosi (metode *weight loss*) pada lingkungan air danau

Tegangan (Mpa)	Waktu (jam)	Minggu Ke-	laju korosi (mpy)	laju korosi (mm/yr)
314.905	168	1	0.372421847	0.009469558
	336	2	0.331041642	0.008417385
	504	3	0.703463489	0.017886942
	672	4	0.656910758	0.016703248
481.67	168	1	0.848294207	0.021569548
	336	2	0.55863277	0.014204337
	504	3	0.55863277	0.014204337
	672	4	0.755188745	0.019202159
712	168	1	0.600012976	0.01525651
	336	2	0.548287719	0.013941293
	504	3	0.696566788	0.01771158
	672	4	0.724153591	0.018413029

4.5.4 Perhitungan Laju Korosi di dalam Lingkungan Danau dengan Penambahan Kadar Cl⁻

Perhitungan laju korosi material uji menggunakan metode *weight loss* (Persamaan 2.12). Laju korosi dihitung setelah 1 minggu perendaman untuk sampel dengan tegangan yang sama yaitu sekitar 314 MPa pada lingkungan dengan kadar Cl⁻ yang berbeda. Hasil perhitungan laju korosi tersebut diperlihatkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Hasil Perhitungan Laju Korosi (metode *weight loss*) dengan penambahan kadar Cl⁻ yang berbeda

Tegangan (Mpa)	Waktu (jam)	Kondisi lingkungan	laju korosi (mpy)	laju korosi (mm/yr)
314.905	168	danau	0.3272421847	0.009469558
		100 ppm	2.317291492	0.058921693
		200 ppm	2.979374776	0.075756462
		300 ppm	3.558697649	0.090486885

4.5.5 Pengukuran Degradasi setelah Pengujian (lingkungan air danau)

Pengukuran panjang degradasi dilakukan dengan menggunakan mikroskop ukur dan dengan cara manual. Pengukuran panjang degradasi dilakukan pada sampel yang direndam setelah minggu ke 1, minggu ke 2, minggu ke 3, dan minggu ke 4. Hasil pengukuran panjang degradasi diperlihatkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9. Hasil Pengukuran Panjang Degradasi pada lingkungan air danau

Tegangan (MPa)	Waktu (jam)	Minggu Ke-	Panjang Degradasi (µm)	Panjang Degradasi (mm)
314.905	168	1	5	0.005
	336	2	8	0.008
	504	3	9	0.009

	672	4	10	0.01
481.67	168	1	9	0.009
	336	2	10	0.01
	504	3	11	0.011
	672	4	20	0.02
712	168	1	9	0.009
	336	2	18	0.018
	504	3	30	0.03
	672	4	31	0.031

4.5.6 Pengukuran Degradasi di dalam Lingkungan Danau dengan Penambahan Kadar Cl⁻

Pengukuran panjang degradasi dilakukan dengan menggunakan mikroskop ukur dan dengan cara manual. Pengukuran panjang degradasi dilakukan pada sampel yang direndam setelah satu minggu dengan tegangan yang sama sekitar 314 MPa di lingkungan danau dengan penambahan kadar Cl⁻ sebesar 100 ppm, 200 ppm, dan 300 ppm. Hasil pengukuran degradasi diperlihatkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10. Hasil Pengukuran Panjang Degradasi dengan Penambahan kadar Cl⁻ yang berbeda

Waktu (jam)	tegangan	Kondisi lingkungan	Panjang Degradasi (μm)	Panjang Degradasi (mm)
168	314.905	danau	5	0.005
		100 ppm	9	0.009
		200 ppm	15	0.015
		300 ppm	22	0.022

BAB V

PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh tegangan dan lamanya waktu perendaman terhadap bentuk korosi yang terjadi pada baja laterit. Selain itu, penelitian ini juga untuk mengetahui pengaruh penambahan kadar Cl⁻ di lingkungan air danau terhadap bentuk korosi yang terjadi pada baja laterit. Penelitian dilakukan dengan metode *bent beam two point loaded* yang dilakukan pada lingkungan air danau antara Fakultas Teknik dengan Fakultas Ilmu Budaya UI. Penelitian ini dimaksudkan untuk melihat sifat-sifat baja laterit terutama ketahanan korosi apabila nanti akan diaplikasikan pada lingkungan yang sejenis.

Hasil penelitian didapat dari pengamatan secara berkala setiap minggu selama 4 minggu dengan kondisi pengujian yang berbeda. Pengamatan dilakukan melalui pengamatan visual, pengurangan berat material (*weight loss*), pengamatan mikrostruktur, dan pengukuran kedalaman degradasi.

5.1 ANALISA HASIL PENGAMATAN VISUAL

5.1.1 Pengamatan Visual pada Lingkungan Air Danau

Pengamatan visual dilakukan untuk material uji yang direndam pada lingkungan air danau antara Fakultas Teknik dengan Fakultas Ilmu Budaya UI dengan aplikasi tegangan yang berbeda yaitu 314 MPa, 481 MPa, dan 712 MPa. Pengamatan visual dilakukan secara berkala setiap 1 minggu, 2 minggu, 3 minggu dan 4 minggu perendaman.

Dari hasil pengamatan visual seperti yang terlihat pada Gambar 4.1 sampai Gambar 4.4, terlihat bahwa terjadi perubahan warna dari permukaan material uji. Pada saat awal perendaman, permukaan material uji berwarna putih keperakan yang menandakan permukaan material masih bersih. Setelah 1 minggu kemudian,

terlihat perubahan warna pada permukaan material uji untuk material uji yang diberi tegangan 481 MPa (Gambar 4.1 (b)). Tetapi, untuk material uji yang lain dengan tegangan 314 MPa (Gambar 4.1 (a)) dan tegangan 712 MPa (Gambar 4.1 (c)) memperlihatkan permukaan material uji yang masih terlihat berwarna putih keperakan namun sudah terlihat perubahan warna. Perubahan warna pada permukaan material uji menandakan adanya reaksi pada permukaan material uji.

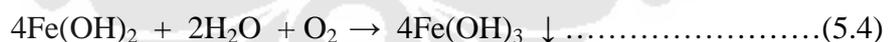
Pengamatan visual pada minggu ke-2 memperlihatkan bahwa terjadi perubahan warna pada permukaan material uji (Gambar 4.2). Untuk tegangan 314 MPa, terbentuk bercak-bercak berwarna coklat muda yang hampir menutupi semua permukaan material uji (Gambar 4.2 (a)), sedangkan untuk permukaan material uji yang diberi tegangan 481 MPa (Gambar 4.2 (b)) dan tegangan 712 MPa (Gambar 4.2 (c)) memperlihatkan perubahan warna dari warna putih keperakan menjadi coklat tua pada bagian yang terkena tegangan paling besar (bagian tengah material uji). Menurut Vogel [12] warna coklat tua kemerahan adalah hasil produk korosi yaitu karat $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (reaksi 5.4).

Reaksi korosi antara material dengan lingkungan yaitu :

Pada anoda :



Sedangkan pada katoda :



Pengamatan visual pada minggu ke-3 (Gambar 4.3) dan minggu ke-4 (Gambar 4.4) memperlihatkan bahwa terjadi perubahan warna pada permukaan material uji dibandingkan dengan minggu pertama (Gambar 4.1) dan minggu kedua (Gambar 4.2). Perubahan warna tersebut terlihat adanya warna coklat muda hingga tua yang terkonsentrasi pada bagian tengah permukaan material uji yaitu pada bagian yang terkena beban paling besar. Hal ini memperlihatkan bahwa kecenderungan bertambahnya produk korosi yaitu $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (Reaksi 5.4) pada material uji dari minggu ke minggu yang menandakan bahwa semakin banyaknya material uji yang bereaksi dengan lingkungan akibat dari semakin lamanya material uji yang

terekspose dengan lingkungan. Penelitian oleh Agus Sugiono [13] yang menggunakan baja SS 304 pada larutan $MgCl_2$ didapat hasil bahwa proses korosi baja SS 304 mengalami peningkatan sesuai dengan lamanya waktu *expose*. Baja SS 304 memiliki kadar Ni sekitar 18-20 % sedangkan baja laterit memiliki kadar Ni sekitar 0.1 %. Kadar Ni lebih dari 8 % memiliki pengaruh yang membahayakan untuk terjadinya SCC [14]. Kadar Ni yang terbilang kecil pada baja laterit kemungkinan mengurangi terjadinya korosi retak tegang. Hal ini dapat dilihat dari pengamatan mikrostruktur yang tidak memperlihatkan adanya korosi retak tegang pada baja laterit (Gambar 4.8 – Gambar 4. 22).

Produk korosi ($Fe(OH)_3$) lebih banyak terjadi pada bagian dengan tegangan paling besar. Hal tersebut terjadi karena bagian material uji yang terkena aplikasi tegangan paling besar memungkinkan terjadinya inisiasi retak pada material uji. Inisiasi retak tersebut akan merambat ke dalam material uji seiring dengan bertambahnya waktu dan meningkatnya tegangan [15]. Produk korosi akan terjadi di sepanjang retak pada material [7].

5.1.2 Pengamatan Visual pada Lingkungan Air Danau dengan penambahan Kadar Cl^-

Pengamatan visual dilakukan untuk material uji yang direndam pada lingkungan air danau antara Fakultas Teknik dengan Fakultas Ilmu Budaya UI yang dimodifikasi melalui penambahan 100 ppm Cl^- , 200 ppm Cl^- , dan 300 ppm Cl^- . Penambahan kadar Cl^- dimaksudkan untuk melihat pengaruh ion Cl^- terhadap kedalaman degradasi dan laju korosi pada material uji. Pengujian pada lingkungan ini dilakukan untuk beberapa material uji dengan tegangan yang sama yaitu sekitar 314 MPa selama 1 minggu perendaman.

Dari hasil pengamatan visual pada kondisi tersebut, dapat terlihat terbentuknya lapisan berwarna coklat kemerahan pada permukaan material uji untuk semua kondisi lingkungan. Permukaan material uji yang semula berwarna putih keperakan menjadi berwarna coklat kemerahan yang menutupi hampir seluruh permukaan material uji (Gambar 4.5 – Gambar 4.7). Tetapi, dapat terlihat perbedaan dari ketiga kondisi lingkungan tersebut adalah untuk lingkungan 100 ppm Cl^- , lapisan berwarna coklat pada permukaan material uji lebih tipis bila

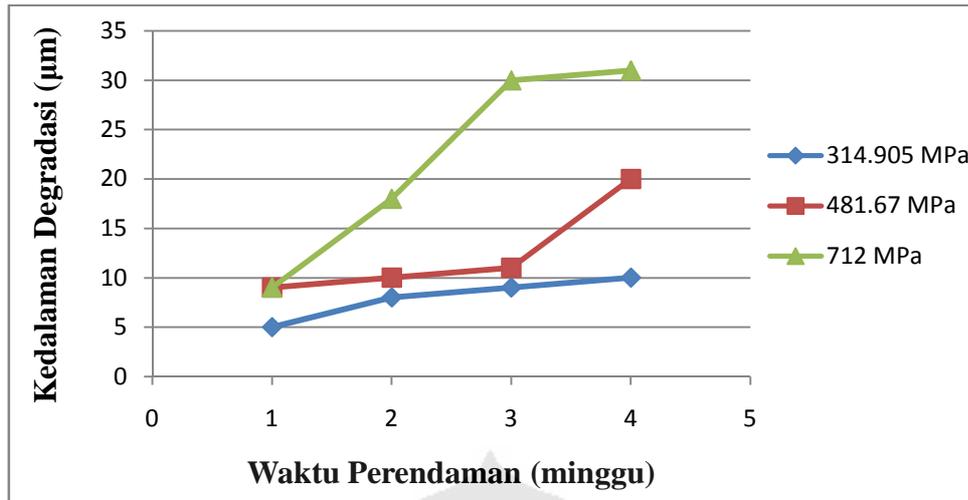
dibandingkan dengan lingkungan 200 ppm Cl⁻. Untuk lingkungan 300 ppm Cl⁻, meskipun ada sedikit permukaan yang tidak tertutup lapisan berwarna coklat, tetapi, lapisan berwarna coklat yang dihasilkan lebih tebal dari lingkungan 100 ppm Cl⁻ dan lingkungan 200 ppm Cl⁻. Warna coklat pada permukaan material uji adalah hasil produk korosi yaitu Fe(OH)₃ [12]. Jadi, dapat disimpulkan semakin meningkatnya kadar ion Cl⁻ di lingkungan akan mempercepat reaksi korosi pada material uji.

Meningkatnya ion Cl⁻ akan mempercepat reaksi korosi karena ion Cl⁻ adalah ion agresif yang merusak permukaan material (misalnya permukaan pasif pada *stainless steel*). Permukaan material yang rusak akan membantu oksigen mencapai material sehingga oksigen bereaksi dengan material dan menimbulkan korosi pada material (Gambar 2.2).

5.2 ANALISA DEGRADASI PADA MATERIAL UJI

5.2.1 Kedalaman Degradasi Material uji pada Lingkungan Air Danau

Analisa kedalaman degradasi pada material uji dilakukan melalui pengamatan mikrostruktur dan mengukur dengan *measuring microscope*. Pengukuran kedalaman degradasi dilakukan pada material uji yang direndam selama 4 minggu dengan tegangan aplikasi 314 MPa, 481 MPa, dan 712 MPa. Pengukuran kedalaman degradasi dilakukan setiap minggu selama 4 minggu. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kedalaman degradasi dengan meningkatnya tegangan aplikasi dan waktu perendaman (Gambar 5.1). Kedalaman degradasi terpanjang berkisar 31 µm terjadi pada aplikasi tegangan 712 MPa dengan waktu perendaman selama 4 minggu. Kedalaman degradasi terkecil berkisar 5 µm terjadi tegangan aplikasi 314 MPa dengan waktu perendaman selama 1 minggu.



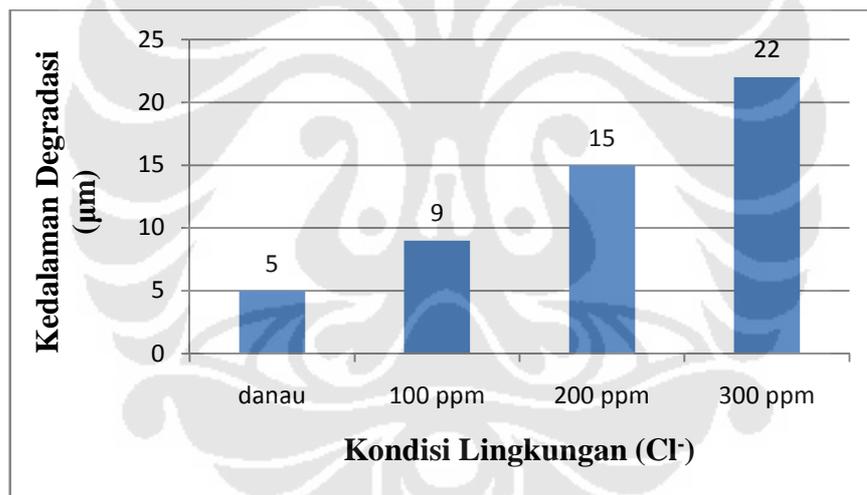
Gambar 5.1. Hubungan antara Lamanya Waktu Perendaman dan Tegangan Aplikasi dengan Kedalaman Degradasi yang Dihasilkan

Kedalaman degradasi meningkat dengan meningkatnya aplikasi tegangan karena ketika material diberikan tegangan pada material tersebut akan terjadi inisiasi retak. Inisiasi retak yang terjadi merupakan tempat terkonsentrasinya tegangan dan akan menjalar ketika diberikan tegangan yang lebih besar. Waktu perendaman yang semakin lama juga meningkatkan kedalaman degradasi walaupun dengan tegangan yang sama. Hal ini terjadi karena adanya inisiasi retak yang bersifat lebih rentan karena adanya konsentrasi tegangan. Konsentrasi tegangan tersebut memudahkan terjadinya reaksi korosi dengan lingkungan. Pemberian aplikasi tegangan akan membentuk korosi yang mengarah ke dalam material (Gambar 4.8 – Gambar 4.19).

Menurut penelitian oleh Dwi Rahmalina [16] dengan menggunakan Paduan Al 2024 dan Al 7075, lubang yang terbentuk pada proses korosi merupakan inti untuk pembentukan retak dimana pada ujung lubang tersebut terdapat konsentrasi tegangan. Dengan adanya pengaruh tegangan yang diberikan maka proses korosi akan menjalar mulai dari inti retak tersebut. Menurut penelitian Mulyadi [17] menggunakan aluminium seri 1xxx, besarnya tegangan yang diterima oleh material akan mempengaruhi proses korosi yang terjadi. Hal ini disebabkan karena adanya tegangan akan mempengaruhi energi dalam dari sampel. Semakin tinggi energi dalam dari suatu material maka semakin mudah terkorosi.

5.2.2 Kedalaman Degradasi Material uji pada Lingkungan Air Danau dengan penambahan kadar Cl^-

Analisa kedalaman degradasi pada material uji dilakukan melalui pengamatan mikrostruktur dan mengukur dengan *measuring microscope*. Pengukuran kedalaman degradasi dilakukan pada material uji yang direndam selama 1 minggu di dalam lingkungan danau dengan penambahan kadar Cl^- sebesar 100 ppm, 200 ppm, dan 300 ppm dengan aplikasi tegangan yang sama berkisar 314 MPa. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kedalaman degradasi dengan meningkatnya kadar Cl^- di dalam lingkungan (Gambar 5.2). Kedalaman degradasi terpanjang berkisar 22 μm terjadi di lingkungan danau dengan penambahan 300 ppm Cl^- . Kedalaman degradasi terkecil berkisar 5 μm terjadi di lingkungan air danau.



Gambar 5.2. Hubungan antara Perbedaan Kondisi Lingkungan dengan kedalaman degradasi yang Dihasilkan

Kedalaman degradasi meningkat dengan meningkatnya kandungan Cl^- di lingkungan karena ion Cl^- merupakan ion agresif di lingkungan yang merusak permukaan material. Semakin banyaknya ion Cl^- di lingkungan maka mempercepat kerusakan permukaan material uji. Kerusakan permukaan material uji ditandai dengan terbentuknya lubang pada material uji. Lubang yang terbentuk merupakan inisiasi retak dan terdapat konsentrasi tegangan. Bila material dengan

konsentrasi tegangan diaplikasikan tegangan maka akan membuat proses korosi semakin ke dalam material. Ion Cl^- yang meningkat akan semakin memperlemah material sehingga proses korosi akan menjalar (Gambar 2.2).

5.2.3 Bentuk Korosi pada Material uji di Lingkungan Air Danau dan Lingkungan Air Danau dengan penambahan Kadar Cl^-

Bentuk korosi pada material uji dilihat melalui mikrostruktur pada material uji dengan kondisi pengujian yang berbeda. Bentuk korosi pada material uji dilihat melalui pengamatan mikrostruktur dengan menggunakan mikroskop optik. Pengamatan mikrostruktur dilakukan menggunakan perbesaran 500 x dengan menggunakan etsa nital 2% (Gambar 4.8 – Gambar 4.22). Dari pengamatan tersebut, dapat disimpulkan terjadinya bentuk korosi berupa korosi *intergranular* artinya korosi yang terjadi pada material uji menjalar melewati batas butir. Hasil korosi *intergranular* terjadi pada semua kondisi pengujian. Yang membedakan adalah kedalaman degradasi yang terjadi pada material uji.

Bentuk korosi *intergranular* pada material uji terjadi karena energi aktivasi di daerah batas butir lebih tinggi sehingga lingkungan lebih mudah menyerang batas butir untuk terjadi korosi. Selain itu, daerah batas butir memiliki sifat yang lebih anodik sehingga daerah batas butir lebih mudah terserang korosi [16].

Pada penelitian ini, meskipun material uji diberi tegangan dan dipadukan dengan lingkungan yang korosif, tetapi tidak menunjukkan adanya perilaku korosi retak tegang. Hal ini disebabkan karena adanya faktor dari korosi retak tegang yang tidak terpenuhi. Faktor tersebut antara lain material (susceptible material) dimana material dengan kandungan Ni lebih dari 8 % dan Cr lebih dari 16 % memiliki pengaruh yang membahayakan untuk terjadinya SCC [14]. Material uji yang digunakan adalah baja laterit dengan kadar Ni 0.1 % dan kadar Cr 0.07% yang terbilang kecil pada baja laterit kemungkinan mengurangi terjadinya korosi retak tegang. Hal ini dapat dilihat dari pengamatan mikrostruktur yang tidak memperlihatkan adanya korosi retak tegang pada baja laterit (Gambar 4.8 – Gambar 4. 22).

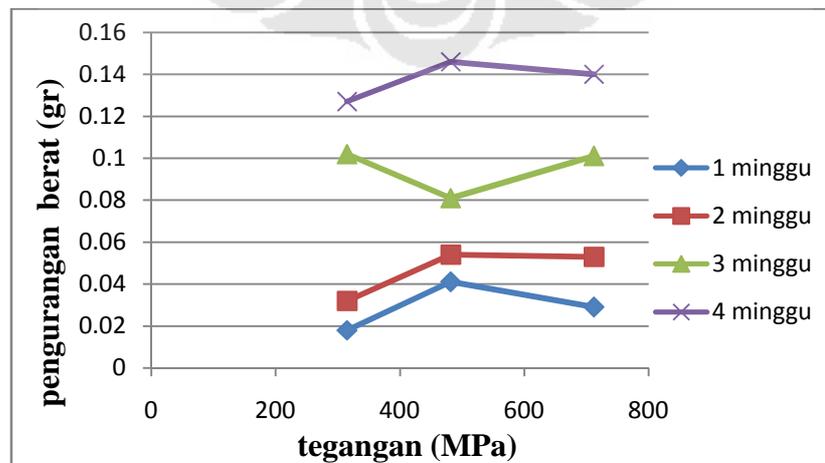
Faktor lain yang menyebabkan tidak terjadinya proses korosi retak tegang adalah lingkungan. Lingkungan yang digunakan dalam pengujian adalah air danau sedangkan untuk menyebabkan korosi retak tegang pada material uji dibutuhkan lingkungan dengan ion karbonat ataupun bikarbonat karena material uji memiliki komposisi yang hampir sama dengan baja karbon [6].

5.3 ANALISA HASIL PENIMBANGAN BERAT SETELAH PENGUJIAN

5.3.1 Pengurangan Berat dan Laju korosi Material uji pada Lingkungan Air Danau

Dari hasil penelitian, dapat diketahui bahwa terjadi pengurangan berat pada material uji setelah dilakukan perendaman selama 4 minggu. Pengurangan berat pada material uji tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu aplikasi tegangan pada material uji, waktu perendaman (waktu terekspos), dan lingkungan tempat diaplikasikan [15].

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengurangan berat pada material uji mengalami peningkatan dari minggu pertama hingga minggu keempat. Pengurangan berat pada material uji juga cenderung tidak berubah dengan meningkatnya aplikasi tegangan (Gambar 5.3). Pengurangan berat paling besar berkisar 0.146 gr atau sekitar 1.51 % terjadi pada minggu keempat dengan aplikasi tegangan 481 MPa dan pengurangan berat terkecil berkisar 0.018 gr atau sekitar 0.19 % terjadi pada minggu pertama dengan tegangan aplikasi 314 MPa.



Gambar 5.3. Hubungan antara Peningkatan Tegangan dan Lamanya Waktu Pencelupan dengan Perubahan Berat

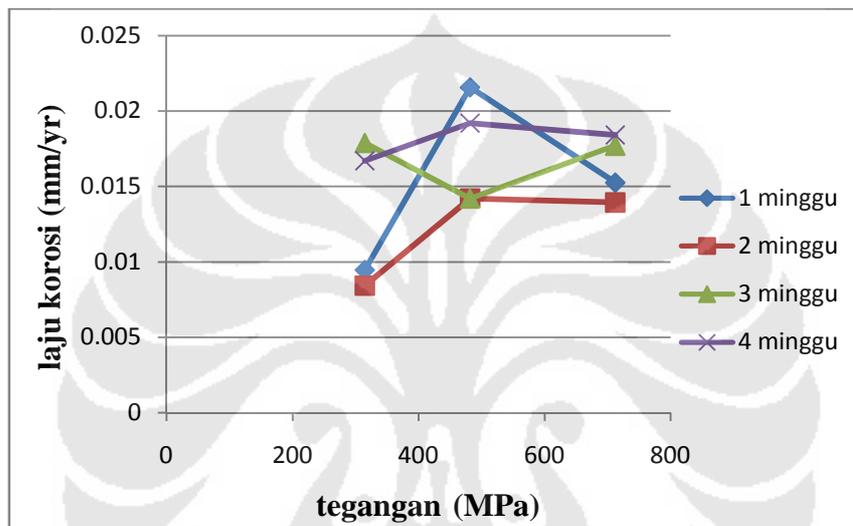
Pengurangan berat pada material uji menandakan adanya suatu degradasi pada material uji dimana pada material uji terjadi proses korosi dengan membentuk produk korosi berwarna coklat kemerahan yaitu $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Pada proses korosi terjadi pengurangan berat karena pada proses korosi, material uji bereaksi dengan lingkungan (oksigen) yang akan membentuk senyawa lain berupa oksida. Produk korosi tersebut bersifat *porous* dan mudah terlepas dari material dasar. Terlepasnya produk korosi dari material dasar membuat material kehilangan beratnya. Semakin banyak reaksi korosi yang terjadi maka akan membuat semakin banyak material dasar yang bereaksi dengan lingkungan (oksigen) membentuk oksida sehingga berat material semakin berkurang akibat sifat oksida yang *porous* dan mudah terlepas. Reaksi korosi semakin meningkat dengan meningkatnya waktu perendaman karena dengan meningkatnya waktu perendaman (waktu ekspos) di lingkungan akan memberikan kesempatan material untuk bereaksi dengan lingkungan sehingga semakin banyak material yang berubah menjadi oksida ($\text{Fe}(\text{OH})_3$).

Perubahan berat pada material dengan lamanya waktu perendaman (waktu ekspos) juga didapat dari hasil penelitian oleh Heri Juliansyah [18] dimana digunakan aluminium seri 6xxx yang diberi aplikasi tegangan di lingkungan salt spray, asam, basa, dan garam dan penelitian oleh Samuel Afolabi [19] dimana digunakan *carbon steels* dan *alloy steel* pada lingkungan minyak kelapa dan larutan coklat. Menurut Heri Juliansyah [18], saat terjadi reaksi atau sesudah terjadi reaksi mengakibatkan perubahan sifat metalurgis suatu material diikuti dengan perubahan komposisi material yang menyebabkan perubahan massa jenis (ρ) serta menghasilkan perubahan berat suatu material. Sedangkan menurut Samuel Afolabi [19], reaksi korosi meningkat akibat semakin lamanya bereaksi dengan oksigen karena meningkatnya waktu ekspos.

Laju korosi material dapat dihitung dengan menggunakan metode *weight loss*. Dari perubahan berat yang terjadi pada material uji, kemudian dihitung laju korosi (mm/yr) (Persamaan 2.12). Dari hasil perhitungan laju korosi terlihat bahwa terdapat kecenderungan laju korosi yang cenderung tetap dengan meningkatnya aplikasi tegangan. Laju korosi pada minggu pertama lebih tinggi daripada minggu kedua dan laju korosi pada minggu ketiga dan keempat lebih

tinggi dari minggu kedua dan pertama. Laju korosi pada minggu ketiga dan keempat cenderung sama (Gambar 5.4).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju korosi cenderung tetap dengan meningkatnya aplikasi tegangan. Hal tersebut terjadi karena pengaplikasian tegangan hanya sebagai pemicu untuk mempercepat degradasi material. Terdapatnya pengurangan berat pada material digunakan untuk perhitungan laju korosi akibat material uji bereaksi dengan lingkungan.

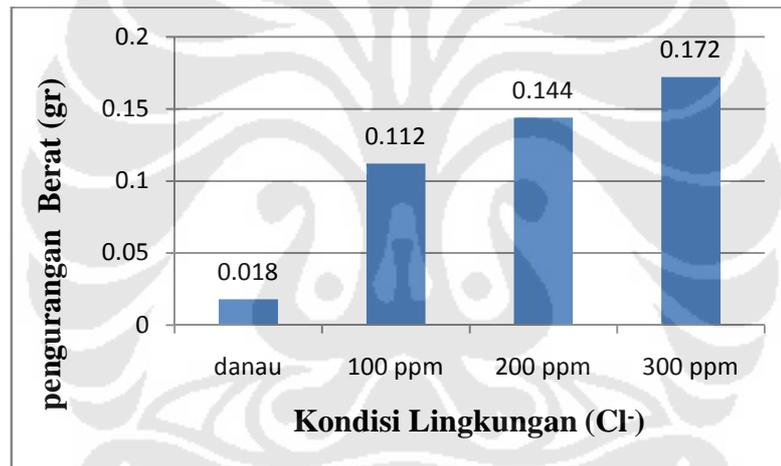


Gambar 5.4. Hubungan antara Peningkatan Tegangan dan Lamanya Waktu Pencelupan dengan Laju Korosi

Laju korosi pada minggu pertama lebih besar daripada laju korosi pada minggu kedua karena pada minggu pertama permukaan material masih bersih dan langsung terekspos di lingkungan sehingga reaksi korosi lebih mudah terjadi. Pada minggu kedua, reaksi korosi mulai berkurang akibat mulai terbentuknya produk korosi pada minggu pertama. Produk korosi tersebut menghalangi permukaan material untuk bereaksi dengan lingkungan sehingga reaksi korosi berkurang dan laju korosi sedikit menurun [7]. Pada minggu ketiga dan keempat laju korosi kembali meningkat. Hal ini terjadi karena kemungkinan terdapat produk korosi yang terlepas dari permukaan material sehingga permukaan material kembali terekspos dengan lingkungan dan reaksi korosi kembali terjadi.

5.3.2 Pengurangan Berat dan Laju korosi Material uji pada Lingkungan Air Danau dengan penambahan Kadar Cl^-

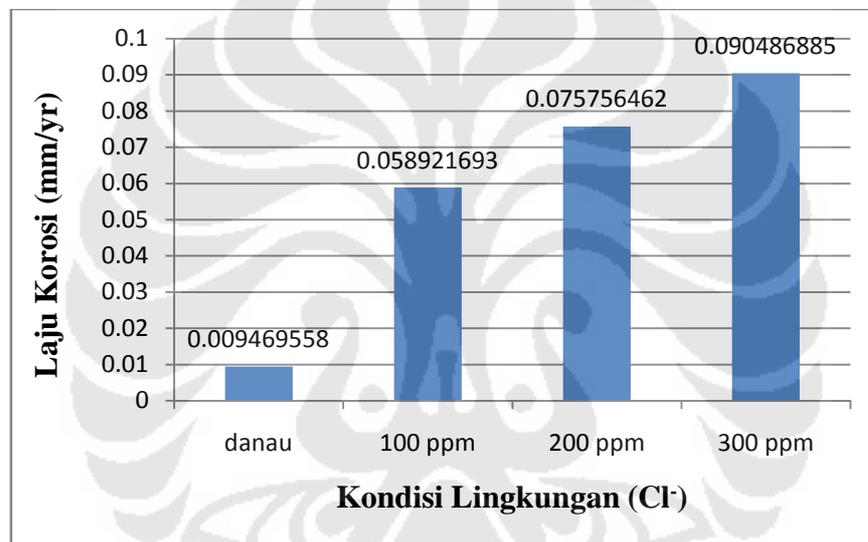
Untuk lingkungan air danau dengan kadar Cl^- yang berbeda, pengujian korosi retak tegang dilakukan dengan aplikasi tegangan yang sama berkisar 314 MPa selama 1 minggu perendaman. Dari kondisi tersebut, hasil penelitian memperlihatkan bahwa terjadi pengurangan berat pada material uji. Pengurangan berat pada material uji mengalami peningkatan dengan meningkatnya kadar Cl^- di dalam air danau (Gambar 5.5). Pengurangan berat terkecil berkisar 0.018 gr atau sekitar 0.19 % terjadi pada lingkungan danau dan pengurangan berat terbesar berkisar 0.172 gr atau sekitar 1.84 % terjadi pada lingkungan danau dengan penambahan kadar 300 ppm Cl^- .



Gambar 5.5. Hubungan antara Perbedaan Kondisi Lingkungan dengan Perubahan Berat

Kadar Cl^- yang meningkat akan meningkatkan pengurangan berat material uji karena adanya ion Cl^- akan meningkatkan elektrokonduktivitas di dalam larutan sehingga reaksi korosi akan semakin mudah terjadi [2]. Ion Cl^- di lingkungan juga membantu perusakan pada permukaan material dan merusak lapisan pasif pada material sehingga memudahkan oksigen bereaksi dengan material sehingga reaksi korosi dapat terus berlangsung [2]. Semakin banyak ion Cl^- maka semakin mudah permukaan material rusak sehingga reaksi korosi semakin mudah terjadi.

Adanya pengurangan berat pada material dapat digunakan untuk mengindikasikan bahwa terjadinya reaksi korosi pada material. Perubahan berat pada material dapat digunakan untuk menentukan laju korosi suatu material yaitu dengan metode *weight loss* (Persamaan 2.12). Dari perhitungan laju korosi dengan metode *weight loss* pada lingkungan air danau dengan kadar Cl^- yang berbeda terlihat bahwa laju korosi meningkat dengan meningkatnya kadar Cl^- di dalam lingkungan (Gambar 5. 6). Laju korosi terkecil terjadi pada lingkungan air danau berkisar 0.0094 mm/yr dan laju korosi terbesar terjadi pada lingkungan air danau dengan penambahan 300 ppm Cl^- berkisar 0.09 mm/yr.



Gambar 5.6. Hubungan antara Perbedaan Kondisi Lingkungan dengan Laju Korosi

Laju korosi yang meningkat sebanding dengan pengurangan berat yang meningkat sehingga bila perubahan berat meningkat maka laju korosi akan meningkat pada waktu yang sama (Persamaan 2.12). Menurut Heri Juliansyah [18], pengurangan berat yang tinggi memiliki nilai mpy yang lebih tinggi pula. Konsentrasi Cl^- yang meningkat akan meningkatkan laju korosi karena ion Cl^- dapat membantu proses korosi cepat berlangsung dengan cara merusak permukaan material. Ion Cl^- merupakan katalis terjadinya korosi dan menyerang lapisan tipis oksida. Ion Cl^- mengkatalis terjadinya korosi dengan mencegah terbentuknya lapisan oksida dan memudahkan terjadinya reduksi oksigen di permukaan logam

[5]. Tetapi, konsentrasi ion Cl^- yang terlalu tinggi di dalam lingkungan justru akan menurunkan laju korosi karena ion Cl^- yang tinggi akan mengurangi kelarutan oksigen di lingkungan. Konsentrasi ion Cl^- tertinggi sebelum akhirnya menurunkan laju korosi adalah sebesar 3 % [2]. Pada penelitian ini, konsentrasi ion Cl^- sebesar 100 ppm, 200 ppm, dan 300 ppm masih tergolong kecil sehingga ion Cl^- membantu oksigen untuk mencapai permukaan logam sehingga reaksi korosi dapat berlangsung.

