

BAB IV

HASIL PENELITIAN

4.1 PENGUJIAN KOMPOSISI

Uji komposisi dilakukan pada kedua jenis sampel menggunakan spektrometer untuk mengetahui perbedaan komposisi antara kedua baja. Pada baja karbon Fe merupakan unsur yang paling dominan dengan tambahan paduan lain yang mencolok adalah Mn dan Si yang ditambahkan untuk meningkatkan sifat mekanis. Sedangkan pada baja laterit, Fe juga paling dominan dan unsur lain yang berbeda signifikan dengan baja karbon adalah kandungan kromium (Cr). Hasil uji komposisi kedua jenis baja ini ditunjukkan oleh Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Komposisi Baja Karbon dan Baja Laterit

Unsur	Baja Karbon	Baja Laterit
Fe	99,409	99,339
C	0,0714	0,0521
Si	0,131	0,0132
Mn	0,254	0,234
P	0,0105	0,0073
S	0,0139	0,0139
Cr	0,0192	0,0737
Mo	0,0067	<0,0050
Ni	0,0183	0,106
Al	0,0434	0,0667
Co	0,0096	0,0113
Cu	0,0526	0,0326
Nb	<0,0020	<0,0020
Ti	<0,0020	<0,0020
V	0,0024	0,0035
W	0,0503	<0,0150
Pb	<0,0250	<0,0250
Sn	0,0058	<0,0020
B	<0,0010	<0,0010
Ca	0,0002	0,0007
Zr	0,0060	0,0078
As	0,0108	0,0071
Bi	<0,0300	<0,0300

4.2 PENGUJIAN LAJU KOROSI

Laju Korosi dari baja karbon dan baja laterit terhadap air danau pada temperatur ruang, 50°C dan 70°C dilakukan dengan metode *weight loss*. Laju korosi dari masing-masing sampel dan temperatur dengan waktu perendaman 1 hingga 5 hari dapat dilihat pada Tabel 4.2 sampai Tabel 4.6.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian *weight Loss* Baja Karbon pada Temperatur Ruang

Waktu perendaman (jam)	Nama Sampel	Berat awal (gr)	Berat akhir (gr)	<i>weight loss</i> (gr)	Laju Korosi (mpy)	Laju Korosi (mpy) rata-rata
24	CS 1	4,362	4,359	0,003	5,08	5,1
	CS 2	4,176	4,173	0,003	5,08	
48	CS 3	4,085	4,079	0,006	5,08	4,7
	CS 4	4,138	4,133	0,005	4,24	
72	CS 5	4,243	4,236	0,007	3,95	3,9
	CS 6	4,112	4,105	0,007	3,95	
96	CS 7	4,388	4,378	0,01	4,24	4,4
	CS 8	4,334	4,323	0,011	4,66	
120	CS 9	4,247	4,234	0,013	4,41	4,4
	CS 10	4,143	4,130	0,013	4,41	

Tabel 4.3 Hasil Pengujian *weight Loss* Baja Laterit pada Temperatur Ruang

Waktu perendaman (jam)	Nama Sampel	Berat awal (gr)	Berat akhir (gr)	<i>weight loss</i> (gr)	Laju Korosi (mpy)	Laju Korosi (mpy) rata-rata
24	LS 1	1,948	1,946	0,002	3,45	3,4
	LS 2	1,914	1,910	0,002	3,45	
48	LS 3	1,929	1,925	0,004	3,45	3,4
	LS 4	1,932	1,928	0,004	3,45	
72	LS 5	1,962	1,956	0,006	3,45	3,4
	LS 6	1,976	1,970	0,006	3,45	
96	LS 7	1,920	1,912	0,008	3,45	3,4
	LS 8	1,751	1,743	0,008	3,45	
120	LS 9	1,882	1,871	0,011	3,80	3,8
	LS 10	1,901	1,89	0,011	3,80	

Tabel 4.4 Hasil Pengujian *weight Loss* Baja Karbon pada Temperatur 50°C

Waktu perendaman (jam)	Nama Sampel	Berat awal (gr)	Berat akhir (gr)	<i>weight loss</i> (gr)	Laju Korosi (mpy)	Laju Korosi (mpy) rata-rata
24	CS 1	4,355	4,348	0,007	11,87	11,8
	CS 2	4,391	4,384	0,007	11,87	
48	CS 3	4,270	4,256	0,014	11,87	11,4
	CS 4	4,138	4,125	0,013	11,02	
72	CS 5	4,200	4,182	0,018	10,17	10,7
	CS 6	4,098	4,078	0,020	11,30	
96	CS 7	4,275	4,250	0,025	10,60	10,2
	CS 8	4,169	4,146	0,023	9,75	
120	CS 9	4,382	4,351	0,031	10,51	10,3
	CS 10	4,345	4,315	0,030	10,17	

Tabel 4.5 Hasil Pengujian *weight Loss* Baja Laterit pada Temperatur 50°C

Waktu perendaman (jam)	Nama Sampel	Berat awal (gr)	Berat akhir (gr)	<i>weight loss</i> (gr)	Laju Korosi (mpy)	Laju Korosi (mpy) rata-rata
24	LS 1	1,883	1,877	0,006	10,37	11,2
	LS 2	1,871	1,864	0,007	12,10	
48	LS 3	1,960	1,949	0,011	9,51	9,9
	LS 4	1,953	1,941	0,012	10,37	
72	LS 5	1,978	1,959	0,019	10,95	10,3
	LS 6	1,882	1,865	0,017	9,80	
96	LS 7	1,885	1,865	0,02	8,64	8,4
	LS 8	1,883	1,864	0,019	8,12	
120	LS 9	1,862	1,835	0,027	9,34	9,2
	LS 10	1,875	1,849	0,026	8,99	

Tabel 4.6 Hasil Pengujian *weight Loss* Baja Karbon pada Temperatur 70°C

Waktu perendaman (jam)	Nama Sampel	Berat awal (gr)	Berat akhir (gr)	<i>weight loss</i> (gr)	Laju Korosi (mpy)	Laju Korosi (mpy) rata-rata
24	CS 1	4,123	4,115	0,008	13,56	12,7
	CS 2	4,253	4,246	0,007	11,87	
48	CS 3	4,348	4,337	0,011	9,32	9,7
	CS 4	4,404	4,392	0,012	10,17	
72	CS 5	4,065	4,047	0,018	10,17	9,8
	CS 6	4,169	4,152	0,017	9,61	
96	CS 7	4,173	4,148	0,025	10,60	10,6
	CS 8	4,336	4,311	0,025	10,60	
120	CS 9	4,316	4,280	0,036	12,21	11,5
	CS 10	4,230	4,198	0,032	10,85	

Tabel 4.7 Hasil Pengujian *weight Loss* Baja Laterit pada Temperatur 70°C

Waktu perendaman (Jam)	Nama Sampel	Berat awal (gr)	Berat akhir (gr)	<i>weight loss</i> (gr)	Laju Korosi (mpy)	Laju Korosi (mpy) rata-rata
24	LS 1	1,945	1,937	0,008	13,83	12,9
	LS 2	1,957	1,950	0,007	12,10	
48	LS 3	1,930	1,918	0,012	10,37	10,3
	LS 4	1,937	1,925	0,012	10,37	
72	LS 5	1,842	1,824	0,018	10,37	10,7
	LS 6	1,942	1,923	0,019	10,95	
96	LS 7	1,937	1,915	0,022	9,51	9,7
	LS 8	1,884	1,861	0,023	9,94	
120	LS 9	1,931	1,901	0,03	10,37	10,2
	LS 10	1,846	1,817	0,029	10,03	

4.3 PENGUJIAN VISUAL

Pengujian visual dilakukan untuk mengamati pembentukan lapisan karat pada permukaan baja karbon dan baja laterit. Pada pengujian ini dibandingkan sampel sebelum perendaman dan setelah perendaman dalam air danau dengan temperatur 29°C, 50°C dan 70°C.

4.3.1 Sebelum Perendaman

Penampakan visual sampel sebelum dilakukan perendaman ditunjukkan pada Gambar 4.1. Sampel sebelumnya telah dilakukan proses pembersihan dan siap untuk direndam





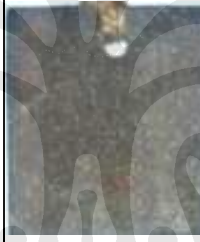



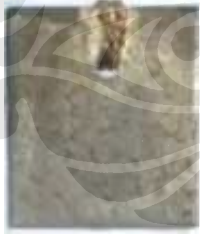



Gambar 4.1 Sampel baja karbon dan Baja Laterit sebelum direndam.

4.3.2 Setelah Perendaman






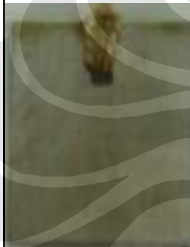
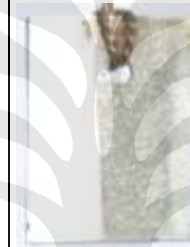


4.3.2.1 Temperatur Ruang

Penampakan visual baja karbon dan baja laterit setelah perendaman selama 1, 2, 3,4 dan 5 hari pada temperatur ruang ditunjukkan pada Tabel 4.8 dan 4.9. Setelah perendaman terdapat lapisan atau endapan pada permukaan baja karbon. Baja difoto dengan lapisan endapan pada permukaannya, dan kemudian dilap dengan tisu untuk melihat penampakan setelah endapan dihilangkan.

Tabel 4.8 Sampel baja karbon setelah perendaman di air danau pada temperatur ruang

24 jam (1 hari)	48 jam (2 hari)	72 jam (3 hari)	96 jam (4 hari)	120 jam (5 hari)
Sebelum dilap				
				
Setelah dilap				
				

Tabel 4.9 Sampel baja laterit setelah perendaman di air danau pada temperatur ruang

24 jam (1 hari)	48 jam (2 hari)	72 jam (3 hari)	96 jam (4 hari)	120 jam (5 hari)
Sebelum dilap				
				
Setelah dilap				
				

4.3.2.2 Temperatur 50°C

Penampakan visual baja karbon dan baja laterit setelah perendaman selama 1, 2, 3, 4 dan 5 hari pada temperatur 50°C ditunjukkan pada Tabel 4.10 dan 4.11. Setelah perendaman terdapat lapisan atau endapan pada permukaan baja karbon dan baja laterit. Baja difoto dengan lapisan endapan pada permukaannya, dan kemudian dilap dengan tisu untuk melihat penampakan setelah endapan dihilangkan.

Tabel 4.10 Sampel baja karbon setelah perendaman di air danau pada temperatur
50°C

4 jam (1 hari)	48 jam (2 hari)	72 jam (3 hari)	96 jam (4 hari)	120 jam (5 hari)
Sebelum dilap				
				
Setelah dilap				
				



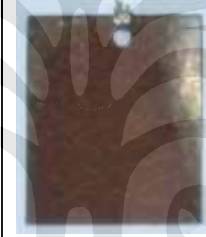



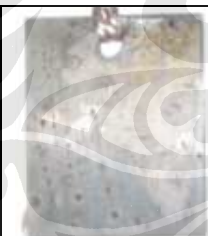
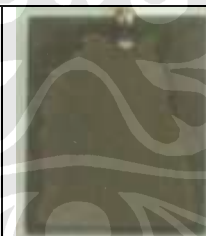
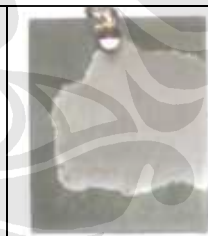

Tabel 4.11 Sampel baja laterit setelah perendaman di air danau pada temperatur
50°C

24 jam (1 hari)	48 jam (2 hari)	72 jam (3 hari)	96 jam (4 hari)	120 jam (5 hari)
Sebelum dilap				
				
Setelah dilap				
				





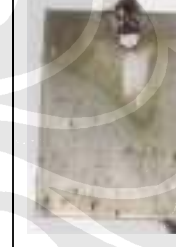
4.3.2.3 Temperatur 70°C

Penampakan visual baja karbon dan baja laterit setelah perendaman selama 1, 2, 3, 4 dan 5 hari pada temperatur 70°C ditunjukkan pada Tabel 4.12 dan 4.13. Setelah perendaman terdapat lapisan atau endapan pada permukaan baja karbon dan baja laterit. Baja difoto dengan lapisan endapan pada permukaannya, dan kemudian dilap dengan tisu untuk melihat penampakan setelah endapan dihilangkan.

Tabel 4.12 Sampel baja karbon setelah perendaman di air danau pada temperatur 70°C

24 jam (1 hari)	48 jam (2 hari)	72 jam (3 hari)	96 jam (4 hari)	120 jam (5 hari)
Sebelum dilap				
				
Setelah dilap				
				

Tabel 4.13 Sampel baja laterit setelah perendaman di air danau pada temperatur 70°C

24 jam (1 hari)	48 jam (2 hari)	72 jam (3 hari)	96 jam (4 hari)	120 jam (5 hari)
Sebelum dilap				
				
Setelah dilap				
				

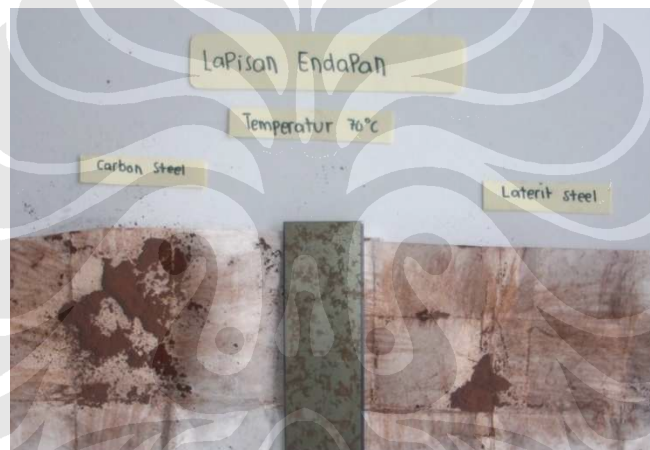
Lapisan karat yang terbentuk pada permukaan baja karbon dan baja laterit bersifat mudah lepas. Pengamatan visual lapisan karat yang terbentuk di permukaan baja karbon dan baja laterit yang dipisahkan dari material dasarnya ditunjukkan pada Gambar 4.2 sampai Gambar 4.4



Gambar 4.2 Lapisan karat pada permukaan baja karbon dan baja laterit pada temperatur ruang



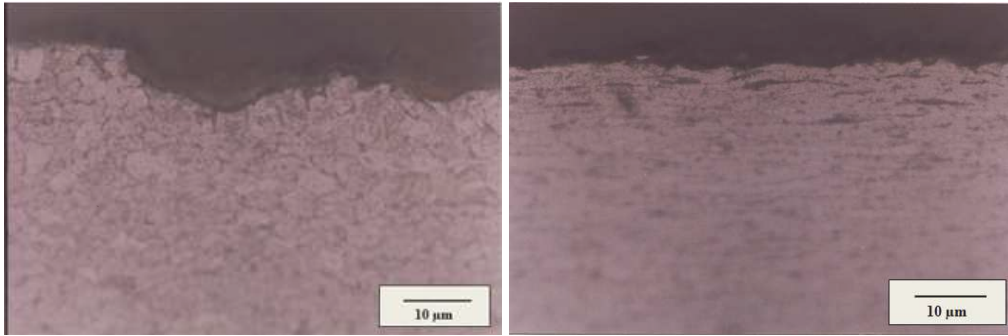
Gambar 4.3 Lapisan karat pada permukaan baja karbon dan baja laterit pada temperatur 50°C



Gambar 4.4 Lapisan karat pada permukaan baja karbon dan baja laterit pada temperatur 70°C

4.4 PENGUJIAN STRUKTUR MIKRO

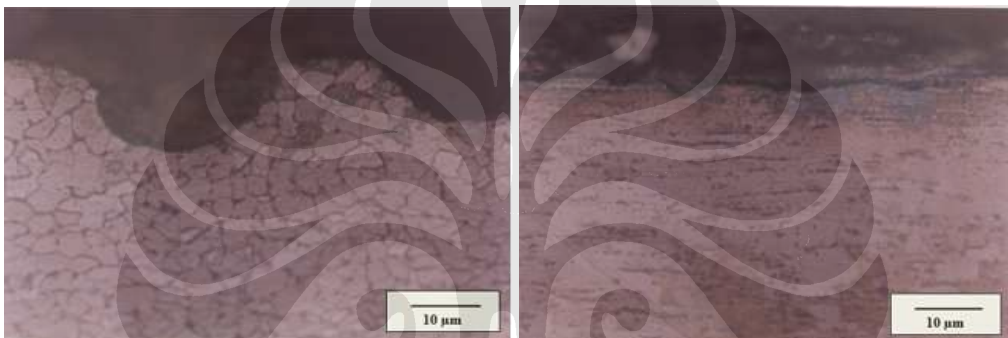
Pengamatan struktur mikro dilakukan pada baja karbon dan baja laterit yang telah direndam selama 5 hari pada temperatur ruang, 50°C dan 70°C menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 500x. Hasil Pengamatan struktur mikro tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.5 sampai Gambar 4.7.



(a)

(b)

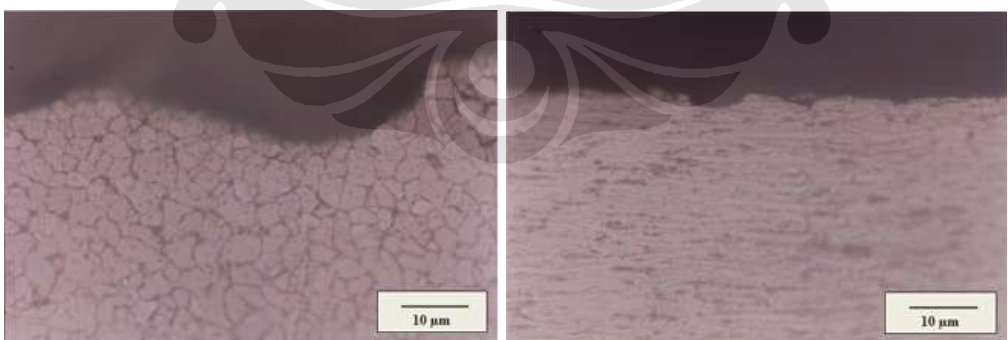
Gambar 4.5 Mikrostruktur (a) Baja Karbon dan (b) Baja Laterit setelah 5 hari perendaman pada temperatur ruang dengan perbesaran 500x



(a)

(b)

Gambar 4.6 Mikrostruktur (a) Baja Karbon dan (b) Baja Laterit setelah 5 hari perendaman pada temperatur 50°C dengan perbesaran 500x



(a)

(b)

Gambar 4.7 Mikrostruktur (a) Baja Karbon dan (b) Baja Laterit setelah 5 hari perendaman pada temperatur 70°C dengan perbesaran 500x

4.5 PENGUJIAN XRD

Pengujian XRD dilakukan pada lapisan endapan yang terbentuk pada permukaan baja karbon dan baja laterit, yang diwakilkan oleh lapisan endapan baja karbon dan laterit yang telah direndam selama 5 hari di air danau dengan temperatur 70°C. Hasil pengujian XRD yang dilakukan di BATAN dilampirkan. Dan identifikasi hasil pengujian XRD dilakukan menggunakan *software X-powder*. Hasil identifikasi pegujian XRD :

- Pada sampel baja karbon yang direndam selama 5 hari pada temperatur 70°C mengandung α -FeOOH (geothite).
- Pada sampel baja laterit yang direndam selama 5 hari pada temperatur 70°C mengandung α -FeOOH (geothite) dan $\text{Fe}_2\text{O}_2\text{CO}_3$

4.6 UJI EDX

Pengujian EDX dilakukan pada sampel baja karbon dan baja laterit yang telah dihilangkan endapan yang terbentuk pada permukaannya yang telah direndam selama 5 hari pada temperatur 70°C. Hasil pengujian EDX ditunjukkan pada dan Tabel 4.14 hingga Tabel 4.18.

Tabel 4.14 Komposisi Baja Karbon Daerah Terang

Elemen	% Elemen	% Atomik
C	5,08	16,58
O	8,93	21,89
Si	1,69	2,35
Fe	84,30	59,18
Total	100,00	100,00

Tabel 4.15 Komposisi Baja Karbon Daerah Gelap

Elemen	% Elemen	% Atomik
C	6,39	13,66
O	31,37	50,35
Mg	5,15	5,44
Si	9,04	8,27

Ca	1,06	0,68
Fe	49,98	21,60
Total	100,00	100,00

Tabel 4.16 Komposisi Baja Laterit Daerah Putih

Elemen	% Elemen	% Atomik
C	3,67	15,00
Si	0,25	0,44
Fe	96,08	84,56
Total	100,00	100,00

Tabel 4.17 Komposisi Baja Laterit Daerah Abu terang

Elemen	% Elemen	% Atomik
C	4,90	17,22
O	5,45	14,38
Si	0,76	1,14
Fe	88,90	67,25
Total	100,00	100,00

Tabel 4.18 Komposisi Baja Laterit Daerah Abu Gelap

Elemen	% Elemen	% Atomik
C	6,45	12,53
O	38,10	55,60
Mg	6,91	6,63
Si	11,45	9,52
Ca	1,04	0,60
Cr	1,67	0,75
Fe	34,38	14,37
Total	100,00	100,00

BAB V

PEMBAHASAN

5.1 UMUM

Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan laju korosi baja karbon dan baja laterit yang terbasahi pada lingkungan air danau mahoni FTUI dalam berbagai variasi temperatur dengan metode *weight loss*. Pada penelitian ini sampel baja karbon dan baja laterit direndam dalam air danau pada 3 temperatur berbeda yaitu temperatur ruang, 50°C, dan 70°C selama 1, 2, 3, 4, dan 5 hari untuk dilihat perubahan beratnya serta lapisan yang terbentuk dipermukaannya, yang dapat mempengaruhi laju korosi dari kedua baja tersebut. Karena itu, pada penelitian ini perlu dianalisa hasil pengamatan visual untuk melihat karakteristik lapisan yang terbentuk pada kedua jenis baja, laju korosi baja yang dipengaruhi lamanya waktu perendaman dan pengaruh temperatur, serta perbandingan kedua jenis baja tersebut yang kesemuanya ditunjuang oleh data hasil pengujian XRD, EDX serta pengamatan struktur mikro.

5.2 PENGAMATAN VISUAL

Pengamatan visual dilakukan pada material baja karbon dan baja laterit setelah dilakukan perendaman pada air danau dengan temperatur ruang, 50°C dan 70°C, untuk melihat karakteristik lapisan yang terbentuk pada permukaan baja karbon dan baja laterit.

Pada foto hasil pengamatan visual didapatkan semakin lama waktu perendaman endapan yang terbentuk pada permukaan baja karbon dan baja laterit semakin banyak. Begitu juga dengan peningkatan temperatur, endapan pada permukaan baja karbon dan baja laterit pun semakin meningkat. Semakin lama waktu perendaman memungkinkan baja untuk lebih banyak terkorosi sehingga menghasilkan produk korosi (endapan karat) lebih banyak. Sedangkan peningkatan temperatur menurunkan kelarutan CaCO_3 (Gambar 2.10) sehingga

memungkinkan lebih banyak kalsium karbonat yang terendap dipermukaan baja dan juga meningkatnya temperatur meningkatkan kecepatan reaksi, yang berarti juga memperbanyak produk korosinya.

Jika dibandingkan lapisan karat yang terbentuk dipermukaan baja karbon dan baja laterit secara visual pada temperatur ruang, 50°C dan 70°C sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.8 sampai 4.13, warna lapisan karat yang terbentuk sama dan banyaknya karat pada kedua jenis baja hampir sama atau tidak berbeda signifikan.

Dari hasil foto visual Gambar 4.2 sampai Gambar 4.4, terlihat pada permukaan baja karbon dan baja laterit yang direndam pada temperatur ruang terbentuk endapan berwarna coklat kemerahan. Sedangkan sampel yang direndam pada temperatur 50°C dan 70°C endapannya berwarna coklat kehitaman.

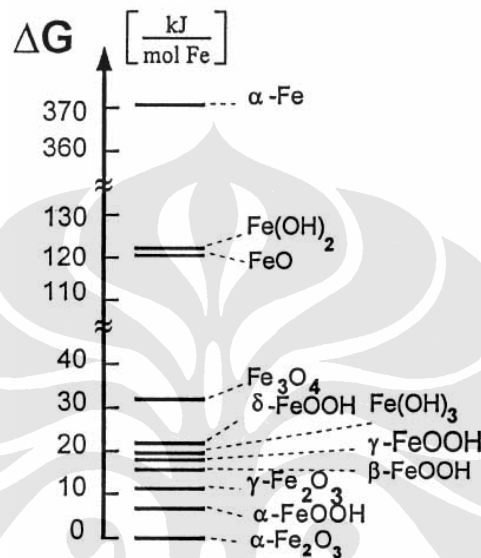
Berdasarkan hasil pengujian komposisi endapan menggunakan XRD pada sampel yang telah direndam dalam air danau selama 5 hari pada temperatur 70°C (Lampiran 3), endapan yang terbentuk pada permukaan baja karbon mengandung α -FeOOH (goethite). Sedangkan pada baja laterit mengandung α -FeOOH (goethite) dan $\text{Fe}_2\text{O}_2\text{CO}_3$.

Pada temperatur ruang, lapisan karat yang terbentuk pada baja karbon berwarna coklat kemerahan. Kemungkinan besar karat yang terbentuk merupakan goethite (α -FeOOH) yang berwarna coklat kemerahan seperti hasil XRD yang terbentuk pada baja karbon di temperatur 70°C. Pada banyak penelitian endapan FeOOH yang terbentuk pada baja karbon merupakan karat kebanyakan yang biasa ditemukan pada korosi atmosferik hasil reaksi baja dengan oksigen dan air yang membasahi permukaan baja [22 - 24] dan juga pada baja karbon yang direndam dalam air laut [25] dan juga dalam air destilasi dan air biasa seperti air keran, air sungai, danau, dll [26] dengan reaksi :



Meisel,W [29] menunjukkan bahwa 1 mol baja yang terkorosi dapat membentuk produk korosi seperti terlihat pada Gambar 5.1 dari paling atas (bentuk logam) hingga bentuk akhir yang paling stabil. Dimana transisi kearah atas membutuhkan energi, dan transisi ke arah bawah dapat berlangsung secara spontan. Tetapi transisi kearah bawah juga terhalang oleh energi aktivasi yang

dibutuhkan untuk perpindahan ion dari struktur kisi untuk membentuk struktur baru. Sebagai contoh transisi dari $\text{Fe}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$ membutuhkan energi aktivasi 65 kJ dan transisi $\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ membutuhkan 205 kJ. Pada kondisi yang *mild* atau ringan, korosi berhenti pada rentang tengah diagram yaitu biasanya $\gamma\text{-FeOOH}$, dan tidak dapat mencapai bentuk yang paling bawah atau hematit (Fe_2O_3)

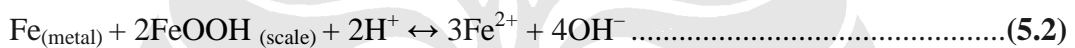


Gambar 5.1 Tingkatan diagram energi bebas dari pembentukan beberapa produk korosi pada baja [29]

Musić S, dkk [26] dalam jurnalnya menunjukkan karat yang terbentuk pada pada permukaan baja karbon yang direndam dalam air destilasi adalah lepidocrocite ($\gamma\text{-FeOOH}$) sebagai fasa yang mendominasi, sedangkan baja karbon yang terendam dalam air biasa, yang biasanya mengandung ion karbonat atau bikarbonat ditemukan goethite ($\alpha\text{-FeOOH}$) sebagai fasa yang mendominasi, serta magnetite (Fe_3O_4) dan lepidocrocite ($\gamma\text{-FeOOH}$) sebagai fasa minor pada temperatur ruang. Karena air danau yang digunakan, berdasarkan hasil pengujian komposisi merupakan air yang mengandung karbonat, maka kemungkinan besar endapan yang terbentuk merupakan jenis goethite ($\alpha\text{-FeOOH}$).

Pada temperatur 50°C , lapisan karat terluar yang terbentuk pada permukaan baja karbon (Tabel 4.10) berwarna coklat kemerahan. Sedangkan setelah dipisahkan dari material dasarnya warna endapan menjadi coklat kehitaman (Gambar 4.3). Jika warna kecoklatan didapat pada lapisan terluar yang

kontak dengan lingkungan, maka warna hitam didapat dari lapisan karat terdalam yang kontak dengan sampel. Warna kecoklatan kemungkinan adalah endapan α -FeOOH (goethite) yang berwarna coklat kemerahan. Dan karat yang berwarna hitam didapat dari magnetite (Fe_3O_4). García KE, et al [25] menyebutkan dalam jurnalnya bahwa akibat adanya endapan dipermukaan baja, maka elektrolit dapat terperangkap di dalam lapisan karat dengan kandungan oksigennya terbatas dibandingkan dengan bagian luar. Lapisan karat juga dapat menghalangi difusi ion oksigen dari lingkungan ke bagian dalam karat, sehingga konsentrasi oksigen pada bagian dalam rendah. Karena kandungan oksigen yang menipis, maka proses oksidasi dari Fe^{2+} ke Fe^{3+} sangat lambat sehingga memungkinkan terbentuknya magnetit. Semakin tipisnya oksigen yang berfungsi menerima elektron, maka endapan FeOOH berperan sebagai penerima elektron untuk oksidasi logam besi dengan reaksi [25] :



Meisel, W [29] juga menyebutkan terbatasnya oksigen dapat menghalangi transisi produk korosi berdasarkan diagram pada Gambar 5.1, dan korosi akan terhenti pada Fe_3O_4 .

Pada temperatur 70°C juga didapatkan lapisan karat terluar yang terbentuk berwarna coklat kemerahan (Tabel 4.12) dan lapisan karat bagian dalam berwarna hitam, sehingga lapisan karat baja karbon setelah dipisahkan dari material berwarna coklat kehitaman (Gambar 4.4). Dari hasil penguian XRD lapisan karat pada baja karbon pada temperatur 70°C didapatkan lapisan karat mengandung α -FeOOH (goethite). Goethite ditunjukkan pada lapisan karat berwarna coklat kemerahan yang terbentuk pada lapisan terluar karat, sedangkan lapisan dalam yang hitam kemungkinan terbentuk Fe_3O_4 .

Musić S, dkk [26] dalam jurnalnya juga meneliti baja yang terendam dalam air dalam periode 1 hari hingga 3 minggu dengan kandungan ion karbonat pada temperatur 90°C , karat yang terbentuk didominasi oleh magnetit dan sedikit jumlah hematite atau goethite.

Semakin tingginya temperatur, konsentrasi oksigen semakin menurun (Gambar 2.7). Maka kemungkinan semakin tingginya temperatur magnetit lebih

banyak terbentuk, sehingga magnetit lebih banyak terdapat pada baja karbon di temperatur 70°C dari pada temperatur 50°C dan temperatur ruang.

Pada baja laterit yang direndam di temperatur ruang, jika dilihat secara visual karatnya berwarna coklat kemerahan, kemungkinan yang terbentuk sama dengan yang terbentuk di baja karbon pada temperatur ruang, yaitu goethite (α -FeOOH).

Pada baja laterit, lapisan karat yang dihasilkan pada temperatur 50°C dan 70°C berwarna coklat kehitaman. Warna coklat terdapat dibagian luar karat, sedangkan pada bagian dalam lapisan karat berwarna hitam. Hasil uji XRD karat baja laterit dengan temperatur perendaman 70°C menunjukkan karat tersebut mengandung goethite (α -FeOOH) dan $\text{Fe}_2\text{O}_2\text{CO}_3$. Goethite memberikan warna coklat kemerahan pada karat, sedangkan warna hitam pada lapisan dalam adalah magnetit (Fe_3O_4). Sedangkan $\text{Fe}_2\text{O}_2\text{CO}_3$ kemungkinan terbentuk karena pada air danau mengandung karbonat yang jenuh dan semakin tingginya temperatur kelarutan kalsium karbonat semakin menurun, sehingga sangat memungkinkan unuk bereaksi antara ion karbonat, oksigen dan ion besi.

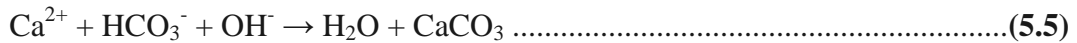
Musić S, dkk [26] menemukan, pada lingkungan air yang mengandung karbonat dengan temperatur 90°C, baja menghasilkan $\text{Fe}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ dan magnetite serta goethite. $\text{Fe}_2\text{O}_2\text{CO}_3$ merupakan bentuk yang kurang stabil, dimana bentuk stabilnya adalah siderite (FeCO_3), dengan reaksi



Karena $\text{Fe}_2\text{O}_2\text{CO}_3$ kurang stabil, maka mudah lepas dari permukaan baja laterit.

Karena air danau jenuh akan kalsium karbonat, maka pada baja laterit dan baja karbon di semua temperatur kemungkinan juga mengandung endapan kalsium karbonat. Tetapi karena kalsium karbonat bersifat cukup protektif, maka kemungkinan endapan kalsium karbonat masih menempel dipermukaan baja dan sulit dipisahkan. Semakin tingginya temperatur meningkatkan endapan kalsium karbonat dipermukaan baja, sehingga kemungkinan endapan kalsium karbonat baik pada baja karbon maupun baja laterit di temperatur 70°C lebih banyak dari temperatur 50°C dan temperatur ruang.

Möller H [27], dalam jurnalnya menyebutkan jika baja direndam pada air biasa yang mengandung ion karbonat, maka pada permukaan baja karbon dan baja laterit akan terbentuk lapisan kalsium karbonat dengan reaksi :



Secara umum korosi baja pada air murni dimulai dengan oksidasi Fe^0 menjadi Fe^{2+} , yang biasanya ada dalam larutan sebagai FeOH^+ kompleks. Pada langkah selanjutnya FeOH^+ kompleks dioksidasi menjadi Fe^{3+} , yang selanjutnya membentuk *Fe III hydroxy complex* yang merupakan pendahuluan dari endapan $\gamma\text{-FeOOH}$. Berdasarkan penelitian Musić S, dkk [26] pembentukan $\gamma\text{-FeOOH}$ cenderung berkurang dengan adanya ion bikarbonat. Dan anion karbonat langsung membentuk $\alpha\text{-FeOOH}$.

Endapan yang terbentuk pada baja karbon dan baja laterit bersifat rapuh atau mudah rontok serta mudah hilang jika dilap. Foto visual baja karbon dan baja laterit sebelum dan setelah dilap endapannya, ditunjukkan pada Tabel 4.8 hingga Tabel 4.13. García K.E, dkk [25] menyatakan bahwa goethite ($\alpha\text{-FeOOH}$) mempunyai ikatan yang lemah, sehingga mudah terlepas. Tetapi magnetite (Fe_3O_4) bersifat melekat dipermukaan sampel. Adanya magnetit yang ikut terlepas, kemungkinan dikarenakan pembentukan yang belum stabil, sedangkan magnetite yang stabil tidak ikut terlepas jika dilap. Ini ditunjukkan pada sampel setelah dilap, permukaan sampel baik baja karbon maupun baja laterit pada temperatur 50°C dan 70°C terlihat adanya degradasi warna pada material seperti terbentuk suatu lapisan tipis pada permukaan material yang sulit hilang atau melekat cukup kuat dipermukaan (Tabel 4.10 sampai 4.13 dan Gambar 3.12 sampai 3.13).

Dari hasil pengujian EDX pada lapisan yang terbentuk dipermukaan material, pada baja karbon, bagian warna gelap yang sebelumnya tertutup endapan didapatkan unsur C, O, Mg, Si, Ca dan Fe.

Unsur oksigen kemungkinan didapatkan dari lingkungan air danau yang mengandung oksigen. Unsur Fe pada uji EDX rendah yaitu 46%, sedangkan dari uji spektroskopi adalah 99,4%. Kemungkinan perbedaan ini disebabkan Fe yang tertembak bukan Fe sebagai unsur utama pada baja melainkan Fe yang membentuk senyawa lain karena warnanya berbeda dengan warna baja pada sebelum perendaman. Karena warnanya yang gelap kecoklatan, kemungkinan unsur O dan

Fe membentuk Fe_3O_4 atau magnetit, yang merupakan produk korosi baja yang bersifat lebih melekat pada permukaan baja [25], sehingga masih menempel pada logam dasarnya.

Selain itu adanya kalsium (Ca) lapisan ini kemungkinan didapatkan dari air danau, karena air danau yang digunakan pada penelitian ini mengandung kalsium yang cukup tinggi. Ini dibuktikan dengan pengujian komposisi air danau menggunakan *hanna Instrument*, dimana dari jumlah kalsium yang terkandung, air danau termasuk *hard water*, atau jenuh akan kalsium karbonat serta nilai *saturation Index* positif ($\text{SI} > 0$), yang berarti air danau cenderung untuk membentuk endapan (*scale*) di permukaan material [6]. Adanya kadar karbon yang lebih tinggi pada hasil EDX dibanding hasil spektrometer, juga kemungkinan didapat dari ion karbonat yang terdapat dari lingkungan. Karena itu kalsium dan ion karbonat pada air danau mungkin membentuk endapan kalsium karbonat dipermukaan baja. Karena kalsium karbonat bersifat protektif, sehingga tidak mudah lepas dari permukaan baja.

Unsur magnesium yang juga terdeteksi dalam jumlah yang cukup besar mungkin didapatkan dari air danau, karena pada air biasanya selain mengandung kalsium juga mengandung magnesium [15]. Kandungan silikon yang sangat signifikan berbeda, yaitu 9,04% pada hasil pengujian EDX, sedangkan pada pengujian komposisi sampel menggunakan spektrometer silikon pada baja karbon hanya 0,013%. Perbedaan yang signifikan ini dapat disebabkan beberapa kemungkinan, antara lain pada uji spektrometer diameter sampel yang ditembak sekitar 0,5 cm sehingga kadar silikon yang didapatkan merupakan rata-rata dari daerah sampel yang ditembak, sedangkan pada uji EDX hanya satu titik, yang mungkin silikonnya tertembak sehingga kadarnya menjadi tinggi. Selain itu silikon dapat juga diperoleh dari sisa amplas yang masih tertinggal dipermukaan baja, karena amplas yang digunakan sampai halus yaitu sampai grid 1000, sehingga sisa amplas sulit di hilangkan, dimana material kertas amplas adalah *silicon carbide* (SiC).

Sedangkan lapisan yang terang, yang dari awal tidak terbentuk endapan atau endapannya rontok mengandung unsur C, O, Si dan Fe. Fe tertembak memiliki kadar tinggi yang didapatkan dari logam dasarnya. Karbon yang lebih

tinggi dari logam dasarnya serta adanya oksigen, kemungkinan didapatkan dari lingkungan. Dan Si yang berbeda dengan hasil spektroskopi karena adanya sisa-sisa amplas.

Pada baja laterit, bagian yang tadinya tidak ditutupi endapan berwarna terang (daerah putih pada EDX), daerah yang sebagian besar ditutupi endapan berwarna agak gelap (daerah abu terang) dan daerah perbatasan/ ujung endapan berwarna gelap kecoklatan dan sedikit putih kusam (daerah abu gelap pada EDX).

Dari hasil pengujian EDX, pada bagian yang berwarna terang atau putih yang sebelumnya tidak ditutupi endapan mengandung unsur C, Fe dan Si. Fe kemungkinan terbesar merupakan unsur dasar dari baja, karena kadarnya mirip dengan hasil spektroskopi. Adanya karbon dari hasil uji EDX yang kadarnya lebih tinggi dari uji spektroskopi kemungkinan juga didapatkan dari lingkungan air danau yang mengandung ion karbonat. Silikon yang tertembak kadarnya sedikit berbeda dari uji komposisi dengan spektroskopi, karena mungkin juga masih ada sisa-sisa amplas pada permukaan baja laterit.

Pada daerah yang lebih gelap yang sebelumnya ditutupi oleh endapan juga mengandung C, O, Fe dan Si. Fe merupakan unsur dasar dari baja dan oksigen (O) didapatkan dari lingkungan air danau. Karena warna lapisan gelap, maka kemungkinan Fe dan O dapat membentuk lapisan karat magnetite yang bersifat melekat pada permukaan sampel. Sedangkan karbon bisa didapatkan dari lingkungan yang mengandung air danau dan sisa kertas amplas (SiC). Silikon yang juga terdeteksi dengan kadar yang sedikit berbeda dari komposisi baja hasil spektrometer, kemungkinan didapatkan dari sisa kertas amplas.

Pada daerah perbatasan/ujung endapan yang gelap kecoklatan serta sedikit putih mengandung C, O, Mg, Si, Ca, Cr dan Fe. Fe dengan kadar rendah yaitu 34%, kemungkinan bukan unsur dasar dari baja tetapi Fe yang mungkin membentuk senyawa dengan oksigen (O) yang didapatkan dari lingkungan membentuk lapisan karat Fe_3O_4 yang berwarna coklat kehitaman. Si yang sangat berbeda signifikan pada hasil EDX yaitu 11,45% dari hasil spektrometer yang hanya 0,013%, kemungkinan dikarenakan saat penembakan EDX yang hanya pada satu titik mengenai atom silikon, dan juga masih adanya sisa amplas pada permukaan baja laterit. Kalsium (Ca) dan Magnesium (Mg) kemungkinan

didapatkan dari air danau yang mengandung kalsium karbonat jenuh dan magnesium, sementara Cr kemungkinan juga merupakan unsur dasar yang didapatkan dari baja laterit. Tetapi lebih besarnya kadar Cr pada hasil EDX dibandingkan hasil spektrometer kemungkinan karena hasil tembakan EDX mengenai titik dimana Cr lebih tinggi dari daerah lain.

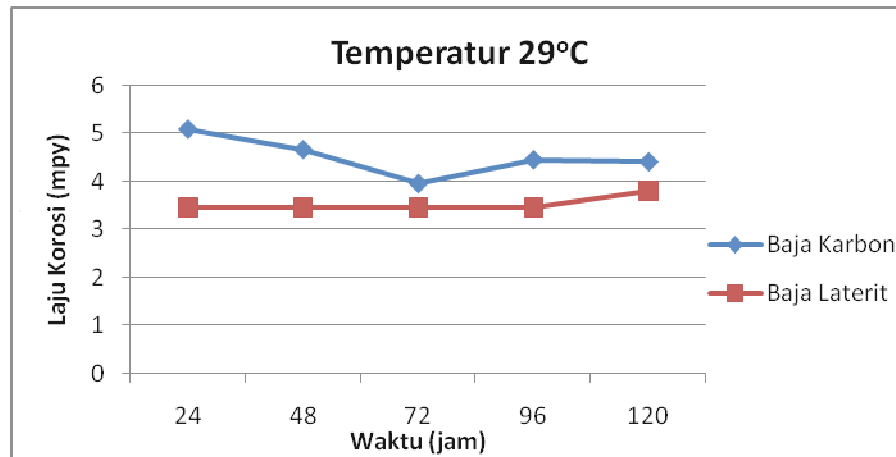
5.3 PENGUJIAN LAJU KOROSI

Laju korosi pada suatu material sangat dipengaruhi sifat dari material maupun lingkungan tempat material itu terpapar. Pada penelitian ini dua jenis baja, baja karbon dan baja laterit terendam dalam lingkungan air danau dengan penambahan temperatur. Sehingga laju korosi pada penelitian ini dipengaruhi oleh temperatur, lamanya perendaman material pada air danau serta jenis material.

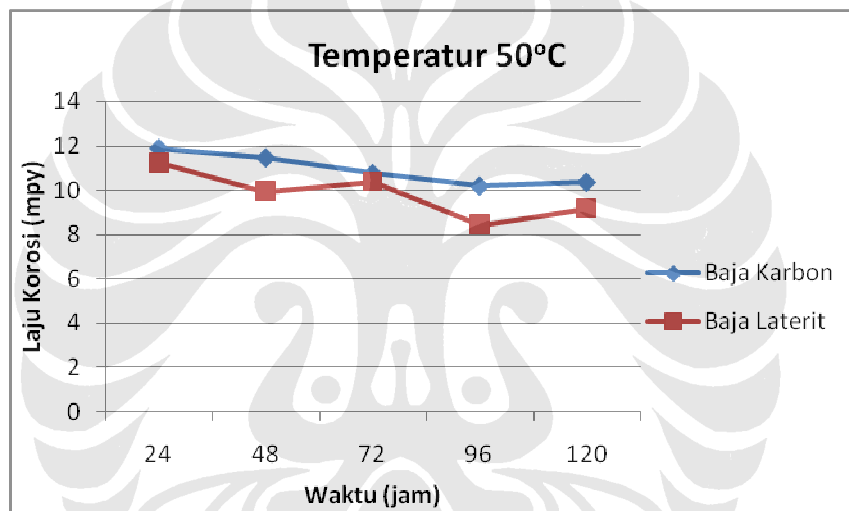
5.3.1 Pengaruh waktu Perendaman

Gambar 5.2, 5.3 serta 5.4 menunjukkan hubungan antara lamanya waktu perendaman dengan laju korosi baja karbon dan baja laterit pada masing-masing temperatur, dimana semakin lamanya waktu perendaman laju korosi cenderung konstan atau menurun.

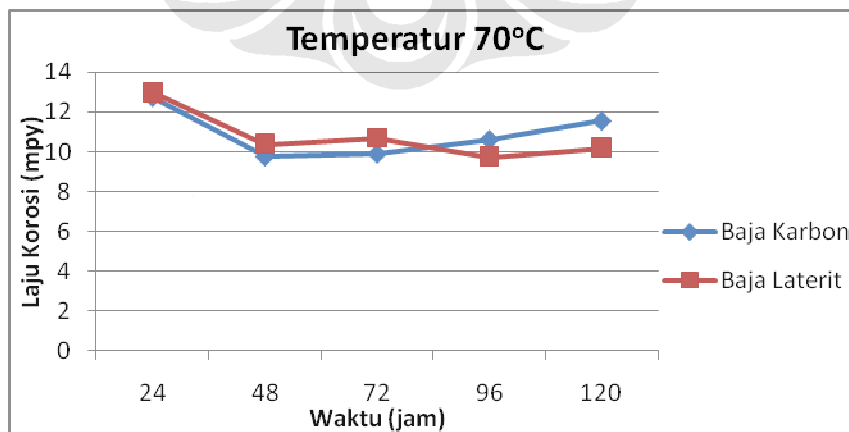
Dari grafik pengaruh waktu perendaman terhadap laju korosi pada temperatur ruang (29°C) (Gambar 5.2) laju korosi pada baja karbon menurun dari hari pertama sampai hari ketiga perendaman, karena terbentuknya endapan atau lapisan karat dipermukaan baja karbon yang semakin banyak (Tabel 4.8), kemudian sedikit meningkat, karena adanya sedikit karat yang rontok ke dasar toples (Lampiran 9), sehingga tidak lagi menghalangi difusi ion oksigen dan menyebabkan laju korosi terus berlangsung. Pada hari kelima laju korosinya sama dengan hari keempat, karena terbentuk sedikit lapisan karat yang juga hanya sedikit melindungi baja laterit dari korosi selanjutnya, sehingga laju korosinya konstant.



Gambar 5.2 Pengaruh waktu perendaman terhadap korosi baja karbon dan baja laterit pada temperatur ruang (29°C)



Gambar 5.3 Pengaruh waktu perendaman terhadap korosi baja karbon dan baja laterit pada temperatur 50°C.



Gambar 5.4 Pengaruh waktu perendaman terhadap korosi baja karbon dan baja laterit pada temperatur 70°C.

Pada baja laterit, laju korosi konstan dari hari pertama sampai hari keempat. Ini dikarenakan semakin bertambah waktu perendaman, ada endapan yang terbentuk pada permukaan baja laterit seperti ditunjukkan pada Tabel 4.9. Lapisan endapan yang terbentuk, sesuai dengan analisa visual yaitu α -FeOOH, bersifat tidak melekat dan mudah rontok, sehingga kemungkinan hanya sedikit mempengaruhi laju korosi. Pada hari kelima laju korosi meningkat karena kemungkinan lapisan karat pada permukaan baja rontok dan tidak lagi memproteksi logam sehingga laju korosinya meningkat.

Dari grafik pengaruh waktu perendaman terhadap laju korosi pada temperatur 50°C (Gambar 5.3) laju korosi baja karbon cenderung menurun tetapi baja laterit pada waktu perendaman 3 dan 5 hari laju korosi meningkat. Penurunan laju korosi ini kemungkinan dikarenakan terbentuknya endapan yang cukup banyak pada permukaan kedua jenis baja, yang berfungsi menghalangi masuknya udara dan air untuk korosi baja selanjutnya sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.10 dan 4.11. Pada perendaman 3 dan 5 hari baja laterit, laju korosinya meningkat. Peningkatan ini disebabkan lapisan yang tadinya berfungsi melindungi logam dasar dari korosi selanjutnya rontok, sehingga logam dasar tidak lagi terlindungi. Ini ditunjukkan pada Lampiran 9, dimana pada air danau setelah perendaman didapatkan banyak terdapat endapan pada dasar beaker glass yang berasal dari rontoknya lapisan yang terbentuk pada permukaan material.

Dari grafik pengaruh waktu perendaman terhadap laju korosi pada temperatur 70°C (Gambar 5.4), laju korosi baja karbon cenderung menurun hingga waktu perendaman 3 hari kemudian meningkat pada perendaman 4 dan 5 hari. Laju korosi menurun dikarenakan terbentuknya endapan α -FeOOH magnetit yang dapat melindungi logam dasar dari korosi selanjutnya, dan peningkatan laju korosi ini pada hari ke 4 dan 5 kemungkinan disebabkan rontoknya endapan yang terbentuk, karena sifat dari endapan α -FeOOH yang tidak melekat kuat pada permukaan baja.

Baja laterit juga menunjukkan kecenderungan menurunnya laju korosi seiring dengan penambahan waktu, kecuali hari ke 3 dan ke 5. Penurunan laju korosi ini juga disebabkan terbentuknya lapisan karat α -FeOOH dan $\text{Fe}_2\text{O}_2\text{CO}_3$

serta magnetit pada permukaan material dan adanya peningkatan laju korosi juga kemungkinan besar disebabkan rontoknya karat.

5.3.2 Pengaruh Jenis Material

Laju korosi dari suatu maerial sangat dipengaruhi karakteristik material itu sendiri. Pada kedua material di penelitian ini, yaitu baja karbon dan baja laterit mempunyai laju korosi yang berbeda walaupun tidak terlalu signifikan. Ini ditunjukkan pada Gambar 5.2, 5.3 dan 5.4, dimana laju korosi baja laterit cenderung lebih rendah dibandingkan dengan baja karbon.

Hal mendasar yang membedakan kedua jenis baja ini adalah perbedaan komposisi. Baja laterit mempunyai kandungan Cr yang lebih tinggi dari baja karbon yang dapat mempengaruhi ketahanan korosi. Perbedaan komposisi yang menyusun kedua jenis material ini mempengaruhi karakteristik karat atau endapan yang terbentuk.

Hasil pengujian komposisi karat menggunakan XRD, serta dari pengamatan warna menunjukkan komposisi karat pada baja karbon dan baja laterit, secara umum sama.

Cheng, YF dalam jurnalnya [3] menyebutkan meningkatnya kandungan Cr dalam baja dapat menurunkan laju korosi. Karena baja yang mengandung Cr dapat membentuk lapisan Cr_2O_3 yang bersifat stabil dan protektif. Pembentukan lapisan Cr_2O_3 mengikuti reaksi :



Lapisan Cr_2O_3 dapat terbentuk dengan sendirinya jika kandungan Cr minimum 12%. Pada percobaan ini kandungan Cr hanya 0,07% , sehingga suit membentuk lapisan pasif Cr_2O_3 . Menurut Cheng FY [3] pada temperatur tinggi, besi dengan kadar Cr rendah yaitu 0,236%Cr, 0,33%Cr dan 0,406%Cr dapat membentuk lapisan pasif, dengan kecepatan pembentukan lapisan yang meningkat dengan meningkatnya kandungan Cr. Pada temperatur ruang, lapisan pasif Cr tidak terbentuk. Tetapi adanya Cr dapat meningkatkan kecepatan pembentukan Fe_3O_4 dan menstabilkan lapisan magnetit yang terbentuk dengan memperhalus ukuran partikel dan rentang distribusi partikel yang lebar [3], sehingga lebih rapat dan lebih melindungi baja terhadap korosi selanjutnya.

Choi, Y.S, dkk [28] dalam jurnalnya juga membandingkan laju korosi baja karbon dan *weathering steel* (mengandung 0,6%Cr , 0,15%Ni dan 0,4%Cu) dalam lingkungan terendam larutan asam klorida. Lapisan karat yang terbentuk pada kedua jenis baja terutama mengandung hematite (Fe_2O_3) dan Magnetite (Fe_3O_4). Tetapi pada lapisan karat *weathering steel* terdapat cromium oksida (Cr_2O_3) dan cupric oxide (CuO). Dari hasil SEM, lapisan karat yang terbentuk pada *weathering steel* seragam, melekat dan *continuous structure*. Sebaliknya lapisan karat yang terbentuk pada CS tidak seragam, sehingga lapisan karat *weathering steel* yang mengandung Cr_2O_3 bersifat lebih protektif.

Selain itu dari jurnal terbarunya Choi, Y.S, dkk [4] menunjukkan bahwa baja paduan rendah yang mengandung Cr-Cu-Ni (0,992% Cr, 0,15% Ni dan 0,198% Cu memiliki ketahanan korosi yang lebih tinggi dari pada baja karbon dalam lingkungan air tanah. Hasil XPS menunjukkan terdapat Cr yang terkonsentrasi pada bagian dalam dari karat. Sementara Ni secara seragam terdistribusi pada keseluruhan lapisan karat, yang berfungsi sebagai penghalang logam dasar untuk terkorosi.

García K.E, dkk [25] meneliti pada lingkungan HCl, *weathering steel* (0,48% Cr, 0,47 Cu dan 0,0 3% Ni) mempunyai ketahanan korosi 30% lebih baik dari baja karbon. Pada lingkungan ini hanya 21% baja yang terkorosi yang berubah menjadi karat yang melekat, sekitar 45 – 47% produk korosi hilang dan sekitar 31 – 34% ion logam tidak berubah menjadi produk korosi. Karat yang dihasilkan adalah magnetit, dimana magnetit yang terbentuk pada *weathering steel* menunjukkan rentang stoikiometri yang lebih luas dari pada magnetite di baja karbon, yang diakibatkan elemen paduan pada *weathering steel*.

Jadi, elemen tambahan, terutama kromium yang ada pada baja laterit sangat mempengaruhi ketahanan baja terhadap korosi, walaupun kandungan Cr yang sangat rendah pada baja laterit menyebabkan tidak terbentuknya lapisan Cr_2O_3 pada permukaan, tetapi kandungan Cr yang sedikit ini dapat membentuk lapisan karat yang partikelnya lebih halus dan rapat, sehingga dapat meningkatkan ketahanan korosi dari baja laterit walaupun tidak signifikan. Pengaruh elemen tambahan dibuktikan dari pengamatan struktur mikro (Gambar 4.5 sampai 4.7),

dimana baja karbon terlihat lebih terdegradasi atau terserang atau lebih terkorosi dibandingkan baja laterit.

5.3.3 Pengaruh Temperatur

Temperatur merupakan salah satu faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi laju korosi suatu material. Hasil penelitian ini menunjukkan, laju korosi baja karbon dan baja laterit meningkat dengan peningkatan temperatur (Gambar 5.5).

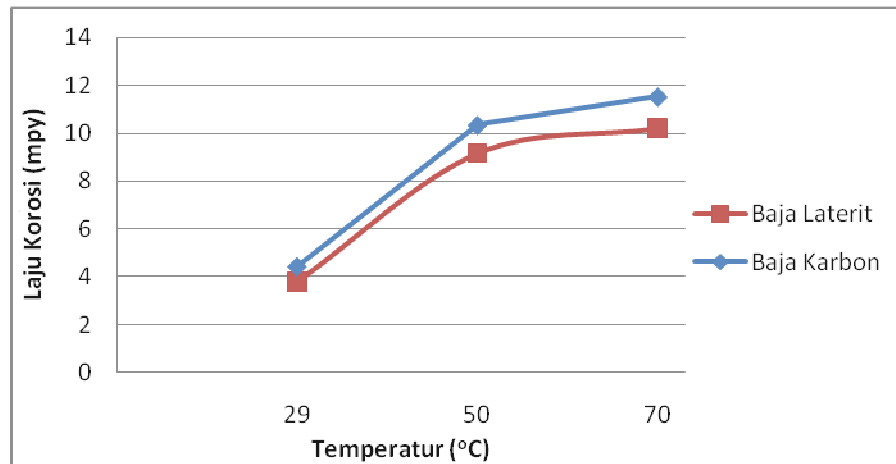
Literatur [19] menyebutkan laju korosi meningkat dengan meningkatnya temperatur. Begitu juga laju korosi baja pada air laut meningkat dengan peningkatan temperatur. [21]

Menurut Chawla Gupta [19] dari pertimbangan kinetika temperatur mempengaruhi koefisien difusi dari ion-ion, seperti ditunjukkan Persamaan 2.17 dimana meningkatnya temperatur dapat meningkatkan koefisien difusi [13]. Koefisien difusi menunjukkan kecepatan difusi atom-atom, dimana difusi merupakan transport massa dengan pergerakan atom atau ion-ion. Jadi semakin tinggi temperatur, pergerakan ion-ion atau atom semakin cepat dan kemungkinan untuk ion-ion saling bertemu dan bereaksi semakin cepat sehingga semakin cepat terkorosi.

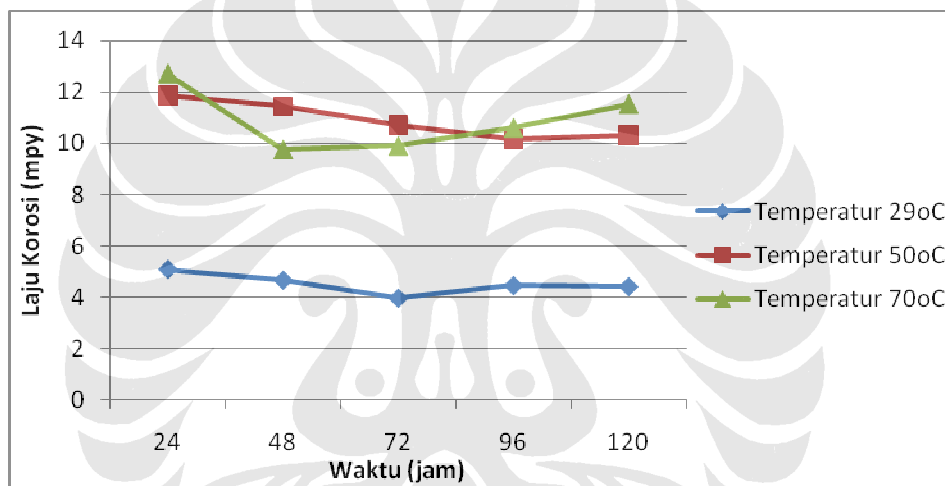
Selain itu temperatur juga mempengaruhi viskositas air, dimana viskositas air menurun dengan peningkatan temperatur [14]. Penurunan viskositas ini akan meningkatkan transport reaktan (oksigen terlarut) dan produk (ion Fe^{2+}) ke dan dari permukaan logam. Juga laju difusi ion Fe^{2+} melalui *scale ferric oxide* meningkat dengan peningkatan temperatur [14].

Dari pengamatan struktur mikro (Gambar 4.5 sampai 4.7) juga terlihat, baik pada baja karbon maupun baja laterit semakin bertambahnya temperatur permukaan baja yang terkorosi semakin dalam.

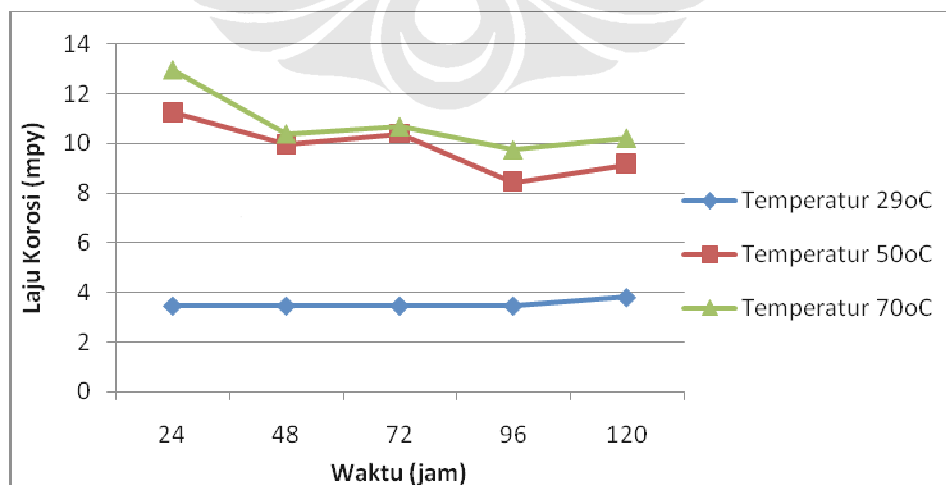
Walaupun laju korosi meningkat dengan peningkatan temperatur, tetapi pada Gambar 5.6 dan 5.7 terlihat laju korosi meningkat signifikan dari temperatur ruang ke temperatur 50°C tetapi hampir sama bahkan ada dimana laju korosi temperatur 50°C lebih tinggi sedikit dibandingkan temperatur 70°C .



Gambar 5.5 Pengaruh temperatur terhadap laju korosi baja karbon dan baja laterit dalam lingkungan air danau selama 5 hari perendaman.



Gambar 5.6 Pengaruh waktu perendaman terhadap laju korosi baja karbon pada temperatur 29°C, 50°C dan 70°C.



Gambar 5.7 Pengaruh waktu perendaman terhadap laju korosi baja laterite pada temperatur 29°C, 50°C dan 70°C.

Adanya sedikit perbedaan laju korosi pada temperatur 50°C dan 70°C disebabkan menurunnya konsentrasi oksigen dengan peningkatan temperatur (Gambar 2.7)[13]. Oksigen berperan mengkonsumsi elektron yang dihasilkan logam besi, sehingga reaksi korosi terjadi. Jadi, semakin sedikitnya konsentrasi oksigen walaupun laju difusi meningkat dapat membatasi laju korosi. Berdasarkan Gambar 2.9 pada sistem terbuka atau air bersentuhan dengan atmosfer atau udara laju korosi meningkat hingga maksimal pada temperatur sekitar 80°C kemudian menurun karena konsentrasi oksigen yang sangat rendah dalam air [4]. Jadi kemungkinan pada temperatur 70°C, konsentrasi oksigen rendah, sehingga laju korosinya hampir sama bahkan lebih rendah dari temperatur ruang dan 50°C

Selain mempengaruhi kelarutan oksigen temperatur juga mempengaruhi kelarutan kalsium karbonat (CaCO_3) di larutan dan jumlah endapan pada permukaan baja. Kelarutan kalsium karbonat menurun seiring dengan peningkatan temperatur [Gambar 2.10]. Karena semakin tidak larut, maka dengan penambahan temperatur semakin banyak kalsium karbonat yang mengendap membentuk lapisan pada permukaan baja, begitu juga dengan lapisan karat, dimana semakin tinggi temperatur semakin banyak lapisan karat yang terbentuk sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 4.8 - 4.13, sehingga dapat mencegah masuknya air dan oksigen lebih banyak.