

## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

### 4.1 Hasil Pengujian pH Tanah Setiap Daerah

Pengujian dilakukan secara uji *in-situ*, dimana *soil tester* TEW ditancapkan pada kedalaman dimana sampel ditanam yaitu 0,5 meter pada saat pengambilan sampel setelah penanaman. Pada pengujian sampel diambil tiga titik pengukuran.

**Tabel 4.1** Tingkat Keasaman Tanah Dilokasi Depok Dan Bekasi

Lokasi	pH	
	Bekasi	Depok
titik 1	6,7	6,9
titik 2	6,8	6,8
titik 3	5,9	7
pH Rata-rata	6,4666667	6,9

pH pada tanah juga merupakan hal penting karena mengandung [Nitrogen \(N\)](#), *Potassium* (K), dan *Phosphorus* (P) yang dibutuhkan tumbuhan untuk berkembang. Jika pH tanah di bawah 5,5 maka tumbuhan dapat membentuk Nitrogen dalam bentuk nitrat. Sedangkan *Phosphorus* ada pada pH tanah antara 6 dan 7. Dalam pengujian komposisi tanah, tidak terdapat unsur *phosphorous*.

Tanah yang bersifat basa cenderung memiliki *sodium*, *potassium*, *magnesium* dan *calcium*. Kedua zat terakhir cenderung membentuk endapan kalsium pada struktur sehingga bersifat protektif terhadap korosi. Besar pH dapat mempengaruhi larutnya produk korosi dan aktifitas mikrobiologi. Pada pengujian komposisi tanah adanya unsur Ca dapat menjadi pertimbangan sebagai pengaruh keasaman tanah dengan hasil komposisi kimia unsur Ca (kalsium) sebesar 1,8% di daerah depok dan di daerah bekasi 3,88%.

Tingkat keasaman tanah disebabkan oleh *leaching* mineral, dekomposisi tumbuhan (seperti pohon jarum), limbah industri, hujan asam, dan beberapa bentuk aktivitas mikrobiologi. Daerah bekasi adalah daerah industri yang memiliki

tingkat polusi yang cukup tinggi. Hal ini dapat menjadi pertimbangan bahwa daerah bekasi memiliki tingkat keasamaan yang lebih dibandingkan daerah depok.

Adapun pengaruh sulfur dapat diindikasikan dengan adanya bakteri *sulfate reduction* yang tinggal di daerah netral yaitu daerah anaerob. pH mendekati netral terjadi akibat adanya bakteri pereduksi Sulfat (SRB / Sulfat Reduction bacterial) yang merupakan bakteri anaerob.

Reaksinya sebagai berikut :



Adanya unsur S pada komposisi kimia tanah depok dengan pengujian XRD dapat menjadi pertimbangan bahwa tanah di depok ber-pH netral.

Berdasarkan literatur, pH tanah yang asam akan mengakibatkan korosifitas tanah meningkat sedangkan tanah yang basa mengakibatkan sampel akan menghasilkan *scale*. Terlihat digambar sebagai berikut dengan dimana pH tanah daerah bekasi masih tergolong moderate dan pH tanah daerah Depok tergolong netral.



**Gambar 4.1** Sampel Bare Steel Daerah Bekasi Evaluasi 21 Hari



**Gambar 4.2** Sampel Bare Steel Daerah Depok Evaluasi 21 Hari

**Tabel 4.2** Hubungan Tingkat Keasaman Dengan Laju Korosi

Daerah	Tingkat Keasaman(pH)	Laju Korosi Baja Bare (mpy)	Laju Korosi Baja Lapis Epoksi (mpy)
Depok	6,9	6,1773	<b>(0,0810)</b>
Bekasi	6,4666	5,7887	0,0017

(0,0810)= - 0,0810 → penambahan Berat

Pada baja lapis epoksi ditandai negatif karena adanya penambahan berat setelah penanaman, ini disebabkan karena adanya ion lain yang masuk kedalam *interface Coating* atau *Interface* antara baja dan *coating* disebabkan karena adanya *disbonding* setiap layer akibat tebal coating daerah depok lebih besar dibandingkan daerah bekasi(*soil stress*)

Korosi dalam tanah merupakan fenomena yang kompleks sehingga laju korosi tidak dapat dihubungkan dengan tingkat keasaman. Ada beberapa faktor yang saling mempengaruhi yaitu resistivitas, moisture content, unsur lain dan sebagainya.

#### 4.2 Hasil Pengujian Kandungan Air (*Moisture Content*) Tanah

Pengujian dilakukan secara In-situ dimana menggunakan soil tester TEW yang sama dengan pengujian pH, alat tersebut ditancapkan pada kedalaman 0,5 meter. Perbedaannya dengan pengukuran pH tanah adalah adalah pada saat penancapan soil tester, tombol yang ada di badan *soil tester* ditekan. Pengambilan dilakukan pada tiga titik.

**Tabel 4.3** Tingkat Moisture Content didaerah Depok dan Bekasi

Moisture Content (MC)		
Lokasi	Bekasi	Depok
titik 1	50	25
titik 2	50	38
titik 3	60	25
MC Rata-rata	53,3333	29,3333

Pada tanah, air dibutuhkan untuk ionisasi untuk oksidasi pada permukaan logam. Air juga dibutuhkan untuk ionisasi elektrolit tanah, untuk melengkapi sirkulasi aliran arus pada aktivitas korosi. Dengan demikian, air mempunyai pengaruh dalam terjadinya korosi pada tanah. Daerah dengan kelembaban tinggi dapat menyebabkan nilai resistifitas tanah suatu daerah akan kecil sehingga daerah itu memiliki tingkat korosi yang tinggi. Hal ini disebabkan uap air adalah salah satu pemicu atau media elektrolit dalam peristiwa korosi dan uap air dalam jumlah banyak berakibat daerah itu sangat rentan akan korosi. Fungsi uap air ( $H_2O$ ) adalah media elektrolit yang dapat mengalirkan elektron. Sudah dijelaskan diatas bahwa peristiwa korosi memerlukan media elektrolit dan uap air dengan jumlah banyak akan memperbanyak jumlah media elektrolitnya sehingga mempercepat korosi. Dengan jumlah uap air yang banyak maka semakin banyak pula elektron sehingga peristiwa korosi semakin sering. Dengan adanya air tanah dengan kondisi anaerob berubah menjadi anaerob memiliki tingkat laju korosi yang lebih tinggi dibandingkan tanah konstan dimana *moisture content*-nya stabil.

Air merupakan elektrolit yang memacu reaksi elektrokimia sehingga menyebabkan korosi. Perbedaan tersebut disebabkan oleh aliran air jenuh dan tidak jenuh pada tanah yang berhubungan dengan pergerakan air dari daerah yang basah menuju daerah yang kering. Kejenuhan air tergantung dari ukuran dan distribusi pori, tekstur, struktur, dan bahan organik. Tanah bekasi merupakan tanah anaerob sehingga dengan adanya hujan atau penyiraman tanah air dapat dengan mudah masuk kedalam, hal tersebut terjadi karena yang berpori besar. Seperti dijelaskan dengan adanya air tanah dengan kondisi anaerob berubah menjadi anaerob memiliki tingkat laju korosi yang lebih tinggi dibandingkan tanah konstan dimana *moisture content*-nya stabil.

**Tabel 4.4** Hubungan Kandungan Air Ditanah Terhadap Laju Korosi

Daerah	Kandungan air (%)	Laju Korosi Baja Bare (mpy)	Laju Korosi Baja Lapis Epoksi (mpy)
Depok	29,3333	6,1773	<b>(0,0810)</b>
Bekasi	53,3333	5,7887	0,0017

Pada pengujian diatas menunjukkan bahwa daerah bekasi dengan tingkat kelembaban yang tinggi adalah daerah yang paling korosif dibandingkan daerah depok, terlihat pada resistivity tanah bekasi lebih kecil akibat kelembaban yang tinggi pada daerah bekasi dibandingkan tanah depok.

Dengan jenis air tanah dan air hujan memiliki tingkat korosifitas yang berbeda yang dihubungkan dengan resistivitas, dimana air tanah memiliki resistivitas yang lebih kecil dibandingkan dengan air hujan. Oleh sebab itu, dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa hubungan laju korosi dengan *moisture content* tidak hanya dipengaruhi dari tekstur tanah namun sumber air itu sendiri. Daerah depok memiliki kadar air tanah yang sangat tinggi dibandingkan dengan daerah bekasi (daerah lingkungan industri yang memiliki tingkat polusi tanah yang cukup tinggi sehingga kebanyakan kondisi tanahnya kering).

#### 4.3 Hasil Pengujian Resistivitas Tanah Setiap Daerah

Pengujian resistivitas tanah merupakan variabel penentu dalam penentuan laju korosi sampel didalam tanah. Pengujian dilakukan secara in-situ dan laboratorium. Pengujian di depok menggunakan pengujian in-situ dengan metode *wenner four pin* dengan menggunakan mesin resistivitas AEMC 4610. Pengujian yang didapat adalah nilai nilai R (hambatan). Pengujian dilakukan dengan jarak 50cm dan 100 cm, dimana pengujian sudah mewakili kedalaman tanah yang digunakan untuk pengujian korosi yaitu 50cm.

**Tabel 4.5** Tingkat Resistivitas Tanah daerah Bekasi dan Depok

Tanah Bekasi (Soil Box)		Tanah Depok (In-Situ)		
		A (m)	R ( $\Omega$ )	$\rho$ ( $\Omega.m$ )
$\rho_1$ ( $\Omega.m$ )	10,90	1	15,6	98,3448
$\rho_2$ ( $\Omega.m$ )	9,51	0,5	28,4	178,352
$\rho_{rata-rata}$	10,205	$\rho_{rata-rata}$		138,348

Contoh perhitungan resistivitas metode In-situ untuk jarak antar pin (A) 100 cm adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\rho &= 2.\pi.A.R \\ &= 2.\pi.(1).(15,6)\end{aligned}$$

$$= 98,3448 \Omega.m$$

Nilai resistifitas paling dominan dipengaruhi oleh kandungan air baik dalam bentuk uap air atau cairan didalam tanah. Telah diketahui bahwa tingkat korosifitas tanah akan meningkat saat arus yang mengalir meningkat yang disebabkan nilai resistifitas dari tanah menurun. Berdasarkan tabel 2.1 terlihat bahwa daerah bekasi memiliki tingkat korosifitas sangat tinggi yaitu 10,205 ohm.m. Dengan tingginya kelembaban air, arus yang mengalir semakin tinggi sehingga resistivity tanah turun sehingga reaksi elektrokimia logam yang tertanam semakin tinggi sehingga reaksi korosi yaitu pembentukan  $Fe_2O_3$  semakin tinggi. Dengan reaksi berikut :



**Tabel 4.6** Hubungan Resistivitas Tanah Terhadap Laju Korosi

Daerah	Resistivitas Tanah (Ohm.M)	Laju Korosi Baja Bare (Mpy)	Laju Korosi Baja Lapis Epoksi (Mpy)
Depok	138,781	6,1773	<b>(0,0810)</b>
Bekasi	10,205	5,7887	0,0017

Garam terlarut sering ditemukan ditanah, dua tanah yang memiliki resistivitas yang sama akan memiliki karakteristik korosi yang berbeda[16], tergantung dari spesifik ion yang terkandung. Komponen terbesar yang mempercepat korosi adalah klorida, sulfat, dan keasaman pada tanah. Kalsium dan mangan membentuk oksida tidak terlarut dan presipitat bikarbonat, dimana dapat membentuk lapisan pelindung pada seluruh permukaan dan menurunkan korosi. Sedangkan klorida cenderung merusak pengendapan protektif dipermukaan sehingga menyebabkan pitting. Akan tetapi, konsentrasi yang tinggi akan bikarbonat yang ada ditanah cenderung memiliki resistivitas rendah tanpa menghasilkan peningkatan aktivitas korosi. Bikarbonat sendiri berasal dari respirasi organisme dalam tanah yang bereaksi dengan oksigen



sehingga didapat disimpulkan bahwa resistivitas yang rendah tidak memungkinkan laju korosi meningkat karena adanya lapisan protektif pada permukaan.

Pada baja lapis epoksi dengan resistivitas tinggi, maka kandungan air dalam tanah menyebabkan air dapat masuk dalam lapisan coating yang menyebabkan reaksi elektrokimia antara coating dan air serta oksigen ataupun interface dengan oksigen dan air. Sehingga mengakibatkannya berat kupon meningkat. Terlihat pada hasil Energy Dispersive X-ray Analysis , unsur Oksigen sangat meningkat serta performa dari kupon dengan kandungan air yang tinggi mangalami pengapuran. Mudahnya terekspos air kedalam lapisan diakibatkan juga oleh ketebalan pelapis,dimana kupon daerah depok memiliki tingkatan ketebalan lapisan lebih tinggi dibandingkan kupon daerah bekasi.



Daerah Depok Evaluasi III

Daerah Bekasi Evaluasi III

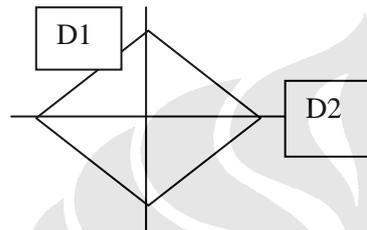
**Gambar 4.3** Perbandingan Perfoma Pelapis Disetiap Daerah Pada Evaluasi III

#### 4.4 Hasil Pengujian Sifat Mekanis dengan pengujian Vickers

Pengujian ini dilakukan setelah pengujian metalografi dengan metode vickers dimana dilakukan

Tabel 4.7 Kekerasan Awal *Bare Steel*

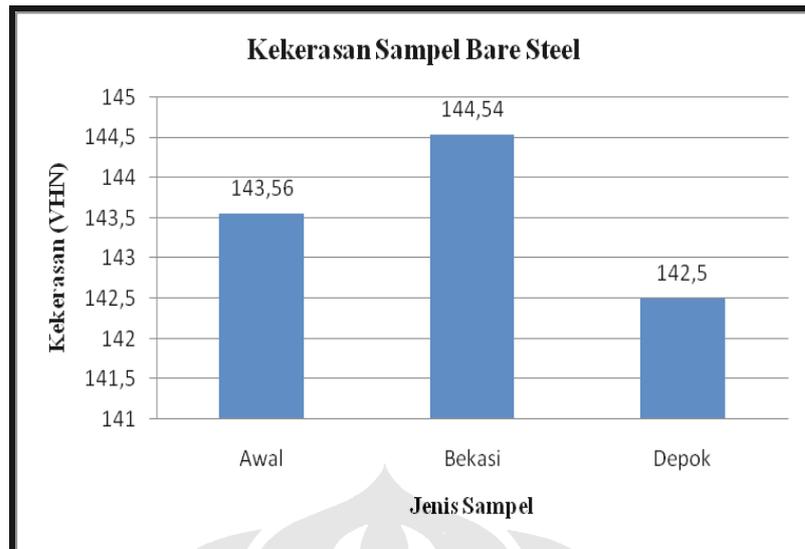
Penjejakan	D1	D2	VHN
Titik 1	357,2	353,5	146,9
Titik 2	368,9	367,3	136,9
Titik 3	359	356,3	145
Titik 4	362,9	356,9	145
Titik 5	357,4	360,2	144
VHN rata-rata			143,56

Tabel 4.8 Kekerasan Akhir *Bare Steel* Bekasi

Penjejakan	D1	D2	VHN
Titik 1	355,7	357,3	145,9
Titik 2	359	355	145,5
Titik 3	353,1	355	149,8
Titik 4	369,5	356,6	140,7
Titik 5	362,9	362,9	140,8
VHN rata-rata			144,54

Tabel 4.9 Kekerasan Akhir *Bare Steel* Depok

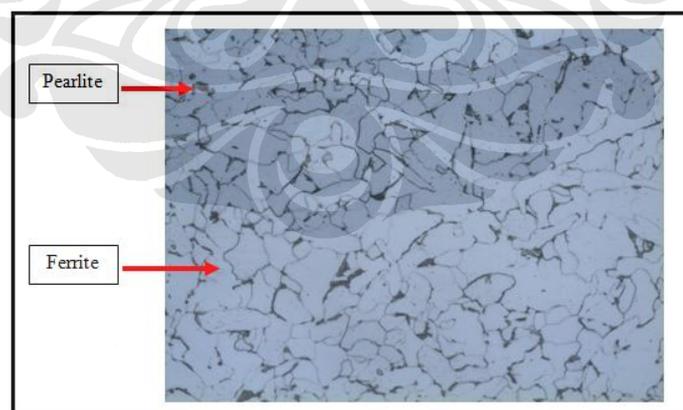
Penjejakan	D1	D2	VHN
Titik 1	369,5	365,4	137,3
Titik 2	365,4	361,5	140,4
Titik 3	351,7	364,8	144,5
Titik 4	356,1	354,9	146,7
Titik 5	363	355,6	143,6
VHN rata-rata			142,5



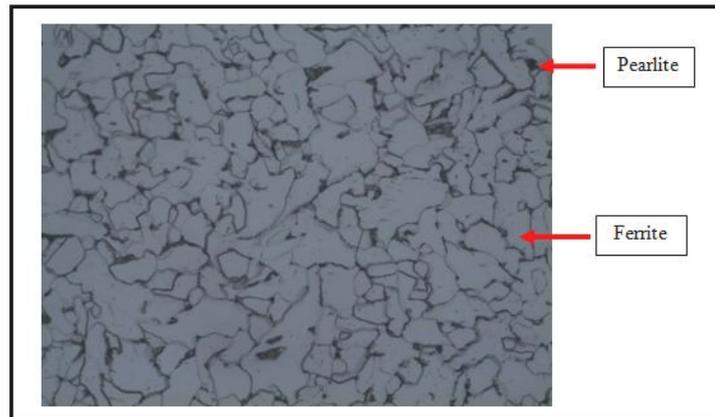
**Gambar 4.4** Grafik Tingkatan Kekerasan *Bare Steel* Sebelum Dan Sesudah Penanaman

Berdasarkan grafik batang diatas terlihat bahwa setelah penanaman kekerasan tidak berubah karena reaksi korosi hanya terjadi dipermukaan sehingga tidak akan mempengaruhi struktur atau nilai kekerasan.

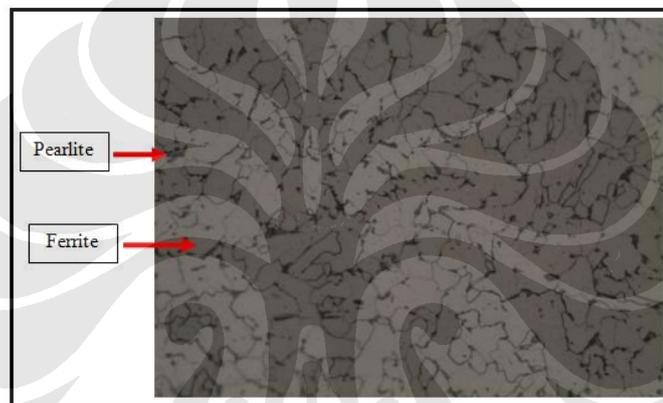
#### 4.5 Hasil pengamatan Struktur Mikro daerah Bekasi dan Depok



**Gambar 4.5** Mikrostruktur *Bare Steel* Awal (Nital 5%, 500x)



**Gambar 4.6** Mikrostruktur *Bare Steel* Bekasi Setelah Penanaman 9 minggu (Nital 5%, 500x)



**Gambar 4.7** Mikrostruktur *Bare Steel* Depok Setelah Penanaman 9 minggu (Nital 5%, 500x)

Dari pengamatan struktur mikro baja *Bare* terlihat fasa ferit dan perlit yang menunjukkan baja karbon rendah dan tidak adanya perubahan mikrostruktur yang signifikan karena kerusakan karena korosi hanya pada permukaan baja.

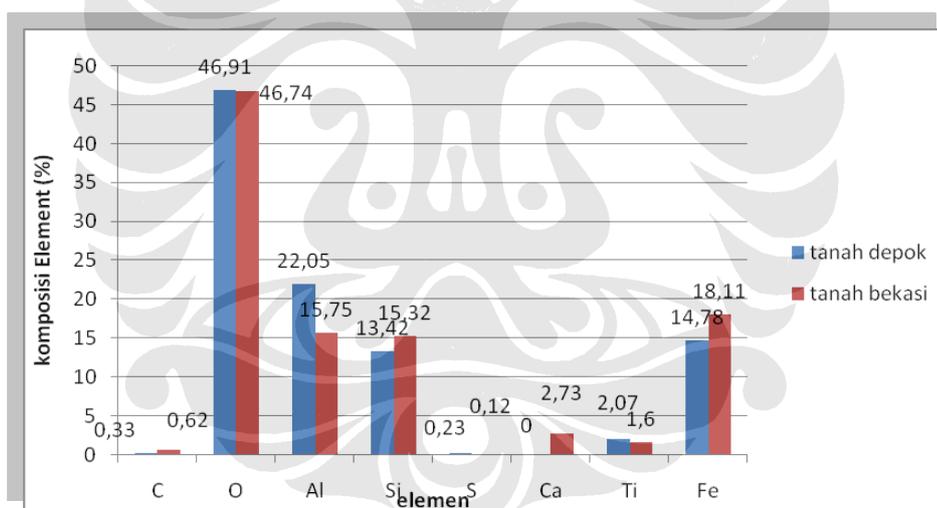
#### 4.6 Hasil pengujian Komposisi Kimia Tanah.

Pengujian menggunakan peralatan X-Ray Diffraction. Tanah yang dievaluasi adalah tanah pada kedalaman 0,5 meter yaitu kedalaman dimana sampel ditanam. Pengujian dilakukan langsung setelah pengambilan sampel dilokasi penanaman.

**Tabel 4.10** Komposisi Elemen Tanah Depok Dan Bekasi Dengan *Energy Dispersive X-Ray Analysis*

Elemen	Komposisi Elemen (%)	
	Tanah Bekasi	Tanah Depok
C	0,62	0,33
O	46,74	46,91
Al	15,75	22,05
Si	15,32	13,42
S	0,12*	0,23
Ca	2,73	0,21*
Ti	1,60	2,07
Fe	18,11	14,78

\* = <2 Sigma



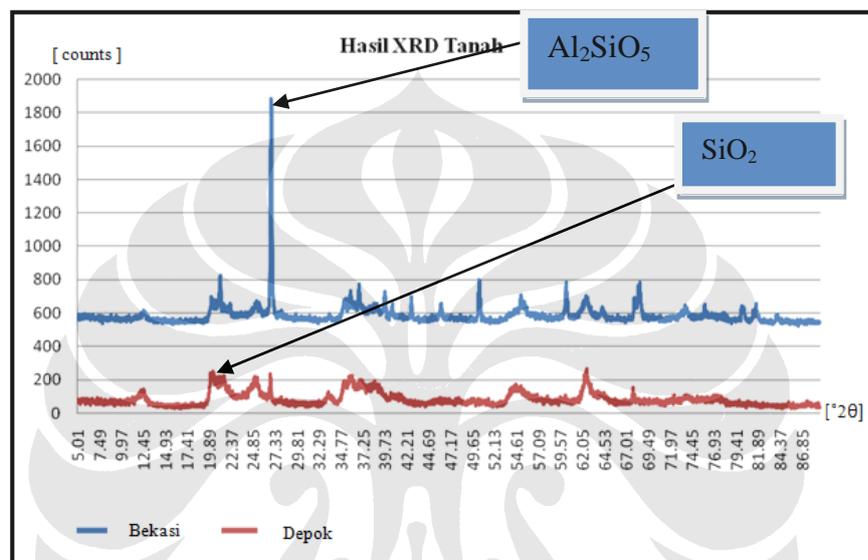
**Gambar 4.8** Perbandingan Komposisi Penyusun Tanah Depok Dan Tanah Bekasi

**Tabel 4.11** Komposisi Senyawa Penyusun Tanah Depok Dan Bekasi dengan *X-Ray Diffraction*

Tanah Bekasi			Tanah Depok		
°2θ	Rel. Int (%)	Formula	°2θ	Rel. Int (%)	Formula
12.525	6.7	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	12.425	68.9	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>
20.130	12.5	SiO <sub>2</sub>	20.020	100.0	SiO <sub>2</sub>

Tabel 4.11 (Sambungan)

26.785	64.5	$\text{Al}_2\text{SiO}_5$	26.795	72.2	$\text{Al}_2\text{SiO}_5$
35.850	9.0	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	35.850	53.6	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
38.7	4.4	$\text{Al}_2\text{SiO}_5$	38.680		$\text{Al}_2\text{SiO}_5$
50.385	10.2	$\text{CaCO}_3$	-	-	-
62.550	4.0	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	62.480		$\text{Fe}_2\text{O}_3$



**Gambar 4.9** Komposisi Senyawa Penyusun Tanah Daerah Depok Dan Bekasi Dengan *X-Ray Diffraction*

Dari pengamatan diatas terlihat bahwa tanah depok 100% tersusun dari  $\text{SiO}_2$  dan 72,2%  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  hal ini menunjukkan bahwa tanah depok adalah tanah clay(tanah liat) yang memiliki resistivitas rendah. Sedangkan tanah bekasi tersusun atas 64,5 %  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  dan 35,5% lainnya tersusun dari berbagai senyawa yang memiliki intensitas yang sangat kecil, hal ini menunjukkan tanah tersebut merupakan tanah campuran dengan resistivitas lebih besar dibandingkan tanah didepok.

#### 4.7 Hasil Pengujian Komposisi Kimia Produk Korosi

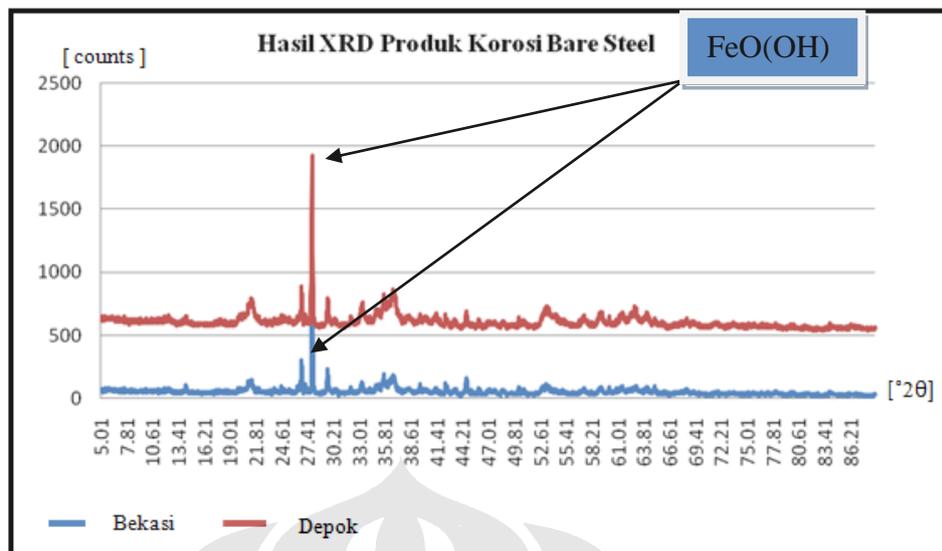
Pengujian dilakukan dengan *Energy Dispersive X-ray Analysis* dimana produk korosi yang berada dipermukaan diambil kemudian digerus hingga mencapai kehalusan tertentu.

**Tabel 4.12** Komposisi Kimia Produk Korosi Sampel *Bare Steel*

Elemen	Komposisi Elemen (%)	
	Produk Korosi Bekasi	Produk Korosi Depok
C	7,03	0,68
O	37,90	41,86
Al	5,55	12,27
Si	4,79	7,44
S	-	0,27
Ca	3,88	1,61
Fe	40,86	35,87

\* = <2 Sigma

Pada pengamatan visual pada baja *bare* terdapat seperti metal deposition. Organisme yang sering disebut sebagai penyebab perbedaan sel aerasi yaitu organisme yang dapat mengendapkan oksida besi dan mangan.[13]. Mangan oksida tersebut tidak terdeteksi pada produk korosi bare steel karena konsentrasi mangan sangat rendah yaitu 10-20 ppb(part per billion) dan tidak dapat dideteksi dengan EDS(Energy Dispersive X-ray Analysis)



**Gambar 4.10** Hasil XRD Produk Korosi Bare Steel

**Tabel 4.13** Komposisi Kimia Produk Korosi Bare Steel Daerah Bekasi Dan Depok

Produk Korosi Bare Steel Bekasi			Produk Korosi Bare Steel Depok		
°2θ	Rel. Int (%)	Formula	°2θ	Rel. Int (%)	Formula
20.955	8.8	SiO <sub>2</sub>	20.125	15.1	SiO <sub>2</sub>
21.300	10.1	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .H <sub>2</sub> O	21.455	36.8	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .H <sub>2</sub> O
26.765	8.3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .H <sub>2</sub> O	26.745	20.2	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .H <sub>2</sub> O
27.860	100	FeO(OH)	27.755	100	FeO(OH)
29.515	15.1	AlFeO <sub>3</sub>	29.590	13.9	AlFeO <sub>3</sub>
-	-	-	33.355	23.9	FeS
35.620	8.6	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	35.625	22.9	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
53.310	2.9	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .H <sub>2</sub> O.H <sub>2</sub> O	53.110	10.9	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .H <sub>2</sub> O.H <sub>2</sub> O

Dalam pengujian terlihat bahwa produk korosi yang ada dikedua daerah FeO(OH), hal ini disebabkan kandungan O serta Fe pada kedua daerah sangat tinggi dibandingkan elemen lain.

#### 4.8 Hasil Pengujian Komposisi Kimia *Bare Steel*

Pengujian komposisi kimia bare steel menggunakan optical emission spectrometer (OES). Dimana didapat komposisi yang berbeda dari spesifikasi yang diberikan sesuai dengan karakteristik kimia Baja ASTM A53 grade pada bab 2. Adapun komposisi kima dari sampel kupon (baja ASTM A53) sebagai berikut :

**Tabel 4.14** Komposisi Kimia Bare Steel Yang Diuji Korosi

C	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Si
0.020	1.61	0.011	0.009	0.018	< 0.005	< 0.005	< 0.015
Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	
0.024	0.035	0.023	< 0.002	<0.002	0.007	<0.02	

**Tabel 4.15** Komposisi Kimia Baja ASTM A53 Grade A

C	Mn	P	S	Cu <sup>A</sup>	Ni <sup>A</sup>	Cr <sup>A</sup>	Mo <sup>A</sup>	Va <sup>A</sup>
0.25%	0.95%	0.05%	0.045%	0.40%	0.40%	0.40%	0.15%	0.08%

Pada pengujian terlihat komposisi kimia baja yang diuji dan spesifikasi yang diberikan berbeda. Sehingga pengujian mekanis tidak dapat dibandingkan dengan hasil pengujian seperti pengujian kekerasan

#### 4.9 Hasil Pengukuran Laju Korosi

##### 4.9.1 Metode Kehilangan Berat (*Weight Loss*)

Pengujian korosi metode ini dilakukan selama sembilan minggu. Setiap tiga minggu, sampel-sampel diangkat untuk dianalisa tingkat kerusakannya. Kupon sampel ditanam di dalam tanah sedalam 50 cm pada daerah Bekasi dan Depok. Hasil yang didapat adalah berat akhir setelah masa penanaman yang kemudian dikonversikan ke penghitungan laju korosi.

Laju Korosi dihitung menggunakan mills(1 mils =0,0001-in) penetrasi pertahun (MPY) dengan rumus sebagai berikut :

Keterangan :

$$\text{MPY} = 534 \text{ W/DAT}$$

W= kehilangan berat (milligram)

A= Area (in<sup>2</sup>)

T= Time (jam)

D= densitas/massa jenis (g/cm<sup>3</sup>),

misalnya Baja karbon= 7,86 g/cm<sup>3</sup> ;

#### Contoh penghitungan densitas Epoksi part A dan Part B:

Epoxy campuran = (4 x part A +1 x part B)/5 = 1,6414 g/cm<sup>3</sup>

Dimana terdiri dari : part A = 1,795 g/cm<sup>3</sup>

part B = 1,031 g/cm<sup>3</sup>

#### Contoh Perhitungan luas area :

$A = 2 \times (p \times l) + 2 \times (l \times t) + 2 \times (p \times t) + (t \times d)$

Dimana: p= panjang kupon (in)

l= lebar kupon (in)

t=tebal kupon(in)

#### 4.9.1.1 Sampel Baja *Bare* di Daerah Bekasi Dan Depok

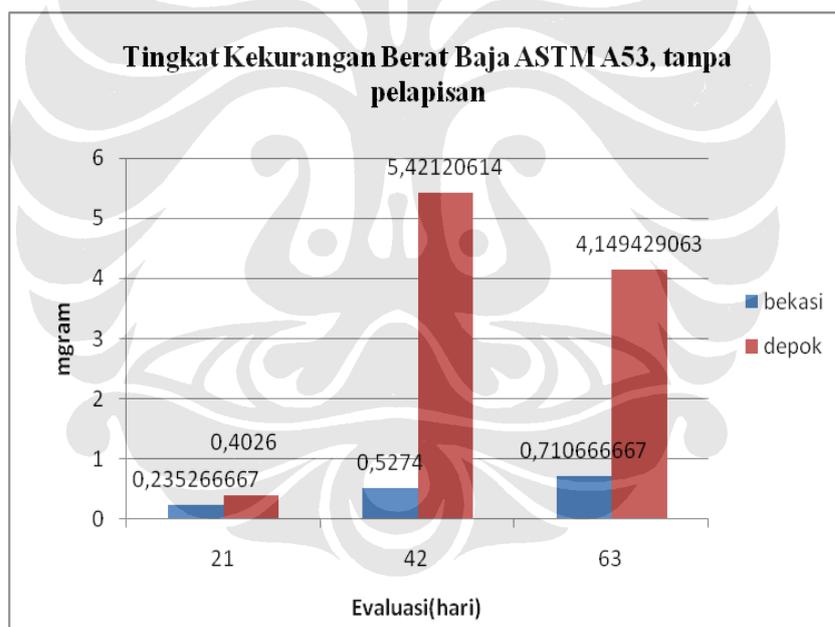
**Tabel 4.16** Tingkat Laju Korosi Dan Pengurangan Berat Baja bare Didaerah Depok Dan Bekasi

Lokasi & Evaluasi	$m_o$	$m_t$	$\Delta m$	CR	CR rata-rata
	(gr)	(gr)	(gr)	(mpy)	Per evaluasi
Bekasi I	54,2989	54,1344	0,1645	3,7978	5,5565
	55,6952	55,3621	0,3331	7,6210	
	48,415	48,2068	0,2082	5,2507	
Bekasi II	52,1802	51,6885	0,4917	5,8046	6,6399
	54,8769	54,3436	0,536	6,3668	
	50,3246	49,7701	0,5545	6,9922	
Bekasi III	52,1496	51,1095	1,0401	7,4976	5,4011
	49,6727	48,9148	0,7579	6,0018	
	51,78	51,466	0,334	2,7039	
<b>Rata-rata Laju Korosi daerah Bekasi</b>					5,7887

Tabel 4.16 (sambungan)

<b>Depok I</b>	52,6047	52,077	0,527	11,509	8,9612
	49,3743	49,0837	0,2906	6,8528	
	54,2008	53,8106	0,3902	8,5216	
<b>Depok II</b>	55,6312	55,1111	0,5201	5,8113	5,4212
	46,9017	46,4436	0,4581	5,6422	
	53,2784	52,8604	0,418	4,8099	
<b>Depok III</b>	52,1749	51,6304	0,5445	4,2445	4,1494
	52,5886	52,1035	0,4851	3,7504	
	55,7015	55,1083	0,5932	4,4533	
<b>Rata-rata Laju Korosi daerah Depok</b>					6,1773

$m_0$  = berat Awal;  $m_t$ =berat akhir; $\Delta t$ =perubahan berat; I=21 hari;II=42 hari; III=63 hari



**Gambar 4.11** Tingkat Kehilangan Berat Baja Tanpa Lapisan Daerah Depok Dan Bekasi

Dengan melihat tabel diatas nilai *corrosion rate* daerah depok adalah 6,17730838 mpy dan daerah bekasi adalah 5,7887672 mpy . Laju korosi disebabkan oleh beberapa faktor yang saling berkaitan dan merupakan fenomena

kompleks. Pengaruh pH, *moisture content*, jenis air dan resistivitas tanah menjadi variabel penting.

#### 4.9.1.2 Sampel Baja Lapis Epoksi di Daerah Depok Dan Bekasi

Penanaman sampel baja lapis epoksi dilakukan di lingkungan Departemen Metalurgi Dan Material Universitas Indonesia, Depok dan PT Bakrie Pipe Industries, Bekasi. Evaluasi kehilangan berat dilakukan setiap 21 hari, dengan total evaluasi 3 kali. Penanaman dilakukan pada kedalaman tanah sedalam 0,5 meter dengan jenis tanah yang berbeda di setiap daerah.

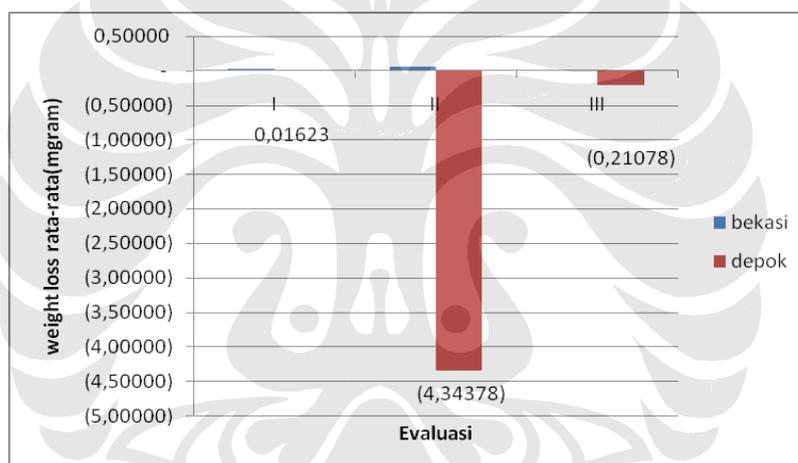
**Tabel 4.17** Tingkat Laju Korosi Dan Pengurangan Berat Baja Coated Epoxy Pada Daerah Bekasi Dan Depok

Lokasi & Evaluasi	$m_o$	$m_t$	$\Delta m$	CR	CR rata-rata
	gram	gram	mgram	mpy	mpy
Bekasi & I	53,6188	53,5770	0,04180	0,0044	0,0020
	58,3967	58,3970	(0,0003)	(0,0000)	
	61,3028	61,2924	0,01040	0,0010	
	55,6670	55,6402	0,02680	0,0029	
Bekasi & II	54,6252	54,5778	0,04740	0,0023	0,0029
	52,2778	52,2137	0,06410	0,0033	
	52,1781	52,1216	0,05650	0,0029	
	50,7320	50,6762	0,05580	0,0029	
Bekasi & III	60,1679	60,1636	0,00430	0,0002	0,0003
	58,7412	58,7305	0,01070	0,0004	
	58,4291	58,4166	0,01250	0,0005	
	56,3400	56,3353	0,00470	0,0002	
	<b>Rata-rata Corrosion rate (mpy)</b>				<b>0,0018</b>
Depok & I	49,5720	49,5782	(0,00620)	-0,0007	0,0018
	57,7321	57,6930	0,03910	0,0046	
	55,2603	55,2550	0,00530	0,0006	
	55,9164	55,8897	0,02670	0,0028	

Tabel 4.17 (sambungan)

Depok & II	45,4055	62,7715	(17,36600)	-0,9452	-0,2364
	56,8765	56,8814	(0,00490)	-0,0003	
	55,5053	55,5064	(0,00110)	(0,0001)	
	59,0987	59,1018	(0,00310)	-0,0002	
Depok & III	50,8886	56,2994	(5,41080)	-0,2038	-0,0085
	57,7110	56,9747	0,73630	0,0306	
	54,7350	54,4280	0,30700	0,0115	
	62,7874	59,2630	3,52440	0,1279	
	<b>Rata-rata Corrosion rate (mpy)</b>				<b>(0,0810)</b>

() = pertambahan berat; I=21 hari;II=42 hari; III=63 hari



(4,34378)= penambahan berat

**Gambar 4.12** Tingkat Pengurangan Berat Baja Lapis Epoksi Pada Daerah Bekasi Dan Depok

Laju korosi dipengaruhi beberapa faktor, sehingga untuk kasus korosi tanah merupakan fenomena yang kompleks dimana semua faktor saling keterkaitan. Penambahan berat kupon disebabkan adanya mekanisme *corrosion under insulation* dimana akibat adanya perubahan temperatur dari siang ke malam menyebabkan adanya mekanisme penguapan air yang terperangkap dalam sampel. Apabila air dapat menguap keluar, hal ini mendukung adanya unsur kimia lain masuk. Hal ini dapat dilihat pada pengujian Energy Dispersive X-ray Analysis yang menunjukkan bahwa tingkat element Oksigen pada daerah coating dan

interface meningkat terlihat perbedaan besarnya presentase oksigen sebelum dan sesudah penanaman.

#### 4.9.2 Metode Polarisasi Baja Tanpa Pelapis Epoksi

Penggunaan polarisasi guna untuk mendapatkan laju korosi aktual pada sampel. Sampel yang digunakan pada pengujian korosi adalah sampel logam tanpa coating non logam. Pengujian menggunakan 3 elektroda yaitu elektroda standar, working elektroda dan elektroda auxillary (Pb). ketiga elektroda memiliki fungsi masing-masing yaitu[1]:

a. Elektroda Kerja (*working electrode*)

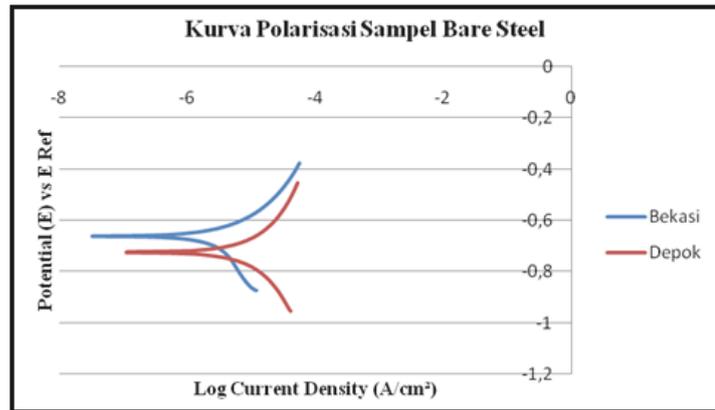
Yaitu elektroda yang sedang diuji. Dengan luas permukaan  $100\text{mm}^2$ , hasil pengukurannya dapat dikonversikan menjadi kerapatan arus yang akan digunakan sebagai perhitungan-perhitungan. Salah satu persiapan elektroda kerja yaitu, memasang sebuah spesimen kecil dalam resin pendingin. Spesimen harus memiliki hubungan listrik. Permukaan spesimen harus digerinda dan diampas seperti sampel pengujian metalografi.

b. Elektroda Pembantu (*Auxiliary Electrode*)

yaitu elektroda pengangkut arus dalam rangkaian yang terbentuk dalam pengujian. Elektroda ini tidak diperlukan untuk pengukuran potensial. Biasanya batang karbon yang dipakai, tetapi bahan lain dapat digunakan dengan syarat tidak menimbulkan kontaminasi ion-ion ke dalam elektrolit. Platina atau emas juga dapat digunakan, terutama bila semua komponen harus berukuran kecil.

c. Elektroda Acuan

Yaitu sebagai titik dasar pengacuan pengukuran-pengukuran potensial elektroda kerja. Arus yang mengalir melalui elektroda ini harus sekecil-kecilnya sehingga dapat diabaikan. Bila tidak demikian, elektroda ini akan ikut dalam reaksi sel dan potensialnya tidak lagi konstan.



**Gambar 4.13** Kurva Polarisasi Sampel *Bare Steel*

**Tabel 4.18** Data polarisasi Tafel

	Daerah Bekasi	Daerah Depok
Region	= -873.5 mV to -375.5 mV	-952.8 mV to -454.8 mV
E <sub>corr</sub>	-661.1 mV	-723.8 mV
I <sub>corr</sub>	1.175E-05 A/cm <sup>2</sup>	3.758E-05 A/cm <sup>2</sup>
Beta <sub>C</sub>	1836280458682600000.0000V/Decade	1.1195 V/Decade
Beta <sub>A</sub>	342.6 mV/Decade	886.6 mV/Decade
R <sub>p</sub>	1.267E+04 Ohm cm <sup>2</sup>	5.717E+03 Ohm cm <sup>2</sup>
CorrRate	5.368 mpy	18.955 mpy

Pengujian yang dilakukan hanya untuk baja tanpa pelapis polimer agar dapat mengantarkan arus listrik. Sehingga laju korosi yang didapat hanya untuk aja *bare steel* tidak dapat dibandingkan dengan baja lapis epoksi

#### 4.10 Hasil Pengukuran Pengurangan Tebal Coating Epoxy

Pengukuran menggunakan alat Coating thicknessmeter yang sudah dikalibrasikan dengan satu probe. Pengukuran ketebalan pelapis dengan pengambilan rata-rata, dimana pengambilan 3 kali dengan arah jam 3,6 dan 12.

Peningkatan atau penurunan ketebalan pelapis tidak membuat lapisan menggebung (*blister*) hingga evaluasi 63 hari.

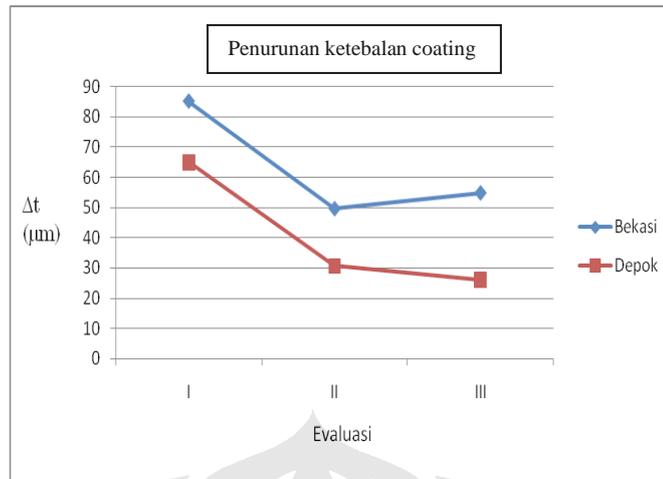
**Tabel 4. 19** Data Ketebalan Coating Sebelum Dan Sesudah Penanaman

Lokasi Dan Evaluasi	t awal ( $\mu\text{m}$ )	t akhir( $\mu\text{m}$ )	$\Delta t(\mu\text{m})$	Rata-rata ( $\mu\text{m}$ )
Bekasi & I	191,6667	162,6667	29	20
	233,3333	220	13,3333	
	307	289,3333	17,6667	
Bekasi & II	246,6667	223,3333	23,3333	18,8889
	282	264,6667	17,33333	
	216	200	16	
Bekasi & III	232	208,6667	23,3333	28,7778
	271,3333	240,6667	30,6667	
	220,6667	188,3333	32,3333	

$\Delta t(\mu\text{m}) = \text{selisih tebal coating}$

Lokasi Dan Evaluasi	t awal ( $\mu\text{m}$ )	t akhir( $\mu\text{m}$ )	$\Delta t(\mu\text{m})$	Rata-rata ( $\mu\text{m}$ )
Depok & I	516	491,3333	24,6667	65,1111
	540	474,6667	65,3333	
	631,6667	526,3333	105,3333	
Depok & II	606,6667	533	73,6667	30,6667
	503	478	25	
	541,6667	548,3333	-6,6667	
Depok & III	497,3333	460,6667	36,6667	26
	452	471,3333	-19,3333	
	494	433,3333	60,6667	

$\Delta t(\mu\text{m}) = \text{selisih tebal coating}$



**Gambar 4.13** Grafik Pengurangan Tebal Coating Daerah Depok Dan Bekasi

Peningkatan ketebalan coating terjadi pada daerah depok akibat tebalnya lapisan yang menyebabkan daya ikat antar pelapis atau *base metal* dengan *coating* menyebabkan mudahnya difusi air dan ion kimia lainnya yang menyebabkan adanya korosi dibawah insulasi.

#### **4.11 Hasil Pengujian EDS komposisi unsur kimia *Coated Epoxy steel* Sebelum dan Sesudah Penanaman.**

Pengujian dilakukan dengan pengujian Energy Dispersive X-ray Analysis menggunakan sampel padat dimana pemotongan dilakukan melintang menggunakan abrasive cutting tool dengan indentor diamond dengan *rotation per minute* tinggi namun gaya dorong yang diberikan rendah, sehingga terlihat bagian permukaan base metal dan coating yang cukup halus dan rata. Setelah pemotongan sampel diampelas halus kemudian dipoles. Penembakan dilakukan pada tiga spot yaitu base metal, interface dan pada pelapisnya.

**Tabel 4.20** Perbandingan Komposisi Element Didaerah Interface Disetiap Daerah

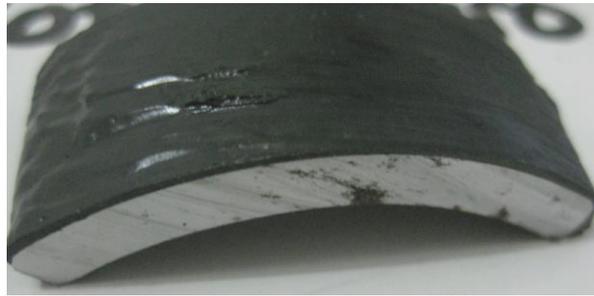
Tanpa penanaman		Bekasi III		Depok III	
<i>Element</i>	<i>Element</i>	<i>Element</i>	<i>Element</i>	<i>Element</i>	<i>Element</i>
	%		%		%
C	0,51	C	18,73	C	22,42
O	0,5	O	59,37	O	45,76
Al	0,23*	Al	3	Al	0,39*
Si	0,02*	Si	15,3	Si	2,59
S	0,17*	S	1,04	S	1,71
Ca	0,19*	Ca	2,56	Ca	9,26
Fe	98,37	Fe	-	Ti	1,28*
Total	100	Total	100	Fe	16,6
				Total	100

Terlihat bahwa kandungan elemen oksigen yang meningkat setelah penanaman. Kandungan Fe yang menurun drastis. Hal ini disebabkan masuknya O<sub>2</sub> kedalam Interface diakibatkan daya adhesi yang kurang baik.

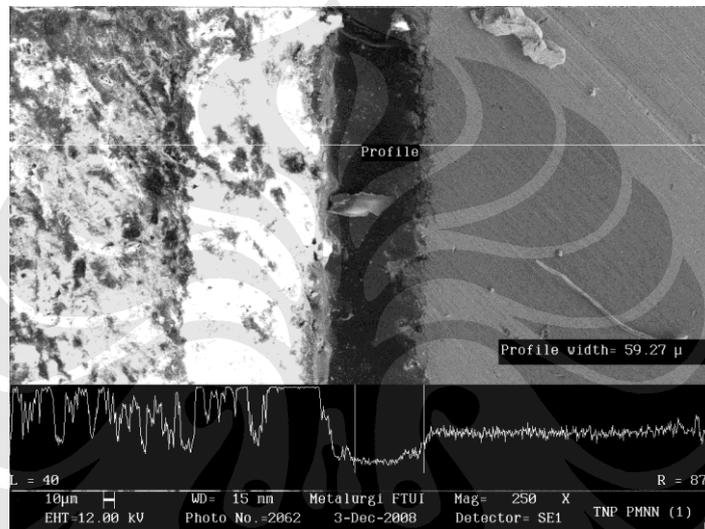
Pigmen [14] merupakan bagian dari komponen cat. Secara garis besar pigmen terbagi atas 3 yaitu pigmen yang bersifat inert (tidak bereaksi dengan lingkungan contoh: TiO<sub>2</sub> dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), pigment yang bersifat reaktif (memberikan pengaruh inhibitor dimana lapisan cat akan memberikan peluang kepada air untuk melewati pori-porinya agar dapat melarutkan sebagian kecil campuran karat dan bereaksi terhadap korosi/perindungan katodik contoh: Serbuk Zn, red lead, kalsium plumbat, dan beberapa senyawa kromat) dan pigmen yang bersifat racun (mencegah fouling/tumbuhan atau hewan yang hidup menempel pada struktur contoh: Cu<sub>2</sub>O dan HgO).

Dari tabel 4.20 dimana Fe menurun dan Ca meningkat dan O (H<sub>2</sub>O) meningkat dapat diperkirakan bahwa pelapis menggunakan pigmen yang bersifat reaktif

#### 4.12 Hasil Pengamatan Performa Coating Epoxy Berdasarkan Sifat Fisika Dan Kimianya.



**Gambar 4.14** Penampang Melintang Untuk Foto Makro



**Gambar 4.15** makrostruktur baja lapis epoksi tanpa penanaman perbesaran 250x

Terlihat pada gambar 4.15 bahwa jarak antara base metal dan pelapis ini menunjukkan bahwa daya ikat pelapis epoksi terhadap *base metal*. Untuk melihat kemampuan lekat dari pelapis (adesi) dan kegagalan yang berhubungan dipengaruhi oleh kesetimbangan antara fasa-fasa yang ada didalamnya, yaitu padatan, zat cair (pelapis) dan lingkungan (udara). Formulasi semacam ini memudahkan kita untuk menilai apakah suatu kontak permukaan dapat terjadi atau tidak antara berbagai fasa. Kontak permukaan antara dua fasa padat akan terjadi apabila salah satu fasa padat tersebut dalam keadaan cair sanggup untuk membasahi permukaan fasa padat yang lain, berarti antara dua permukaan fasa padat akan terjadi ikatan tarik-menarik.

Adanya jarak ikat ini menyebabkan terjadinya korosi dibawah isolasi. Adapun hal ini disebabkan karena persiapan permukaan yang kurang sempurna

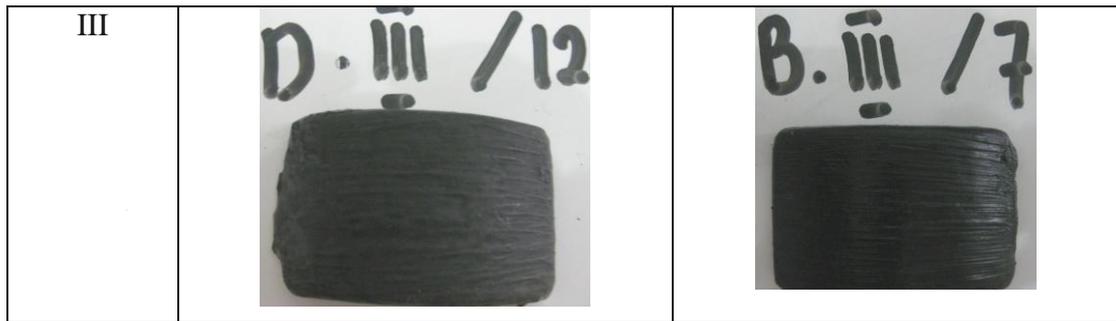
yang menyebabkan adanya daerah layer perbatasan antara pelapis dengan *base metal* dan pelapis dengan pelapis dimana air terperangkap. Seiring dengan peningkatan suhu didalam tanah (siang ke malam) air tersebut keluar sehingga memungkinkan adanya serangan kimia yang berasal dari sekitar berupa oksigen, bakteri dan kandungan unsur yang ada didalam tanah.

#### 4.13 Hasil Pengamatan Derajat Kerusakan Coating

Berdasarkan ASTM D610. Derajat kerusakan yang didapat tidak berupa blitering ataupun karat. Derajat kerusakan cat berupa degradasi warna pelapis dari gloss menjadi agak keabu-abuan. Hal ini diakibatkan karena tingginya kandungan air yang terperangkap akibat ketebalan yang tinggi.

**Tabel 4.21** Perbandingan Derajat Kerusakan Pelapisan Daerah Depok dan Daerah Bekasi di Setiap Evaluasi

Evaluasi	Daerah Depok	Daerah Bekasi
I		
II		



Pada tabel 4.21 terlihat penurunan mutu dari performa pelapis, yaitu adanya degradasi pelapis pada sampel didaerah depok. hal ini terlihat dengan warna yang agak keputihan disebabkan sinar ultra violet, kelembaban yang tinggi, oksigen dan zat kimia. Lapisan ini terdiri dari produk degradasi dari pengikat, residu pigmen dan kontaminasi dari luar. Jika pengapuran ini terjadi, pertimbangan utama adalah kecepatan pengikisan karena pengapuran. Ketebalan lapisan yang cukup harus diaplikasikan untuk memberikan ketahanan yang ekonomis, jika terjadi pengapuran yang besar maka pelapisan dilakukan kembali.