

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 PERCOBAAN AWAL pada TANAH LEMPUNG KAOLINIT

Penelitian awal tentang remediasi elektrokinetik ini menggunakan tanah lempung kaolinit dari godean sebanyak 30 kg, kemudian diberi kontaminan Cr 30 gram sehingga kandungan Cr dalam tanah kaolinit sebesar 198 $\mu\text{g/g}$ (ppm) (Lampiran 1), dan pH awal 6,9 cenderung dalam kondisi asam. Harapan dilakukannya studi awal ini adalah untuk mengurangi kesalahan dalam penelitian yang berikutnya, yaitu remediasi elektrokinetik dengan limbah *sludge* dari penyamakan kulit yang mengandung logam khrom.

4.1.1 Hasil Pengukuran pH pada Area Efektif dan Area Inefektif

Pada penelitian ini, titik sampel tanah di bagi menjadi 3 area, area I, II dan III yang merupakan area efektif, yaitu:

- area I : terletak 6 cm dari katoda
- area II : terletak 4 cm dari katoda
- area III : terletak 2 cm dari katoda.

Dalam penelitian awal pH yang diukur tidak sesuai dengan titik pengambilan sampel, pH yang diukur hanya terdiri dari pH dalam area efektif dan di area inefektif.

Penelitian remediasi elektrokinetik dengan tipe konfigurasi elektroda 2-D *hexagonal* ini menggunakan elektroda karbon dari baterai serta tegangan listrik 38 V dengan arus DC, penelitian ini dilakukan selama 12 jam dengan interval waktu 3 jam untuk diambil sampel dan dianalisis. Hasil pengukuran pH dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 di bawah ini :

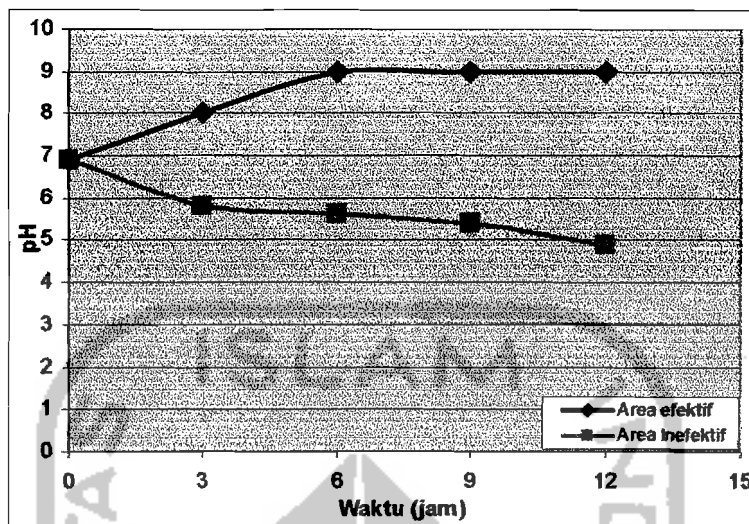
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran pH pada Area Efektif

Waktu (jam)	pH
0	6,9
3	8
6	9
9	9
12	9

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran pH pada Area Inefektif

Waktu (jam)	pH
0	6,9
3	5,8
6	5,6
9	5,4
12	4,9

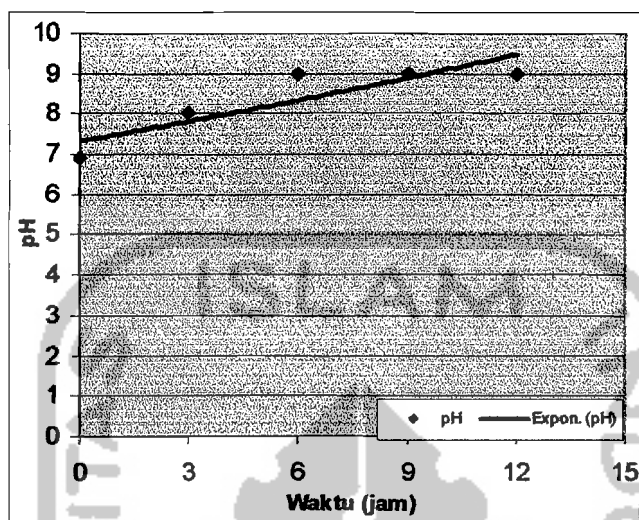
Dari hasil pengukuran pH tersebut dapat dilihat pada area efektif terjadi kenaikan sedangkan pada area inefektif terjadi penurunan pH. Pada waktu ke-0 pH awal di area efektif dan area inefektif sebesar 6,9 masih dalam kondisi asam. Sedangkan pada waktu ke-3 pada area efektif terjadi peningkatan sebesar 8 dan area inefektif terjadi penurunan sebesar 5,8. Pengukuran pada waktu ke-6 di area efektif dan area inefektif kondisi pH sama dengan waktu ke-3 yaitu mengalami kenaikan dan penurunan pH. Pada waktu ke-12 pH yang dihasilkan di area efektif sebesar 9 terjadi peningkatan, sedangkan pada area inefektif sebesar 4,9 cenderung dalam kondisi asam serta terjadi penurunan yang sangat drastis. Dari hasil pengukuran tersebut didapatkan grafik hubungan antara waktu dan pH dapat dilihat pada Gambar 4.1.



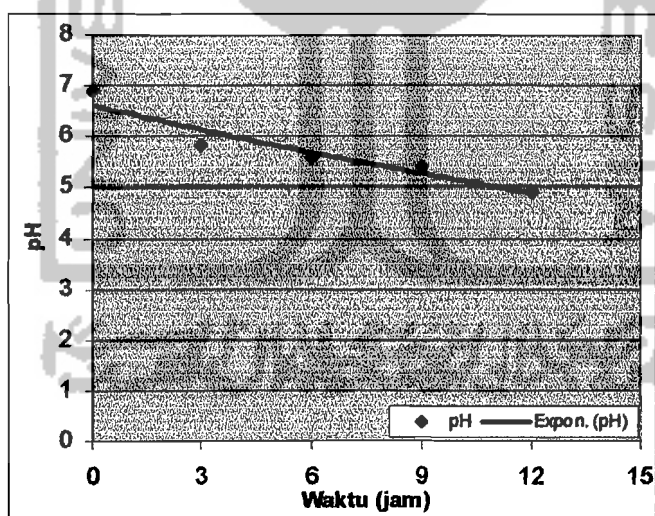
Gambar 4.1 Hubungan pH terhadap waktu pada area efektif dan area inefektif.

Dari grafik diatas dapat terlihat terjadi perubahan pH di area efektif dan area inefektif. Dari perubahan pH tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut, bahwa telah terjadi reaksi-reaksi kimia pada area efektif dan area inefektif. Pada penelitian awal pH di area efektif dalam kondisi basa ini dikarenakan jarak antara anoda dan katoda terlalu dekat dan kondisi tanahnya tidak homogen.

Pada penelitian ini yang mempengaruhi perubahan pH adalah area elektroda (anoda dan katoda) dan waktu juga sangat mempengaruhi kenaikan serta penurunan pH. Berikut ini adalah grafik-grafik hubungan pH dan waktu pada area efektif dan inefektif berdasarkan data dari Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 yang disajikan pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3.



Gambar 4.2 Hubungan pH terhadap waktu pada area efektif



Gambar 4.3 Hubungan pH terhadap waktu pada area inefektif .

Dari **Gambar 4.2** dan **Gambar 4.3** di atas dapat dilihat dengan jelas fenomena atau *trend* yang terjadi ditunjukkan dengan garis *lurus*. Dalam

penelitian ini memang diharapkan terjadi perubahan pH pada area efektif seperti pada Gambar 4.2 pH mengalami kenaikan yang sangat tajam ini karena pada kutub negatif terjadi pengurangan (reduksi) sehingga tanah dalam kondisi basa, tidak hanya itu saja faktor jarak juga mempengaruhi proses remediasi.

Dari garis *trend* pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 di atas didapatkan persamaan yaitu pada garis *trend* untuk area efektif dan area inefektif adalah $y = ax + b$. Penelitian awal ini pH yang dihasilkan telah sesuai dengan penelitian terdahulu tetapi terdapat kekurangan karena pH yang diukur hanya di area efektif tidak dibagi menjadi 3 area ini dikarenakan jarak yang terlalu dekat antara anoda dan katoda sehingga menghasilkan nilai pH yang sama yaitu dalam keadaan basa.

4.1.2 Hasil Analisis Konsentrasi Cr pada Area Efektif.

Krom merupakan salah satu logam berat yang keberadaannya di lingkungan membahayakan bagi manusia. Salah satunya adalah keberadaan krom di dalam tanah. Berdasarkan atas efek negatif tersebut maka diperlukan penanganan yang serius untuk menghilangkan logam berat krom. Penelitian awal tentang remediasi elektrokinetik ini, menggunakan krom sebagai kontaminan yang kemudian dicampur ke dalam tanah kaolinit yang berasal dari godean. Pada tahap awal, keberadaan logam krom yang terdapat didalam

tanah sebesar 12,676 $\mu\text{g/g}$ (Lampiran 4). Krom ini merupakan krom bervalensi 3 (Cr^{3+}). Berikut ini disajikan konsentrasi krom pada saat proses remediasi elektrokinetik berlangsung pada Tabel 4.3 sampai Tabel 4.5.

Tabel 4.3 Hasil pengukuran Cr pada area I.

Waktu ke- (jam)	Titik sampling	Hasil Pengukuran Cr (mg/kg)			Cr rata-rata (mg/kg)
		I	II	III	
0	Awal	11,725	13,541	12,763	12,676
3	Area I 3 jam	11,447	9,375	10,929	10,584
6	Area I 6 jam	10,485	9,838	11,132	10,485
9	Area I 9 jam	14,296	15,591	16,886	15,591
12	Area I 12 jam	14,826	14,567	15,863	15,085

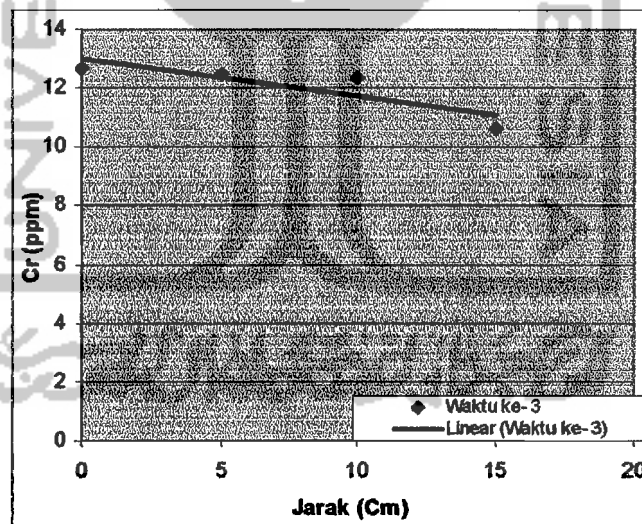
Tabel 4.4 Hasil pengukuran Cr pada area II

Waktu ke- (jam)	Titik sampling	Hasil Pengukuran Cr (mg/kg)			Cr rata-rata (mg/kg)
		I	II	III	
0	Awal	11,725	13,541	12,763	12,676
3	Area II 3 jam	12,763	11,466	12,763	12,331
6	Area II 6 jam	14,319	13,281	14,838	14,146
9	Area II 9 jam	9,12	8,602	9,638	9,120
12	Area II 12 jam	12,2	11,425	11,683	11,769

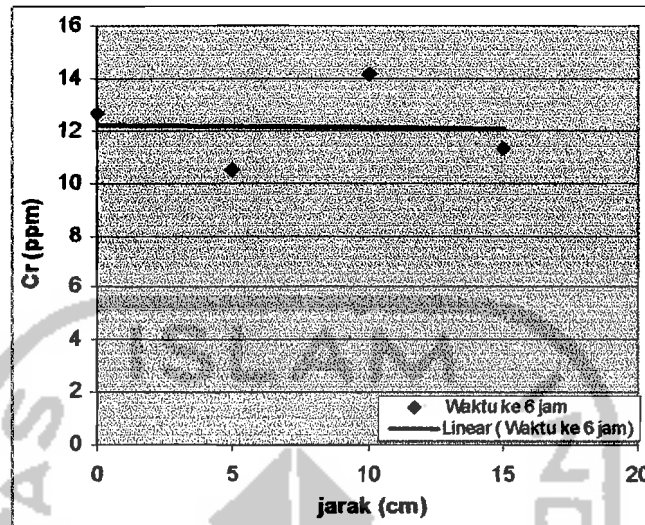
Tabel 4.5 Hasil pengukuran Cr pada area III

Waktu ke-(jam)	Titik sampling	Hasil Pengukuran Cr			Cr rata-rata (mg/kg)
		I	II	III	
0	Awal	11,725	13,541	12,763	12,676
3	Area III 3 jam	12,483	13,519	11,447	12,483
6	Area III 6 jam	12,503	10,687	10,687	11,292
9	Area III 9 jam	9,387	8,868	10,424	9,560
12	Area III 12 jam	22,092	22,611	21,314	22,006

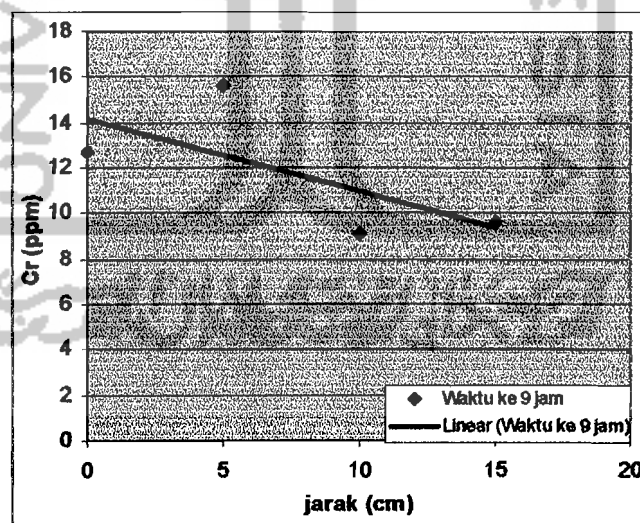
Dari data hasil pengukuran krom tersebut (Tabel 4.3 sampai Tabel 4.5) dapat dibuat grafik hubungan krom dengan jarak untuk setiap interval 3 jam yang dapat dilihat pada Gambar 4.4 sampai Gambar 4.7.



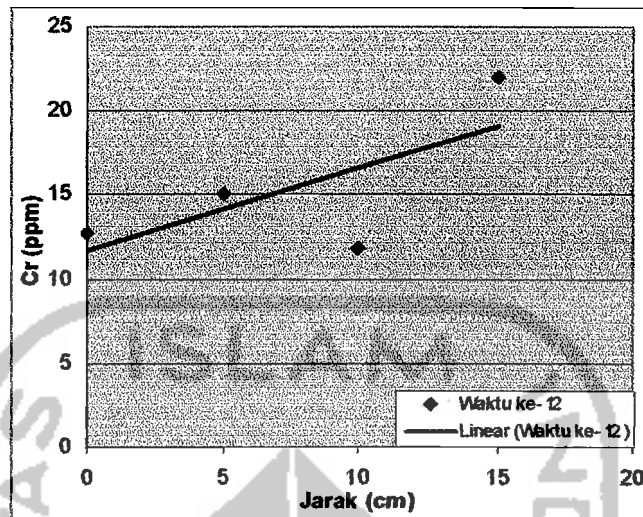
Gambar 4.4 Hubungan antara konsentrasi krom dengan jarak pada waktu ke-3 jam



Gambar 4.5 Hubungan antara konsentrasi krom dengan jarak pada waktu ke- 6 jam



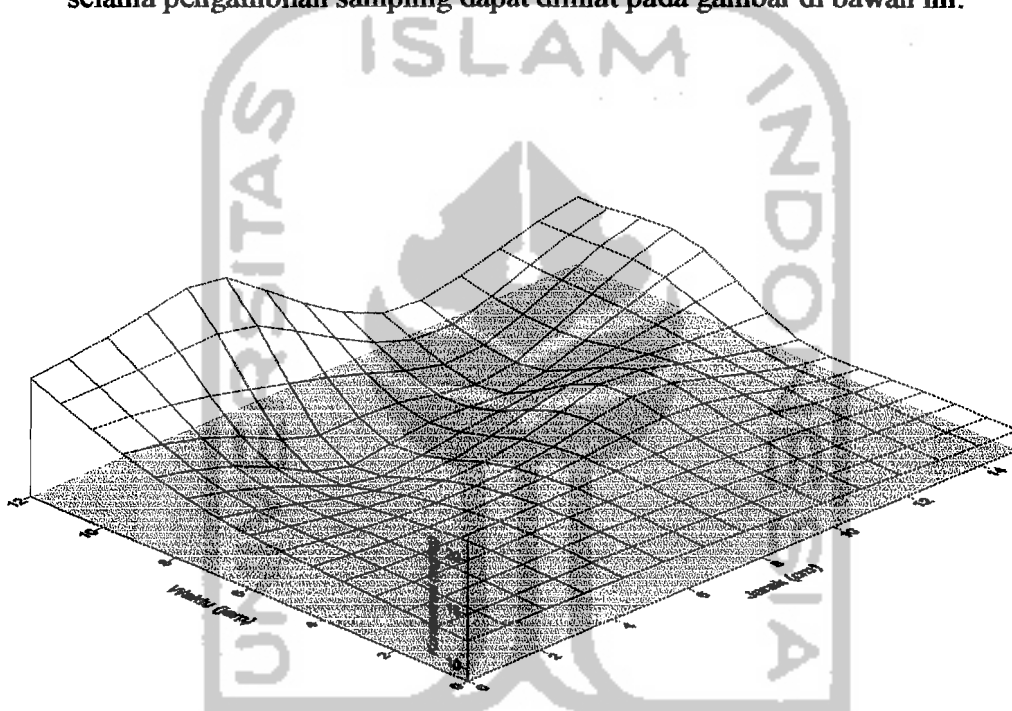
Gambar 4.6 Hubungan antara konsentrasi krom dengan jarak pada waktu ke- 9 jam



Gambar 4.7 Hubungan antara konsentrasi krom dengan jarak pada waktu ke- 12 jam

Dari data hasil pengukuran konsentrasi krom tersebut terlihat bahwa konsentrasi awal sebelum proses remediasi elektrokinetik sebesar 12,676 mg/kg. Pada 3 jam pertama konsentrasi Cr pada masing-masing area mengalami penurunan yaitu untuk area I konsentrasi Cr 10,584 mg/kg, konsentrasi Cr pada area II sebesar 12,331 mg/kg dan pada area III konsentrasi Cr sebesar 12,483 mg/kg. Pada pengambilan sampel ke 6 jam, konsentrasi Cr yang terdapat di dalam tanah juga mengalami penurunan kecuali pada area II, yang memiliki konsentrasi krom sebesar 14,146 mg/kg. Hal serupa juga terjadi kenaikan pada pengambilan sampel ke 9 jam, yaitu pada area I yang memiliki konsentrasi krom sebesar 15,591 mg/kg. Untuk konsentrasi krom pada waktu ke 12 jam, kenaikan terjadi pada area II dan III yaitu konsentrasinya menjadi 11,769 mg/kg dan 22,006 mg/kg.

Terlihat pada **Gambar 4.4** sampai **Gambar 4.7** konsentrasi krom pada tanah mengalami penurunan yang terlihat melalui *trend* garis, sedangkan pada **Gambar 4.7** *trend* yang terlihat adalah kebalikannya atau mengalami kenaikan. Untuk lebih memperjelas perbedaan antara masing-masing area selama pengambilan sampling dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.8 Hubungan antara konsentrasi krom, waktu dan jarak

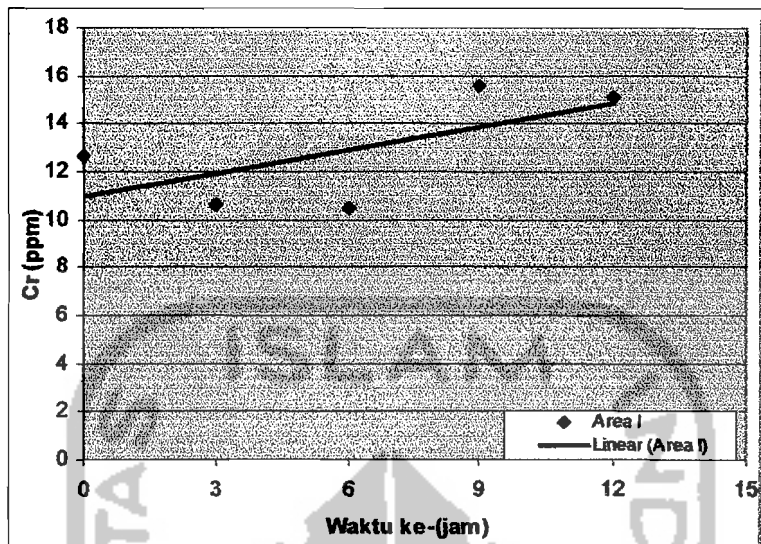
Dari **Gambar 4.8** terlihat adanya perbedaan konsentrasi pada masing-masing jarak untuk setiap waktunya. Penurunan yang terjadi pada waktu 3 jam, 9 jam dan 12 jam disebabkan karena adanya sebuah proses yang dikenal dengan nama proses migrasi ion. Migrasi ion inilah yang menyebabkan penurunan konsentrasi logam khrom pada setiap area karena di dalam migrasi

ion, ion-ion krom akan berpindah menuju katoda dan pada katoda terjadi reduksi ion –ion logam menjadi logamnya sendiri, yaitu Cr^0 . Adapun reaksi reduksi pada katoda adalah :

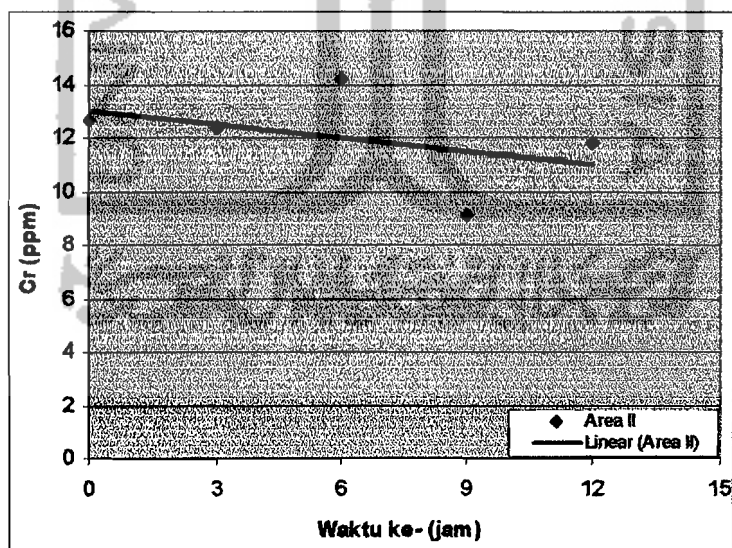


Menurut Alshwabkeh (1999) bahwa adanya penurunan konsentrasi ion-ion karena telah terjadi proses *electromigration* atau *ion migration* di bawah pengaruh medan listrik. Arus listrik yang terjadi pada tanah mengakibatkan migrasi ion-ion bermuatan menuju ke arah elektroda kebalikannya. Sebagai hasil dari adanya migrasi ion maka kation-kation dikumpulkan di katoda dan anio-anion di kutub positif (anoda).

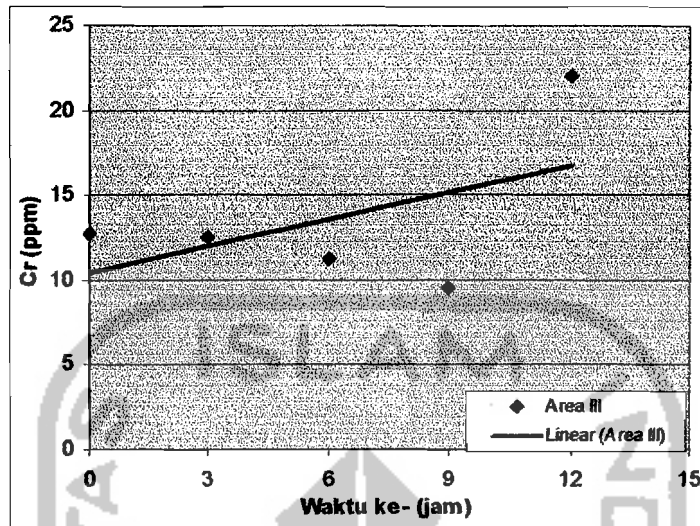
Fenomena yang terlihat pada konsentrasi krom di waktu ke-12 jam cenderung mengalami kenaikan disebabkan karena kemungkinan keadaan pada tanah yang diambil tidak homogen dan kemungkinan lain karena terdapatnya logam-logam lain yang mengalami reduksi lebih besar dibandingkan dengan krom. Dari data-data hasil uji krom juga dapat dibuat grafik antara konsentrasi dengan waktu pada masing-masing-masing area yang disajikan pada Gambar 4.9 sampai Gambar 4.11.



Gambar 4.9 Hubungan antara konsentrasi dengan waktu pada area I

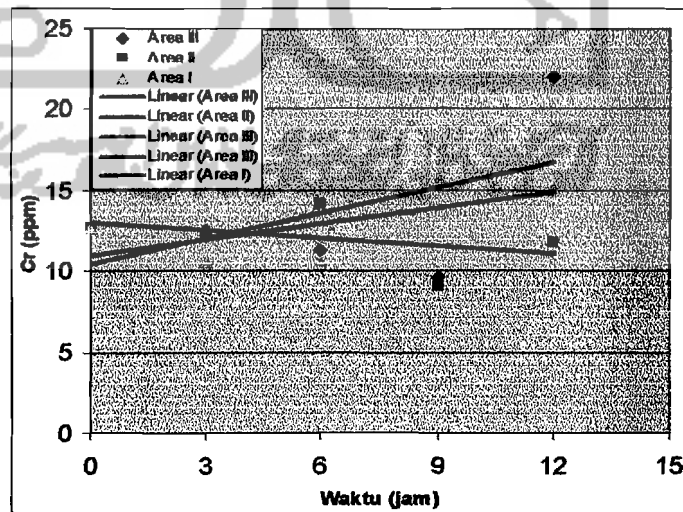


Gambar 4.10 Hubungan antara konsentrasi dengan waktu pada area II



Gambar 4.11 Hubungan antara konsentrasi dengan waktu pada area III

Dari **Gambar 4.9** sampai **Gambar 4.11** dapat dibuat grafik gabungan hubungan konsentrasi krom dengan area efektif yang terlihat pada **Gambar 4.12**.



Gambar 4.12 Hubungan konsentrasi krom dengan waktu pada area efektif.

Gambar 4.12 menunjukkan hubungan antara konsentrasi dengan waktu remediasi. Terlihat *trend* konsentrasi pada area II mengalami penurunan dan pada area I dan III mengalami naik. Dalam hal ini terjadi banyak kesalahan di antaranya yaitu kandungan air yang terlalu banyak, penggabungan titik sampel dan tidak mematikan *power supply*, sehingga pada penelitian awal penurunan konsentrasi krom yang terjadi tidak optimal.

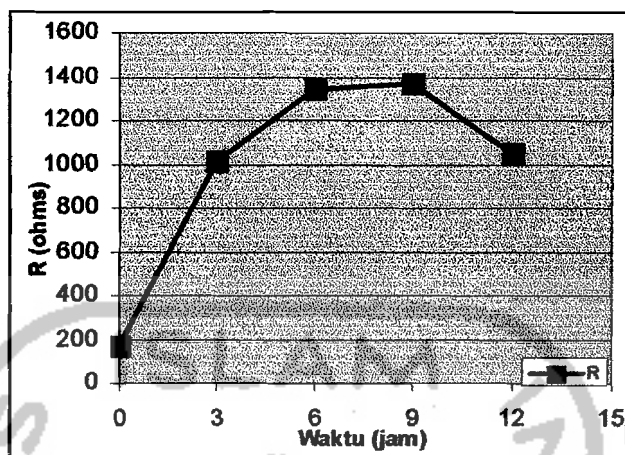
4.1.3 Hasil Analisis pada Arus dan Resistensi.

Pengukuran arus dan resistensi dilakukan dengan interval waktu setiap 3 jam. Data hasil pengukuran tersebut dapat dilihat pada **Tabel 4.6** dibawah ini:

Tabel 4.6 Hasil Pengukuran pada Arus dan Resistensi.

Waktu ke-(jam)	Resistensi (Ω)	Arus (Ampere)
0	166	0
3	1010	0,3
6	1340	0,2
9	1370	0,2
12	1048	0,3

Dari data pada **Tabel 4.6** didapat grafik hubungan antara waktu dan resistensi seperti pada **Gambar 4.13** berikut:



Gambar 4.13 Hubungan resistensi terhadap waktu

Pada Gambar 4.13 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan resistivitas pada variasi waktu setiap 3 jam, sedangkan pada arus relatif berubah – ubah. Karena tidak stabilnya arus, maka penghantaran mengalami pengurangan dan penambahan jumlah ion-ion penghantar sehingga hambatan (resistensi) yang terjadi dalam tanah juga mengalami peningkatan dan penurunan. Penurunan hambatan (resistensi) ini terjadi pada waktu 12 jam tetapi arus mengalami peningkatan pada waktu 12 jam sedangkan penurunan arus terjadi pada waktu 6 jam dan waktu 9 jam tetap konstan. Karena adanya penumpukan kation pada katoda mengakibatkan luas penampang katoda menjadi kecil sehingga hambatan yang dialami arus listrik akan semakin besar sedangkan pada waktu 12 jam untuk hambatan mengalami penurunan ini disebabkan karena semakin berkurangnya jumlah ion-ion penghantar maka hambatan (resistensi) yang terjadi dalam tanah semakin menurun. Maka penurunan resistensi yang

terjadi pada waktu 12 jam pada penelitian ini disebabkan karena adanya penurunan jumlah konsentrasi ion-ion logam muatan positif sehingga menyebabkan penurunan hambatan(resistensi) pada waktu 12 jam yang cukup signifikan, serta terdapat kesalahan yaitu pada saat pengukuran hambatan, pH dan pengambilan sampel *power supply* dalam keadaan hidup (*on*), yang seharusnya dalam keadaan mati (*off*).



4.2 PENELITIAN pada LIMBAH *SLUDGE* PENYAMAKAN KULIT.

Penelitian remediasi elektrokinetik ini menggunakan limbah *sludge* dari proses penyamakan kulit dengan kandungan konsentrasi Cr awal sebesar 39517,402 $\mu\text{g/g}$ (ppm) dan pH awal 4 cenderung dalam kondisi asam. Logam khrom yang terdapat pada limbah *sludge* penyamakan kulit ini adalah khrom bervalensi 3 (Cr^{3+}).

4.2.1 Hasil Pengukuran pH pada Area Efektif.

Pada penelitian ini, titik sampel *sludge* dibagi menjadi 4 area terdiri dari area I, II, dan III yang disebut area efektif karena area tersebut dikelilingi oleh 6 anoda, sedangkan yang berada diluar anoda disebut area Inefektif. Masing-masing area memiliki jarak baik dari anoda ke katoda dan diluar anoda untuk lebih detailnya seperti dibawah ini:

- Area I : 15 cm dari katoda
- Area II : 10 cm dari katoda
- Area III : 5 cm dari katoda
- Area Inefektif : 15 cm diluar anoda

Penelitian remediasi elektrokinetik menggunakan tegangan listrik 40 V dengan arus *direct current* (DC). Proses penelitian dilakukan selama 12 jam dengan interval waktu 3 jam ditiap area untuk dilakukan pengambilan sampel,

pengukuran pH dan pengukuran resistivitas. Tabel 4.7 sampai Tabel 4.9 dibawah ini adalah tabel hasil pengukuran pH pada masing-masing area.

Tabel 4.7 Hasil Pengukuran pH dalam Area I (anoda)

Waktu (jam)	Area Anoda	pH	pH rata-rata
0	D0	4	4
3	D1	9	7,5
	E1	6	
6	C1	5,5	6,2
	F1	6,9	
9	B1	9	9
	A1	9	
12	D1	9	9
	E1	9	
	F1	9	

Tabel 4.8 Hasil Pengukuran pH dalam Area II

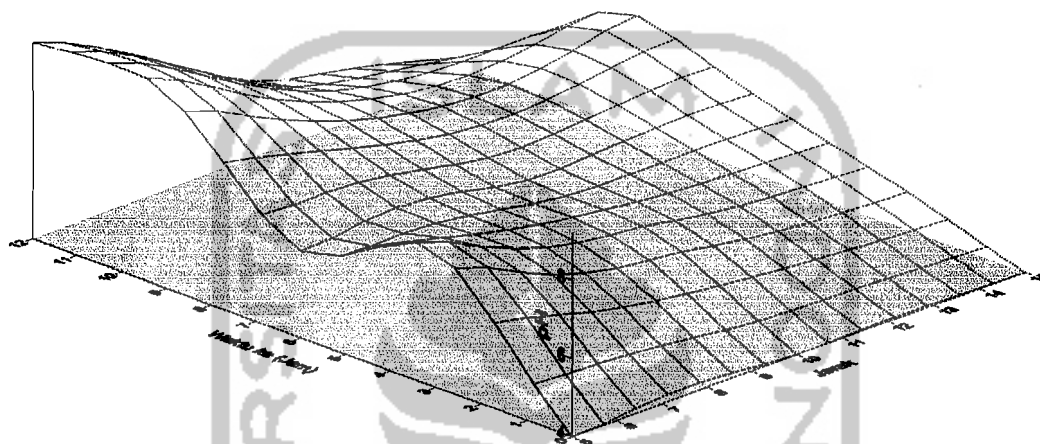
Waktu (jam)	Area Anoda	pH	pH rata-rata
0	D2	4	4
3	D2	5,5	5,7
	E2	5,9	
6	C2	5,9	5,9
	F2	5,9	
9	B2	6,9	6,55
	A2	6,2	
12	D2	6	5,9
	E2	6	
	F2	5,8	

Tabel 4.9 Hasil pengukuran pH dalam Area III (katoda)

Waktu (jam)	Area Anoda	pH	pH rata-rata
0	D	4	4
3	D	4,5	5,1
	E	5,7	
6	C	6	6
	F	6	
9	B	6,7	6,85
	A	7	
12	D	3,8	4,47
	E	5	
	F	4,6	

Dari hasil pengukuran pH dapat terlihat terjadi peningkatan disetiap area dan juga terjadi penurunan pH pada waktu ke 12 di area II dan III. Hasil pengukuran pH tersebut dapat diperoleh hubungan antara waktu, pH dan jarak yang disajikan pada Gambar 4.14. Pada waktu ke-0 pH masing-masing area dalam kondisi asam dengan nilai rata-rata 4, kemudian pada waktu ke-3 di area II dan area III terjadi kenaikan masing-masing sebesar 5,7 dan 5,1, sedangkan pada area I (anoda) kenaikan pH lebih besar dibandingkan area II dan area III yaitu sebesar 7,5. Pada waktu ke-6 di area II dan area III juga terjadi kenaikan sebesar 5,9 dan 6 dan pada area I pH sebesar 6,2 serta terjadi penurunan. Pengukuran pH pada waktu ke-9 nilai pH mengalami peningkatan untuk area I sebesar 9 pada area II juga mengalami kenaikan yaitu 6,55 dan area III sebesar 6,85. Pada jam ke-12 pH mengalami penurunan masing-

masing sebesar 5,9 dan 4,47. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik dibawah ini yang ditunjukkan pada **Gambar 4.14 (Lampiran 2)**.

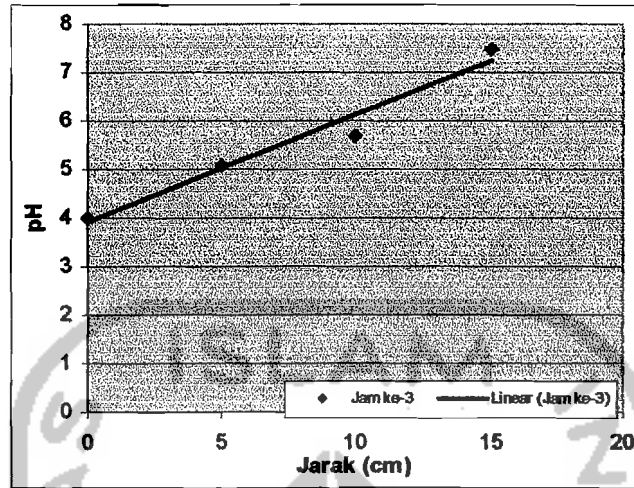


Gambar 4.14 Hubungan pH, waktu dan jarak pada area efektif.

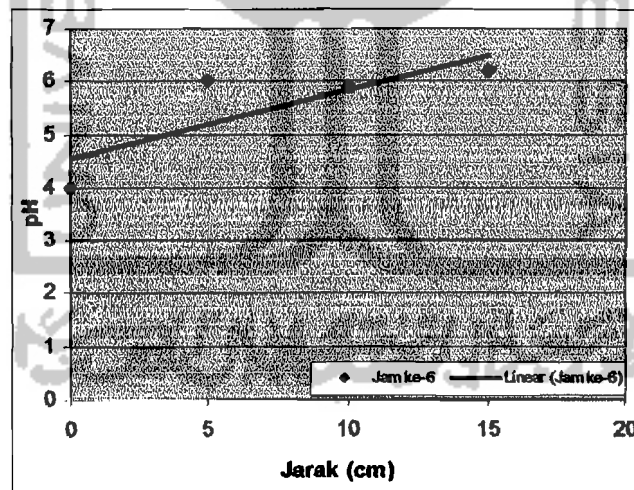
Dari **Gambar 4.14** diatas dapat dilihat terjadi perubahan pII sehingga dapat diartikan bahwa telah terjadi reaksi-reaksi kimia di setiap titik sampling. Pada pengukuran ini pH yang dihasilkan berbanding terbalik dengan percobaan sebelumnya karena pada percobaan sebelumnya pH yang dihasilkan yaitu pada katoda dalam keadaan basa sedangkan pada anoda dalam keadaan asam. Pada percobaan ini kondisi pH di katoda asam dan di anoda basa ini dikarenakan proses migrasi ion Cr pada area I akan lebih lambat dibandingkan dengan area III, sedangkan pada area II ion-ion Cr akan bermigrasi dan menumpuk pada katoda sehingga terjadi perubahan warna.

Berdasarkan referensi yang ada seharusnya kondisi pH pada katoda basa dan asam pada anoda, ini dikarenakan adanya proses *electrolysis*, yaitu reaksi oksidasi air pada kutub positif (anoda) disebut sebagai area I yang menghasilkan kondisi asam, sementara pada kutub negatif (katoda) disebut sebagai area III terjadi reduksi air yang menghasilkan kondisi basa (Setiono dan Hadyana, 1990).

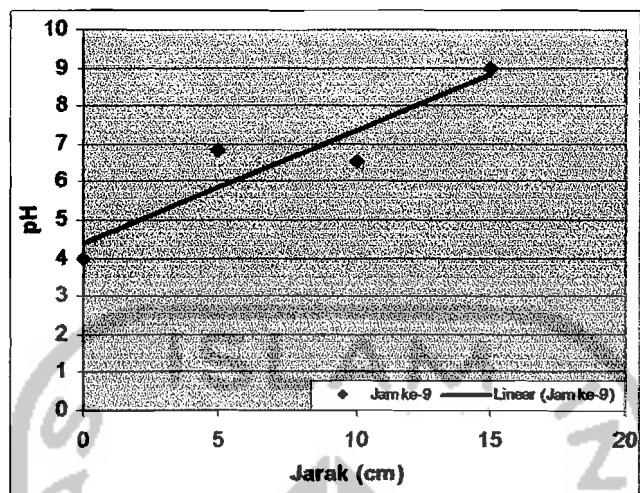
Area II yang berada di antara anoda dan katoda mengalami kondisi asam dengan nilai pH seimbang. Area II memiliki pH rata-rata 5, sehingga dimungkinkan di area II tersebut lebih dominan terpengaruh oleh area anoda dan katoda. Namun pada jam ke-12 terjadi penurunan dari 6,5 menjadi 5,9 peristiwa ini terjadi karena larutan sudah dalam keadaan jenuh sehingga terjadi penurunan pH, maka bisa dikatakan pada penelitian ini hanya efektif pada jam ke-9. Dari data pada Tabel 4.7 sampai Tabel 4.9 dapat dibuat grafik hubungan antara pH, jarak dan waktu di area efektif seperti pada Gambar 4.15 sampai Gambar 4.18.



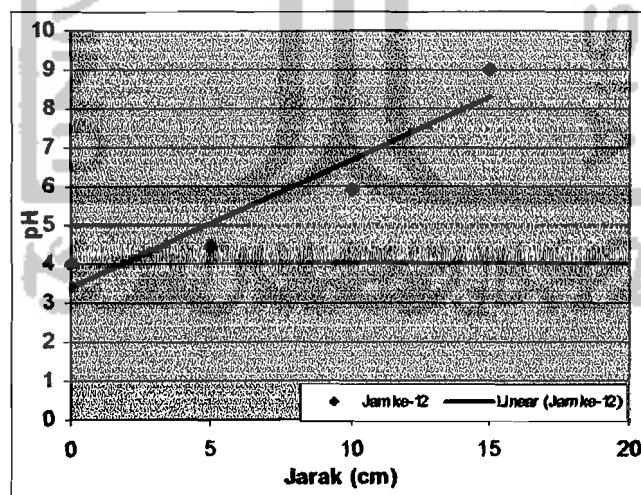
Gambar 4.15 Hubungan pH terhadap jarak pada ke-3 Jam.



Gambar 4.16 Hubungan pH terhadap jarak pada ke-6 Jam.

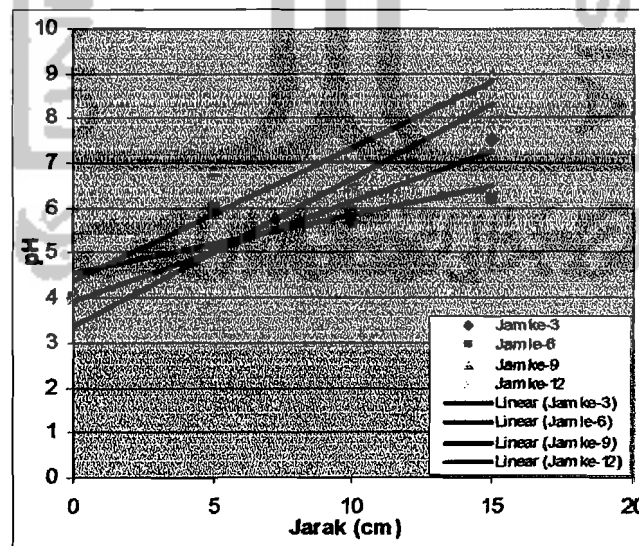


Gambar 4.17 Hubungan pH terhadap jarak pada ke-9 Jam.



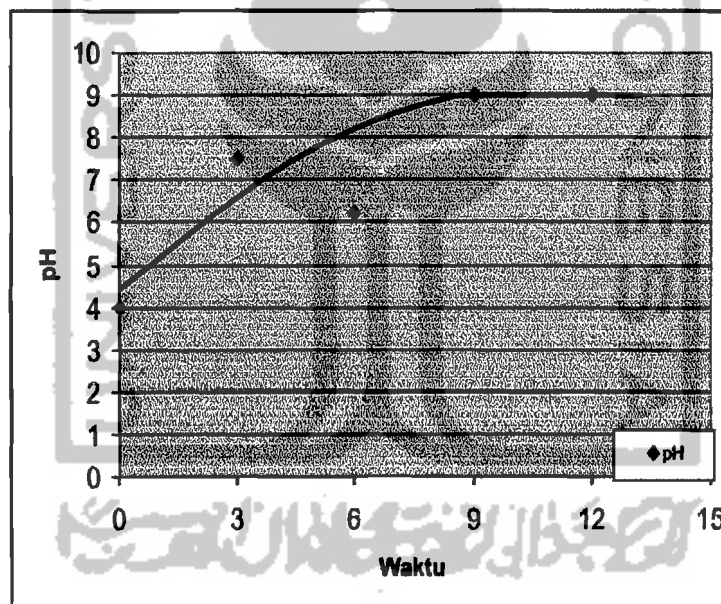
Gambar 4.18 Hubungan pH terhadap jarak pada ke-12 Jam.

Dari Gambar 4.15 sampai Gambar 4.18 dapat dilihat bahwa semakin jauh jarak maka pH akan mengalami kenaikan dalam interval waktu 3 jam, seharusnya pada gambar di atas semakin jauh jarak antara anoda dan katoda pH yang terjadi akan semakin turun. Fenomena atau *trend* yang terjadi ditunjukkan pada garis *linear*. Perbedaan posisi dan garis *linear* dengan data sebaran yang ada pada setiap grafik di atas kemungkinan karena adanya kesalahan dalam pengukuran pH dan kadar air yang tidak seimbang sehingga proses yang terjadi dalam remediasi elektrokinetik tidak merata atau bisa juga diakibatkan karena faktor lain. Fenomena dan hubungan pH terhadap jarak di area efektif dari Gambar 4.15 sampai Gambar 4.18 dapat dilihat pada Gambar 4.19.

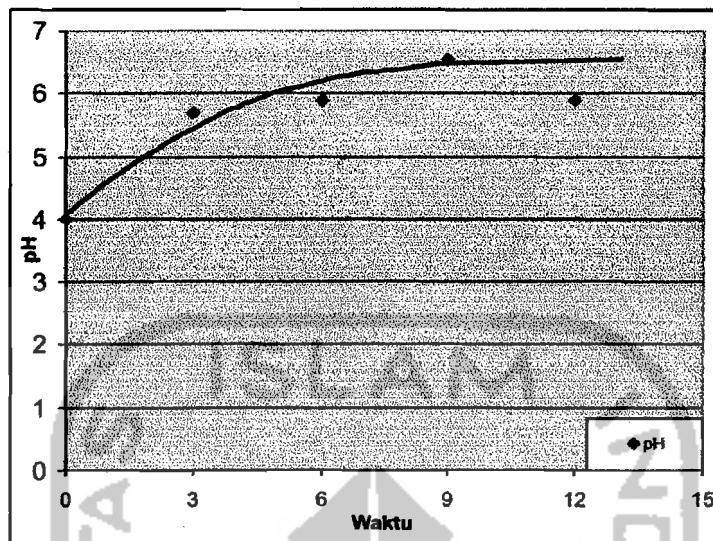


Gambar 4.19 Hubungan pH dan jarak pada area efektif

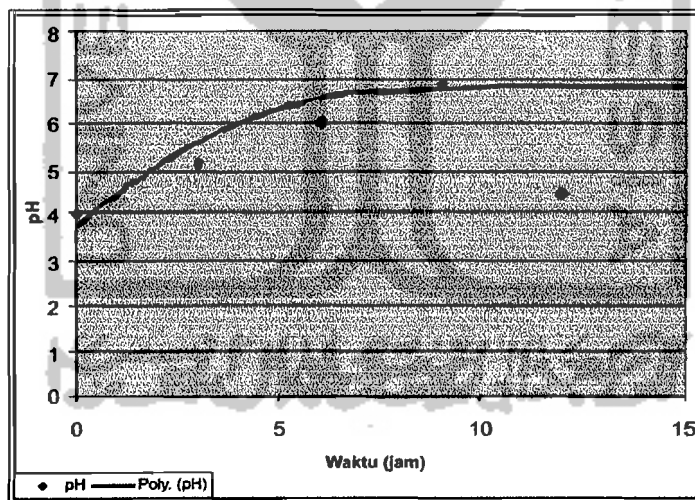
Pada penelitian ini tidak hanya area elektroda (anoda dan katoda) saja yang mempengaruhi perubahan pH, jenis bahan kimia, kadar air dalam *sludge*/tanah, proses *electrolysis* dan faktor waktu juga berpengaruh terhadap kenaikan pH. Berikut pada Gambar 4.20 sampai Gambar 4.22 adalah grafik-grafik hubungan antara pH dan waktu di tiap-tiap area efektif yang disesuaikan dengan data dari Tabel 4.7 sampai Tabel 4.9



Gambar 4.20 Hubungan pH terhadap waktu di Area I



Gambar 4.21 Hubungan pH terhadap waktu di Area II

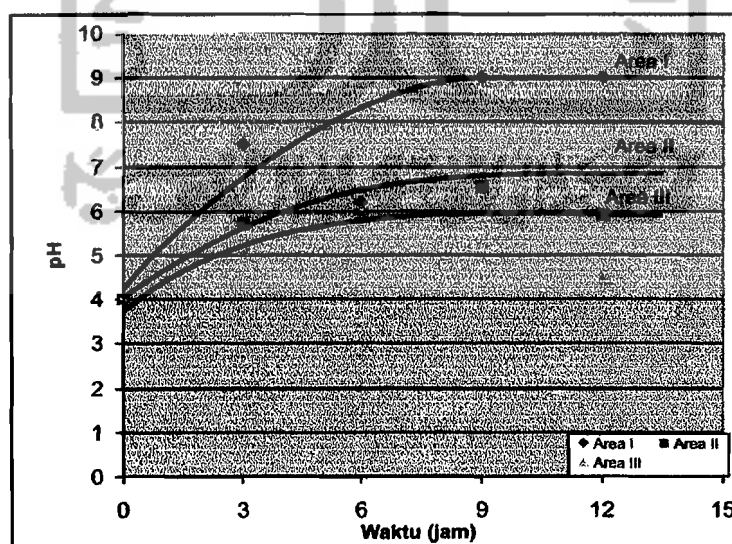


Gambar 4.22 Hubungan pH terhadap waktu di Area III.

Pada Gambar 4.20 sampai Gambar 4.22 tersebut bahwa semakin lama waktu remediasi maka pH akan semakin meningkat, hanya saja dari

garis *trend* untuk penelitian ini diharapkan semakin lama waktu remediasi maka pH yang dihasilkan tetap dalam keadaan konstan. Apabila pada proses remediasi ini pada saat waktu bertambah pH yang dihasilkan meningkat sangat tinggi maka pada proses tersebut terjadi pergerakan dari ion-ion lain yang lebih dominan. Dari Gambar 4.20 sampai Gambar 4.22 pH konstan berada pada jam ke-9 dan terjadi penurunan pada jam ke-12 (khususnya pada Gambar 4.22).

Apabila proses remediasi elektrokinetik sudah mengalami titik kejenuhan maka kondisi pH akan turun serta intensitas arus tinggi dapat menjadikan lebih asam dan menambah laju transport untuk memfasilitasi proses removal kontaminan, Gambar 4.23 adalah gambar gabungan pH terhadap waktu pada area efektif I, II dan III.



Gambar 4.23 Hubungan antara pH dan waktu di area efektif

Dalam penelitian ini keadaan pH berbanding terbalik karena terjadi beberapa kesalahan salah satunya yaitu tidak adanya kontrol pH. Dalam remediasi elektrokinetik perubahan pH sangat mempengaruhi oleh karena itu perlu dilakukan kontrol pH agar pH selalu dalam keadaan seimbang, salah satu solusinya dengan menambahkan buffer yaitu menggunakan larutan fosfat, fungsi dari penambahan buffer adalah sebagai penyangga atau penahan terhadap penambahan ion H^+ dan ion OH^- , sehingga pada kondisi asam akan lebih cepat ion bermigrasi ke katoda begitu juga sebaliknya (Willard,1997).

Pada penelitian ini diketahui bahwa pH dan waktu optimum yang dicapai dapat dilakukan melalui perhitungan pada persamaan garis *trend* di tiap area, tetapi pada penelitian ini tidak dilakukan perhitungan karena dari gambar-gambar di atas waktu optimum untuk pH hanya pada jam ke-9.

4.2.2 Hasil Analisis Konsentrasi Cr pada Are Efektif.

Analisis konsentrasi Cr dalam limbah *sludge* penyamakan kulit menggunakan metode AAS (*Atomic Absorption Spectrum*), pada metode AAS sebelum dilakukan pengukuran konsentrasi Cr dilakukan preparasi dengan berat masing-masing sampel rata-rata adalah 0,5 gr dan volume akhir 25 ml (Lampiran 4). Dari data hasil analisis didapatkan konsentrasi Cr awal (D1 awal) adalah sebesar 39517,402 $\mu\text{g/g}$, setelah dilakukan proses remediasi

elektrokinetik ternyata terjadi penurunan konsentrasi Cr yang sangat berbeda di setiap area titik sampling, proses remediasi tersebut dilakukan selama 12 jam dengan interval waktu remediasi masing-masing area adalah 3 jam. Data-data hasil analisis konsentrasi Cr dapat dilihat pada lampiran 4.

Berikut ini disajikan data hasil uji laboratorium pada setiap area dengan menggunakan metode AAS (*Atomic Absorption spectrum*) dapat dilihat pada Tabel 4.10 sampai Tabel 4.13 di bawah ini :

Tabel 4.10 Hasil Analisis Konsentrasi Cr dalam *Sludge* pada Area Efektif.

0	D1 awal	39517,402
3	D1	37392,083
	E2	37747,966
	E3	34840,640
6	C1	34032,874
	F2	29925,627
	F3	33652,875
9	A1	35985,715
	A2	37740,432
	A3	36182,358
12	F2,2	28148,088
	E1,2	32433,184
	E3,2	32636,263

Tabel 4.11. Konsentrasi Cr Rata-rata pada Area I (Anoda)

0	D1 awal	39517,402
3	D1	37392,083
6	C1	34032,874
9	A1	35985,715
12	E1,2	32433,184

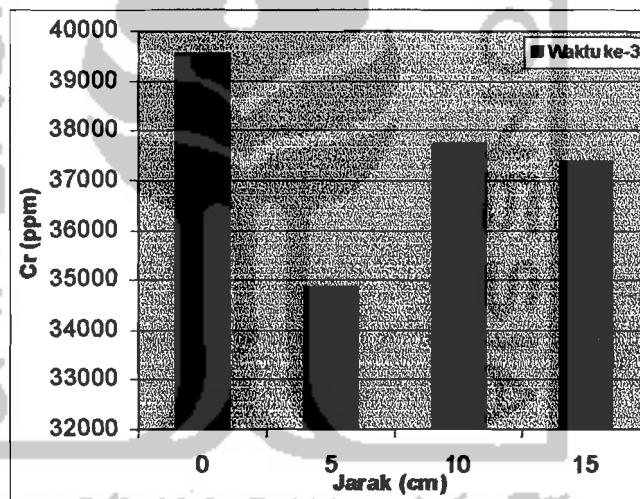
Tabel 4.12 Konsentrasi Cr Rata-rata pada Area II

0	D1 awal	39517,402
3	E2	37747,966
6	F2	29925,627
9	A2	37740,432
12	F2,2	28148,088

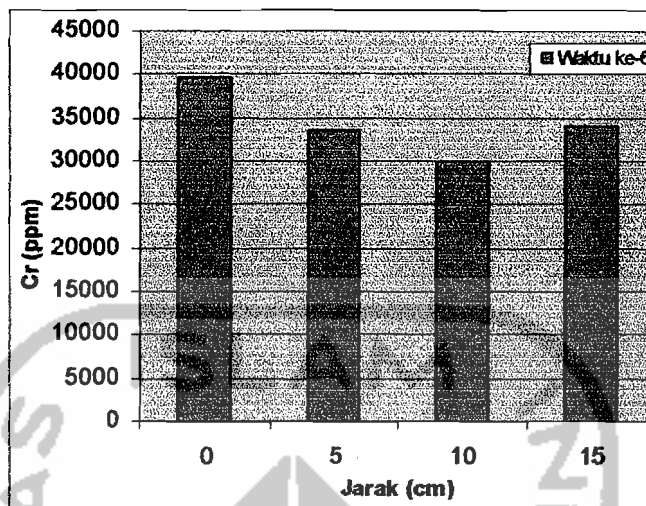
Tabel 4.13. Konsentrasi Cr Rata-rata pada Area III

0	D1 awal	39517,402
3	E3	34840,640
6	F3	33652,875
9	A3	36182,358
12	E3,2	32636,263

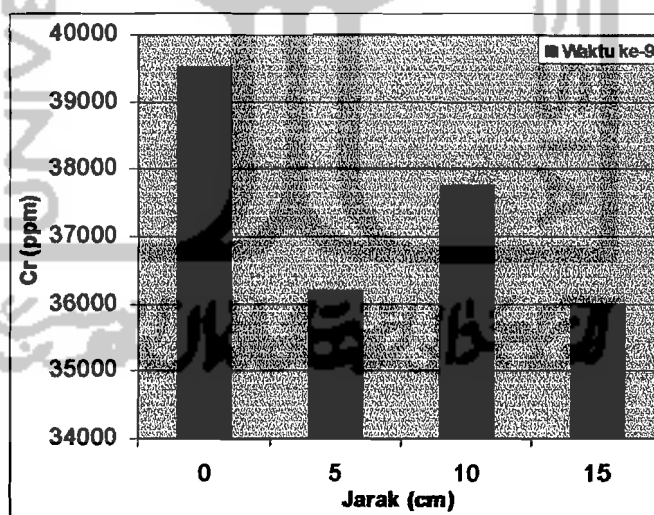
Dari data pada Tabel 4.10 sampai Tabel 4.13 dapat dilihat terjadi penurunan konsentrasi Cr di tiap titik sampling, tetapi pada jam ke-9 konsentrasi Cr mengalami kenaikan kemudian terjadi penurunan kembali pada jam ke-12. Data-data tersebut dapat di buat grafik hubungan antara konsentrasi Cr, jarak dan waktu untuk area efektif seperti pada Gambar 4.24 sampai Gambar 4.27.



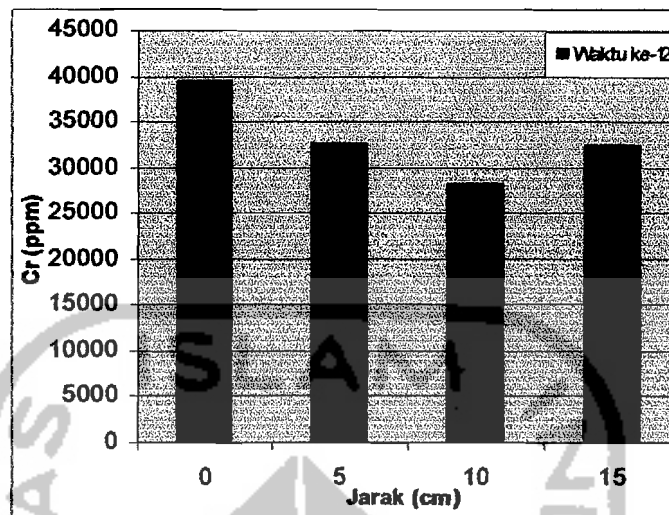
Gambar 4.24 Hubungan konsentrasi Cr terhadap jarak pada waktu ke-3 jam.



Gambar 4.25 Hubungan konsentrasi Cr terhadap jarak pada waktu ke-6 jam.



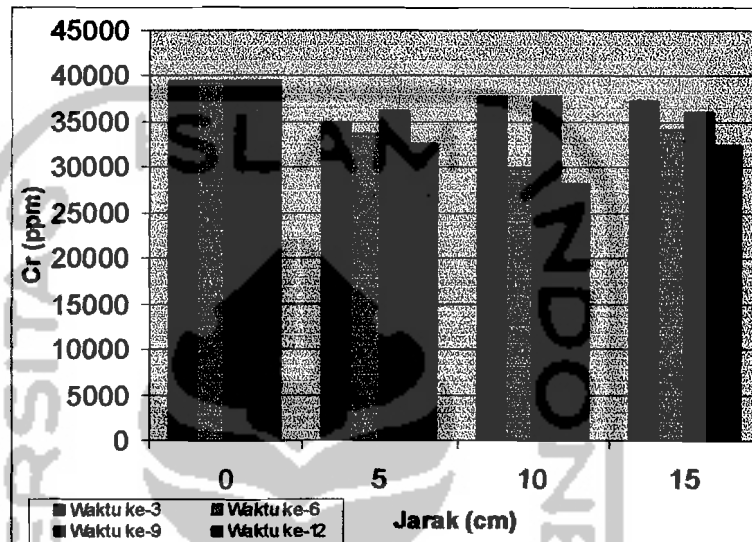
Gambar 4.26 Hubungan konsentrasi Cr terhadap jarak pada waktu ke-9 jam.



Gambar 4.27 Hubungan konsentrasi Cr terhadap jarak pada waktu ke-12 Jam

Dari grafik hubungan konsentrasi Cr terhadap jarak pada **Gambar 4.24** sampai **Gambar 4.27** menjelaskan bahwa terjadi penurunan konsentrasi Cr setiap interval waktu 3 jam di setiap area, dapat dilihat pada gambar di atas pada jarak 5 cm (area III) dari katoda dengan waktu ke-3 dan waktu ke-9 terjadi penurunan yang sangat tajam sedangkan pada waktu ke-6 serta waktu ke-12 terjadi penurunan juga tetapi tidak begitu besar. Pada jarak 10 cm (area II) dari katoda terjadi penurunan konsentrasi Cr tetapi penurunan yang terjadi seimbang dengan nilai konsentrasi terkecil sebesar 28148,088 $\mu\text{g/g}$. Sedangkan pada jarak 15 cm (area I) dari katoda yang disebut area anoda mengalami penurunan tidak terlalu besar seperti yang kita lihat pada **Gambar 4.24** sampai **Gambar 4.27** dan penurunan konsentrasi Cr terbesar adalah sebesar 32433,184 $\mu\text{g/g}$. Dari gambar-gambar tersebut dapat dibuat grafik

gabungan hubungan konsentrasi Cr terhadap waktu pada area efektif seperti pada Gambar 4.28.



Gambar 4.28 Hubungan konsentrasi Cr terhadap jarak pada area efektif

Penurunan konsentrasi Cr yang terjadi pada masing-masing area tersebut dikarenakan adanya pergerakan ion-ion Cr^{3+} menuju katoda sehingga pada area I, II dan III mengalami penurunan konsentrasi Cr di tiap titik area, sedangkan pada jam ke-9 selama proses remediasi berjalan mengalami pergerakan ion-ion juga hanya saja kemungkinan besar pergerakan ion-ion yang terjadi terlalu kecil.

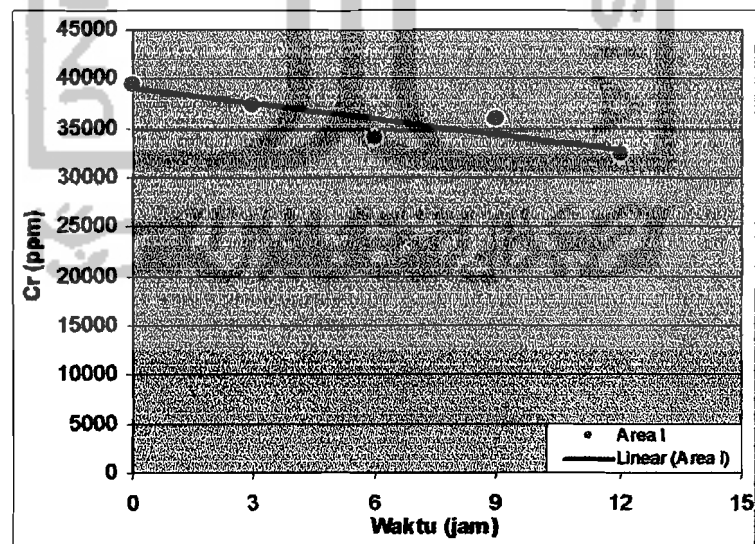
Pada grafik batang yang ditunjukkan Gambar 4.28 titik terendah di alami area II yaitu area dengan jarak 10 cm dari katoda. Penurunan

konsentrasi yang terjadi selama proses remediasi adalah karena adanya migrasi ion, migrasi ion Cr^{3+} menuju katoda pada area II tersebut lebih banyak di bandingkan dengan area I dan area III. Penurunan konsentrasi ion-ion dikarenakan telah terjadi proses *electromigration* atau *ion migration* di bawah pengaruh medan listrik, *elctromigration* adalah pergerakan kation dan anion karena pengaruh sifat listrik yang ditimbulkan sistem tersebut pada *sludge*. Arus listrik yang terjadi pada tanah mengakibatkan migrasi ion-ion bermuatan menuju ke arah elektroda kebalikannya. Sebagai hasil dari adanya migrasi ion maka kation-kation di kumpulkan di katoda dan anion-anion berada di anoda (Alshawabkeh, 1999). Banyaknya jumlah ion Cr^{3+} yang bermigrasi salah satunya ditentukan oleh cepatnya gerakan antar ion Cr^{3+} bermigrasi menuju katoda, sehingga dalam penelitian ini jarak antara anoda dan katoda sangat berpengaruh terhadap pergerakan ion-ion Cr^{3+} .

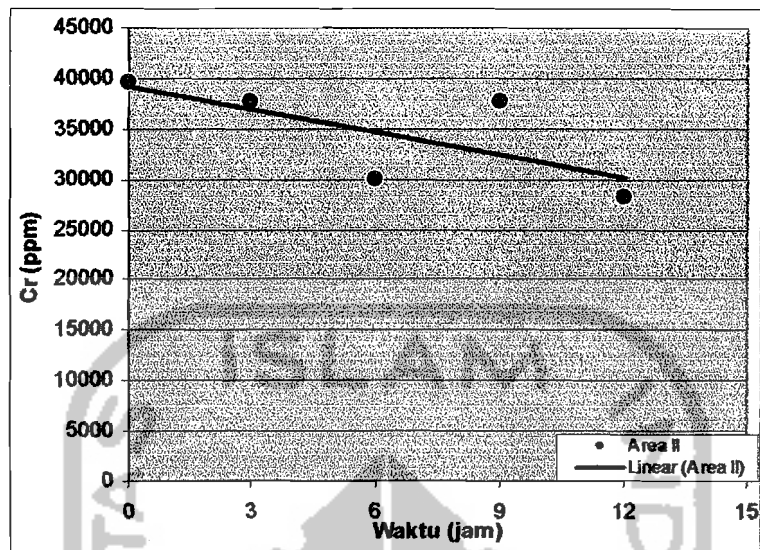
Pada penelitian ini saat jam ke-9 terjadi kenaikan dikarenakan pergerakan ion-ion Cr^{3+} lebih sedikit dan kesalahan dalam analisis sampel. Area III adalah area yang berada 5 cm dari katoda, dari grafik terlihat konsentrasi Cr terendah di area III lebih tinggi di bandingkan area yang lainnya, dimungkinkan ion-ion Cr^{3+} yang bermigrasi menuju katoda terakumulasi di area sekitar katoda, sehingga walaupun terjadi penurunan konsentrasi Cr namun tidak terlalu besar. Selama proses remediasi elektrokinetik terjadi Cr^{3+} ada dalam format *hidroksida cationic* seperti Cr

$[\text{OH}]^{2+}$ dan akan berpindah ke arah katoda, sedangkan Cr^{6+} ada dalam wujud *oxyanions* seperti CrO_4^{2-} yang berpindah ke arah kutub positif (anoda) (Reddy dan Shirani, 1996).

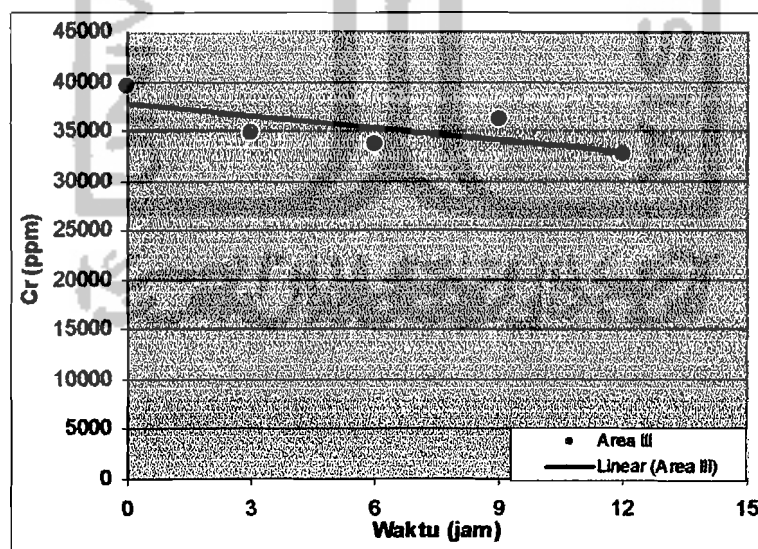
Pada jam ke-9 terjadi kenaikan selain karena hal-hal di atas juga di karenakan terjadinya korosi atau karat pada besi yang menghantarkan arus listrik, pada ujung kabel ada sebuah cepit besi dan besi tersebut mengalami korosi sehingga besi terlepas, pada saat jam ke-12 pertengahan waktu besi juga lepas sehingga untuk jam ke-12 dilakukan pengulangan pengukuran, hal ini di karenakan kondisi yang sudah jenuh dan kandungan air yang terlalu banyak juga mempengaruhi besi tersebut. **Gambar 4.29** sampai **Gambar 4.31** adalah grafik-grafik yang menunjukkan fenomena (*trend*) yang terjadi dalam hubungan antara konsentrasi Cr terhadap waktu pada masing-masing area :



Gambar 4.29 Hubungan konsentrasi Cr terhadap waktu di Area I

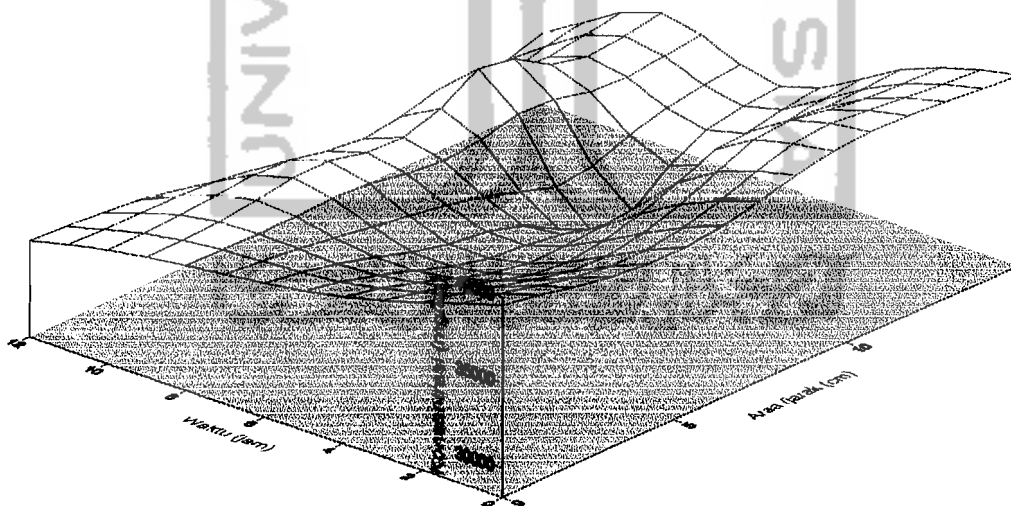


Gambar 4.30 Hubungan konsentrasi Cr terhadap waktu di area II



Gambar 4.31 Hubungan konsentrasi Cr terhadap waktu di area III

Gambar 4.29 sampai dengan Gambar 4.31 di atas dapat dilihat terjadi penurunan konsentrasi Cr yang drastis dan juga terjadi kenaikan pada masing-masing area. Penurunan konsentrasi Cr terjadi dalam interval waktu 3 jam pada saat proses remediasi berlangsung yaitu selama 12 jam. Pada gambar di atas fenomena atau *trend* yang terjadi ditunjukkan pada garis *linear*. Dari fenomena atau garis *trend* dapat dilihat bahwa semakin lama waktu remediasi maka konsentrasi Cr akan semakin turun sampai pada saat dimana ion-ion tersebut dapat bermigrasi kembali, grafik hubungan konsentrasi Cr terhadap waktu untuk area efektif dapat dilihat pada Gambar 4.32.



Gambar 4.32 Hubungan konsentrasi Cr, waktu dan jarak pada area efektif.

Garis *trend* pada Gambar 4.29 sampai Gambar 4.31 di atas menghasilkan persamaan untuk area I, area II dan III adalah $y = ax + b$. Beberapa hal yang mempengaruhi proses remediasi selain pergerakan ion, lamanya waktu remediasi juga berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi ion-ion Cr^{3+} . Pada penelitian ini penurunan konsentrasi Cr terlalu kecil adalah karena hambatan yang kecil dan ukuran elektroda yang digunakan tidak seimbang dengan volume *sludge* serta luas reaktor.

Penurunan konsentrasi ion-ion diakibatkan adanya pergerakan ion-ion menuju kutub negatif (katoda) dalam interval waktu 12 jam. Penurunan ion-ion juga tergantung pada jarak elektroda, konfigurasi elektroda, waktu *treatment* dan biaya. Selama proses berlangsung terdapat perubahan yang terjadi pada *sludge* salah satunya yang terlihat adalah adanya perubahan warna, perubahan warna tersebut terjadi pada area III dan area I, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.33.



Gambar 4.33 Perubahan warna yang terjadi selama proses remediasi.

Dari Gambar 4.33 di atas pada area III (katoda) perubahan warna yang terjadi adalah coklat keemasan, tidak hanya itu saja disekitar area juga terjadi pengurangan air. Perubahan warna yang terjadi pada titik katoda dapat diartikan bahwa pada area III (katoda) telah terjadi perpindahan ion-ion yang bermuatan positif sehingga warna coklat keemasan tersebut merupakan warna dari logam khrom bervalensi 3 (Cr^{3+}).

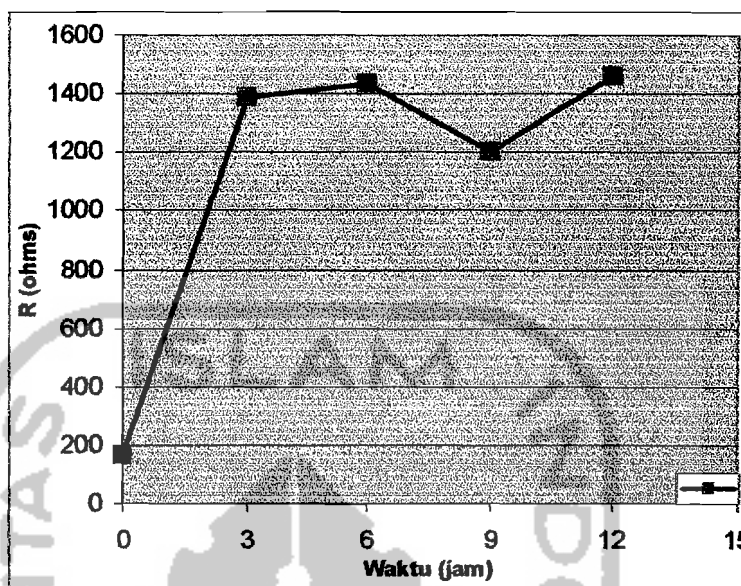
4.2.3 Hasil Analisis Resistensi dan Arus.

Pengukuran resistensi dan arus dilakukan dalam interval waktu tiap 3 jam, pengukuran ini dilakukan dengan menggunakan multitester. Data dari hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 4.15 (Lampiran 3) berikut ini :

Tabel 4.14 Hasil Pengukuran pada Resistensi dan Arus

Waktu ke-(jam)	Resistensi (Ω)	Arus (Ampere)
0	166	0
3	1387	0,2
6	1437	0,2
9	1201	0,2
12	1459	0,2

Pada Tabel 4.14 di atas dapat dilihat terjadi peningkatan resistensi serta penurunan pada jam ke-9, dari data Tabel 4.14 didapatkan grafik hubungan antara resistensi dan waktu seperti pada Gambar 4.34 berikut.



Gambar 4.34 Hubungan resistensi terhadap waktu

Pada **Gambar 4.34** terjadi peningkatan resistensi tiap waktu 3 jam dan juga terjadi penurunan resistensi sedangkan arus yang terjadi mengalami nilai konstan yaitu 0,2 A (**Lampiran 3**). Dari **Gambar 4.34** tersebut terjadi peningkatan karena berkurangnya jumlah ion-ion penghantar maka hambatan (resistensi) yang terjadi dalam *sludge* semakin meningkat. Penumpukan kation pada katoda mengakibatkan luas penampang katoda menjadi kecil sehingga hambatan yang di alami arus listrik akan semakin meningkat, teori tersebut sesuai dengan persamaan bahwa resistensi akan berbanding terbalik dengan luas penampang (Bueche,1989).

Millman dan Halkias (1991) mengungkapkan apabila sebuah elektron mencoba meninggalkan logam, elektron tersebut akan mengimbas suatu

muatan positif di permukaan oleh karena logam tersebut bersifat netral. Akibatnya antara muatan yang diimbasi dan elektron bekerja gaya tarik menarik. Elektron akan dipaksa kembali ke logam, kecuali apabila elektron tersebut mempunyai energi yang cukup besar untuk mengeluarkannya dari daerah pengaruh gaya muatan imbas tersebut. Oleh karena itu dalam logam mempunyai distribusi energi, maka elektron-elektron yang meninggalkan logam juga akan mempunyai suatu distribusi energi. Apabila semua elektron meninggalkan katoda dengan energi yang sama, arusnya akan tetap konstan sampai suatu tegangan tertentu dicapai kemudian menurun mendadak menjadi nol.

Pada pengukuran resistensi terjadi penurunan di jam ke-9 kemudian mengalami kenaikan kembali pada jam ke-12, ini dikarenakan keadaan yang sudah jenuh dan konsentrasi penurunan ion-ion logam yang bermuatan positif sangat sedikit sehingga pada penurunan konsentrasi Cr juga mengalami kenaikan yang tidak terlalu besar. Sedangkan kenaikan resistensi yang terjadi disebabkan karena adanya penurunan konsentrasi ion-ion logam, ini sesuai karena semakin besar nilai resistensi maka penurunan konsentrasi Cr akan semakin kecil dan sebaliknya. Pada penelitian ini arus sangat mempengaruhi terhadap penurunan khrom (Cr) karena dengan adanya arus listrik yang di alirkan pada media *sludge* maka akan terjadi penurunan konsentrasi Cr, tidak hanya itu saja dalam penurunan konsentrasi Cr juga seharusnya disesuaikan

dengan voltase dari logam berat yang terdapat didalam direct volta. Voltase yang digunakan untuk setiap logam berat tidak dapat diukur secara empiris, karena setiap logam memiliki energi potensial yang berbeda-beda.

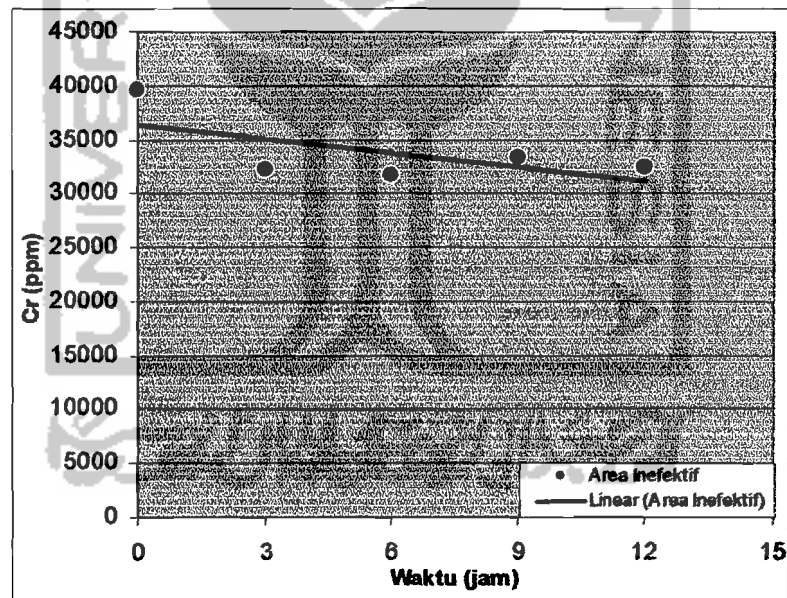
4.2.4 Hasil Analisis Konsentrasi Cr pada Area Inefektif

Analisis konsentrasi Cr selain pada area efektif juga dilakukan pada area inefektif, area inefektif terletak 15 cm di luar dari area efektif. Area inefektif area yang berada di luar dari anoda dan katoda, pada area inefektif juga dilakukan pengambilan sampel fungsinya sebagai pembanding terhadap area efektif. Data yang di ambil di area inefektif (X) adalah untuk melihat apakah terjadi pengurangan konsentrasi Cr apabila terjadi pengurangan berarti area inefektif mendapatkan pengaruh dari medan listrik area efektif. Pengambilan sampel *sludge* pada area inefektif yang telah diremediasi dilakukan pada jam yang sama dengan area efektif yaitu selama 12 jam dengan interval waktu 3 jam. Hasil analisis konsentrasi Cr pada area inefektif dapat dilihat pada Tabel 4.15 berikut :

Tabel 4.15 Hasil Analisis Konsentrasi Cr pada Area Inefektif

0	D1 awal	39517,402
3	X2	32243,055
6	X3	31659,563
9	X6	33245,986
12	X5,2	32478,563

Dari data pada Tabel 4.15 tersebut didapatkan bahwa terjadi penurunan konsentrasi Cr pada area inefektif, walupun pada jam ke-9 terjadi kenaikan kemudian penurunan kembali. Tabel 4.15 menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi diakibatkan karena adanya pengaruh aliran listrik dari area efektif, sehingga penurunan yang terjadi sangat tajam ini dimungkinkan karena aliran listrik pada titik sampel pengaruhnya sangat besar, sesuai dengan hambatan (resistensi) yang di hasilkan. Dari data pada Tabel 4.15 dapat di buat grafik seperti pada Gambar 4.35 di bawah ini :



Gambar 4.35 Konsentrasi Cr terhadap waktu pada area inefektif

Pada Gambar 4.35 fenomena yang terjadi ditunjukkan dengan garis *linear*, dari *trend* di atas penurunan konsentrasi Cr di area inefektif sangat besar berarti pada area inefektif telah terjadi pengaruh dari sistem elektroda area efektif terhadap area inefektif. Penurunan konsentrasi Cr dari grafik di atas di dapatkan konsentrasi Cr minimum sebesar 31659,563 $\mu\text{g/g}$ dan pada jam ke-12 nilainya 32478,563 $\mu\text{g/g}$ dengan nilai konsentrasi Cr rata-rata yaitu sebesar 32406,792 $\mu\text{g/g}$.

Distribusi medan listrik menunjukkan area inefektif beberapa sel berbentuk segitiga sama kaki dengan badan kaki merupakan jarak elektroda yang mempunyai polaritas sama. Tinggi dari area segitiga diperkirakan tergantung pada waktu proses, spasi elektroda dan kesejajaran (Alshawabkeh,1999).

4.2.5 Hubungan Konsentrasi Cr, pH dan Waktu.

Konsentrasi Cr, pH dan Waktu dimungkinkan memiliki hubungan yang saling berkaitan antara satu sama lain, dibawah ini adalah Tabel 4.16 sampai Tabel 4.18 hubungan antara konsentrasi Cr, pH dan waktu di tiap area

:

Tabel 4.16 Hubungan Konsentrasi Cr dan pH pada Area I

Waktu ke-(jam)	Konsentrasi Cr	pH rata-rata
0	39517,402	4
3	37392,083	7,5
6	34032,874	6,2
9	35985,715	9
12	32433,184	9

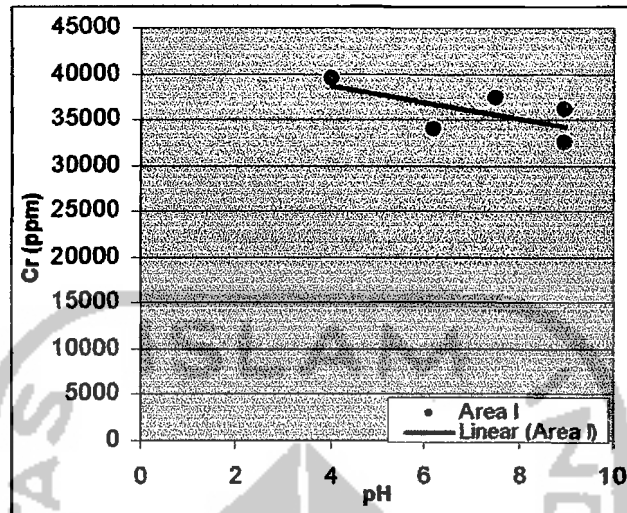
Tabel 4.17 Hubungan Konsentrasi Cr dan pH pada Area II

Waktu ke-(jam)	Konsentrasi Cr	pH rata-rata
0	39517,402	4
3	37747,966	5,7
6	29925,627	5,9
9	37740,432	6,55
12	28148,088	5,9

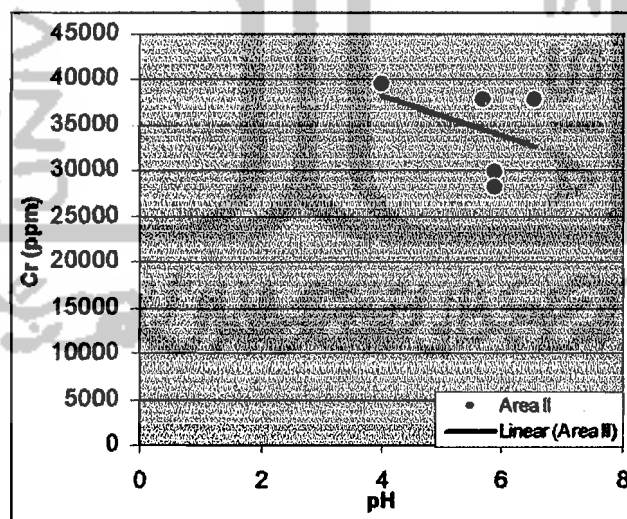
Tabel 4.18 Hubungan Konsentrasi Cr dan pH pada Area III

Waktu ke-(jam)	Konsentrasi Cr	pH rata-rata
0	39517,402	4
3	34840,640	5,1
6	33652,875	6
9	36182,358	6,85
12	32636,263	4,47

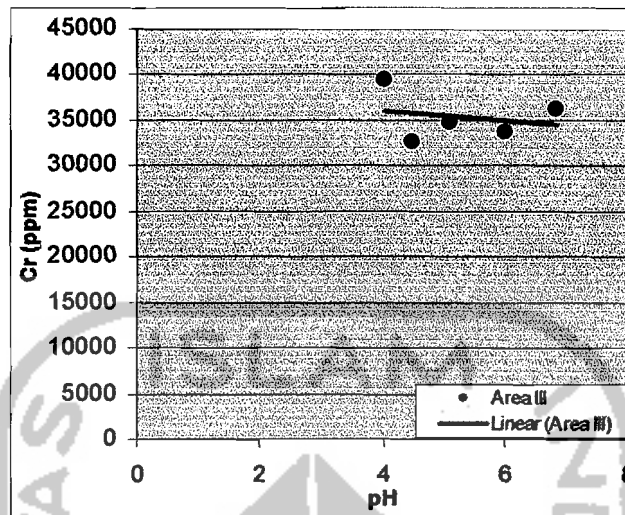
Dari Tabel 4.16 sampai Tabel 4.18 dapat dibuat grafik hubungan antara konsentrasi Cr dan pH seperti Gambar 4.36 sampai Gambar 4.38.



Gambar 4.36 Hubungan konsentrasi Cr terhadap pH pada Area I



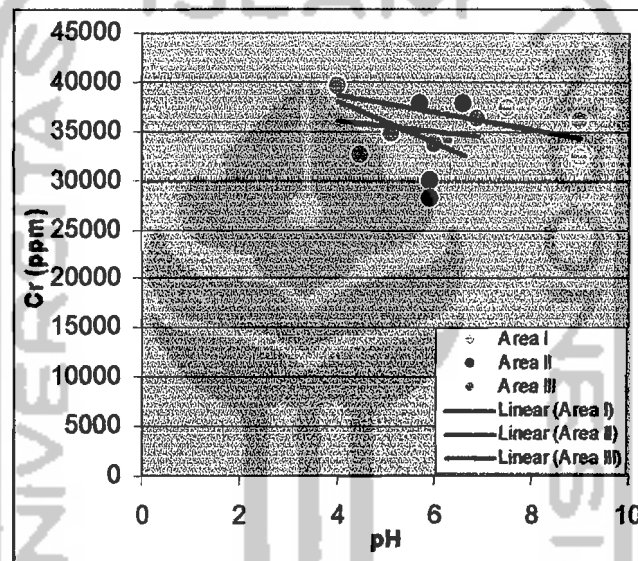
Gambar 4.37 Hubungan konsentrasi Cr terhadap pH pada Area II.



Gambar 4.38 Hubungan Konsentrasi Cr terhadap pH pada Area III.

Dari **Gambar 4.36** sampai **Gambar 4.38** dapat dilihat bahwa dalam interval waktu tiap 3 jam pada area efektif mengalami penurunan konsentrasi Cr dimana penurunan konsentrasi Cr tersebut terjadi bersamaan dengan perubahan pH. Pada perubahan pH di anoda (area I) mengalami kondisi basa sedangkan pada katoda kondisinya asam, di area I pH tertinggi sebesar 9 untuk area III pH tertinggi nilainya 6,85 tepatnya pada jam ke-9. Sedangkan untuk area II pH dalam kondisi asam dengan nilai sebesar 6,55 dan berada pada jam ke-9 karena jam ke-12 pH mengalami penurunan begitu juga yang terjadi pada area III. Penurunan konsentrasi Cr terendah terjadi pada area II yaitu area yang terletak di antara anoda dan katoda dengan nilai sebesar 28148,088 $\mu\text{g/g}$. Sedangkan konsentrasi Cr tertinggi terdapat pada area III yaitu area yang berjarak 5 cm dari katoda, dengan konsentrasi terendah

sebesar 32636,263 $\mu\text{g/g}$. Pada area I yaitu area anoda penurunan konsentrasi Cr tidak terlalu besar juga tidak terlalu kecil dengan nilai terendah sebesar 32433,184 $\mu\text{g/g}$. Berikut **Gambar 4.39** adalah hubungan konsentrasi Cr terhadap pH di area efektif :



Gambar 4.39 Hubungan konsentrasi Cr terhadap pH di area efektif.

Dari **Gambar 4.39** perubahan pH yang terjadi karena adanya proses *electromigration* dan akibat pengaruh dari medan listrik, seharusnya pada perubahan pH ini tidak hanya proses *electromigration* saja tetapi juga *electrolysis*. Sedangkan untuk penurunan konsentrasi Cr diakibatkan karena adanya *electrophoresis* dan migrasi ion. Fenomena yang terjadi pada gambar-gambar di atas ditunjukkan pada garis *linear*, sehingga terjadi kenaikan dan

penurunan yang tidak stabil dengan data yang ada, ini dimungkinkan karena terdapat kesalahan dan kekurangan dalam penelitian ini. Kesalahan yang terjadi bisa jadi karena pengambilan sampel, kondisi yang sudah jenuh juga ukuran elektroda yang tidak sesuai dengan volume *sludge* serta ukuran reaktor karena dengan ukuran elektroda yang panjangnya hanya 5 cm maka penurunan konsentrasi yang terjadi tidak terlalu besar dan bisa dikatakan kurang efektif.

4.3 HASIL ANALISIS KONSENTRASI Cr KESELURUHAN.

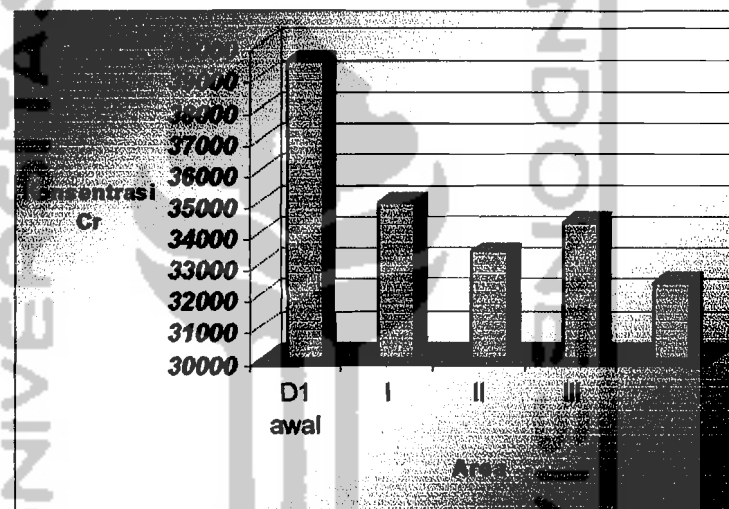
Hasil analisis konsentrasi Cr rata-rata pada *sludge* di setiap sampel area efektif dan area inefektif dapat dilihat pada Tabel 4.19 berikut :

Tabel 4.19 Hasil analisis konsentrasi Cr dalam *sludge* pada seluruh titik sampling selama 12 jam.

Area Sampel	Konsentrasi Cr rata-rata ($\mu\text{g/g}$)
D1 awal	39517,402
I	34960,964
II	33390,528
III	34328,034
X	32406,792

Dari Tabel 4.19 di atas dapat dilihat bahwa terjadi perubahan konsentrasi Cr pada tiap titik sampel selama 12 jam dengan interval waktu tiap 3 jam. Titik sampel awal yang disebut D1 awal memiliki nilai sebesar

39517,402 $\mu\text{g/g}$, pada titik area I sampai area III juga mengalami perubahan konsentrasi Cr walaupun perubahan yang terjadi tidak terlalu besar. Pada Area inefektif (X) juga mengalami perubahan konsentrasi Cr, hasil dari perubahan konsentrasi Cr tersebut tidak jauh beda dengan titik sampel yang lain yaitu sebesar 32406,792 $\mu\text{g/g}$. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.40 di bawah ini :



Gambar 4.40 Konsentrasi Cr rata-rata dalam *sludge* di seluruh titik sampling.

Menurut *National Environment Protection Council, New Zealand*, ambang batas kontaminasi Cr pada limbah *sludge* adalah 20,9 mg/kg (Lampiran 5). Walaupun belum mencapai nilai ambang batas yang diijinkan, pada masing-masing area titik sampling telah terjadi penurunan konsentrasi Cr setiap interval waktu 3 jam selama 12 jam.

4.4 Nilai Efisiensi Konsentrasi Cr.

Nilai efisiensi konsentrasi Cr dapat diketahui dengan menggunakan persamaan selisih konsentrasi awal - akhir di bagi konsentrasi awal dikalikan 100 %, data yang digunakan yaitu data penurunan konsentrasi Cr (Lampiran 4) :

✦ Nilai Efisiensi Konsentrasi Cr di Area I

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\% \\
 &= \frac{39517,402 \mu\text{g/g} - 34960,964 \mu\text{g/g}}{39517,402 \mu\text{g/g}} \times 100\% \\
 &= 11,53\%
 \end{aligned}$$

✦ Nilai Efisiensi Konsentrasi Cr di Area II

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\% \\
 &= \frac{39517,402 \mu\text{g/g} - 33390,528 \mu\text{g/g}}{39517,402 \mu\text{g/g}} \times 100\% \\
 &= 15,50\%
 \end{aligned}$$

✦ Nilai Efisiensi Konsentrasi Cr di Area III

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\% \\
 &= \frac{39517,402 \mu\text{g/g} - 34328,034 \mu\text{g/g}}{39517,402 \mu\text{g/g}} \times 100\% \\
 &= 13,13\%
 \end{aligned}$$

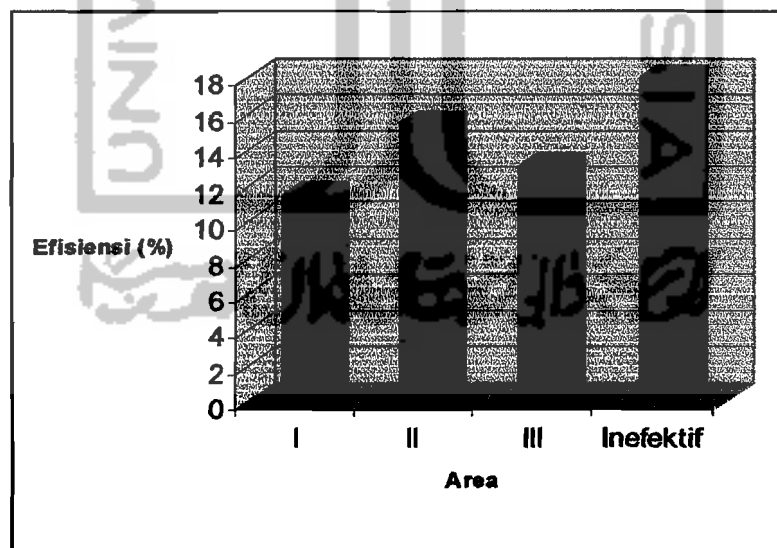
↓ **Nilai Konsentrasi Cr di Area Inefektif.**

$$E = \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\%$$

$$= \frac{39517,402 \mu\text{g/g} - 32406,792 \mu\text{g/g}}{39517,402 \mu\text{g/g}} \times 100\%$$

$$= 17,99\%$$

Dari perhitungan di atas didapatkan bahwa nilai efisiensi konsentrasi Cr tertinggi di area efektif terdapat pada area II yaitu sebesar 15,50 % sedangkan yang terendah terdapat pada area I yaitu 11,53 %. Pada area III nilai konsentrasi sebesar 13,13 % sedangkan untuk area infektif nilainya sebesar 17,99 %. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 4.41**.



Gambar 4.41 Nilai efisiensi konsentrasi Cr di setiap area

Gambar 4.41 di atas dapat dilihat bahwa nilai efisiensi konsentrasi Cr di dalam area efektif yang terbesar adalah terletak pada area II yaitu 15,50 % sedangkan yang terkecil terletak pada area I yaitu 11,53 % sedangkan untuk area inefektif nilai efisiensinya besar yaitu 17,99 % ini berarti pada area inefektif aliran listrik yang di aliri pada area efektif sangat berpengaruh pada penurunan konsentrasi Cr. Area efektif merupakan area yang dipengaruhi oleh medan listrik sehingga pada area efektif terjadi proses *electromigration* atau migrasi ion. Sedangkan untuk area III efisiensi yang didapat sebesar 13,13 % untuk area III (katoda) ion-ion Cr^{3+} terakumulasi tetapi tidak terlalu banyak karena ion-ion Cr lebih dominan ke anoda. Dari nilai efisiensi konsentrasi Cr terlihat nilai yang didapatkan sangat kecil ini berarti bahwa pada penelitian ini kurang efektif karena nilai efisiensi yang didapat dibawah 50 % padahal hasil yang diinginkan di atas 50 %.

Ukuran elektroda untuk panjangnya harus sama dengan kedalaman lumpur yang akan diremediasi supaya migrasi ion Cr dapat menyebar dalam *sludge* sehingga efisiensi konsentrasi Cr dapat lebih optimal atau di atas 50 %, tidak hanya itu saja direct volta juga dapat mempengaruhi berikut ini adalah susunan direct volta dari yang terkecil ke yang besar, yaitu : K – Ba – Ca – Na – Mg – Al – Mn – Zn – Cr – Fe – Cd – Co – Ni – Sn – Pb – (H) – Sb – Bi – Cu – Hg – Ag – Pt – Au dengan nilai potensial elektroda berturut-turut (-2,92 V) – (-2,90 V) – (-2,87 V) – (-2,71 V) – (-2,37 V) – (-1,66 V) – (-1,18 V)

- (-0,76 V) - (-0,74 V) - (-0,44 V) - (-0,40 V) - (-0,28 V) - (-0,25 V) - (-0,14 V) - (-0,13 V) - ((0,00)) - (+0,34 V) - (+0,79 V) - (+0,80 V) - (0,99 V) - (+1,50 V). Setiap direct volta memiliki potensial elektroda yang berbeda sehingga apabila dilihat dari titik H semakin ke kiri (-) akan sulit untuk direduksi sedangkan semakin ke kanan (+) akan mudah direduksi. Dalam penggunaan voltase semakin ke kiri voltase yang dibutuhkan semakin besar dan sebaliknya. Hal ini berarti logam-logam disebelah kanan mudah mengalami reduksi serta sukar mengalami oksidasi, sehingga logam-logam sebelah kanan akan bereaksi terlebih dahulu pada katoda.

Dalam penelitian ini terdapat banyak kekurangan salah satunya yaitu ukuran elektroda, karena inti dari penelitian ini terletak pada elektroda. Apabila elektroda seimbang/proporsional dengan ukuran reaktor dan volume *sludge* maka hasil yang dicapai akan efektif begitu juga pada nilai efisiensinya mungkin akan mencapai di atas dari 50 %.