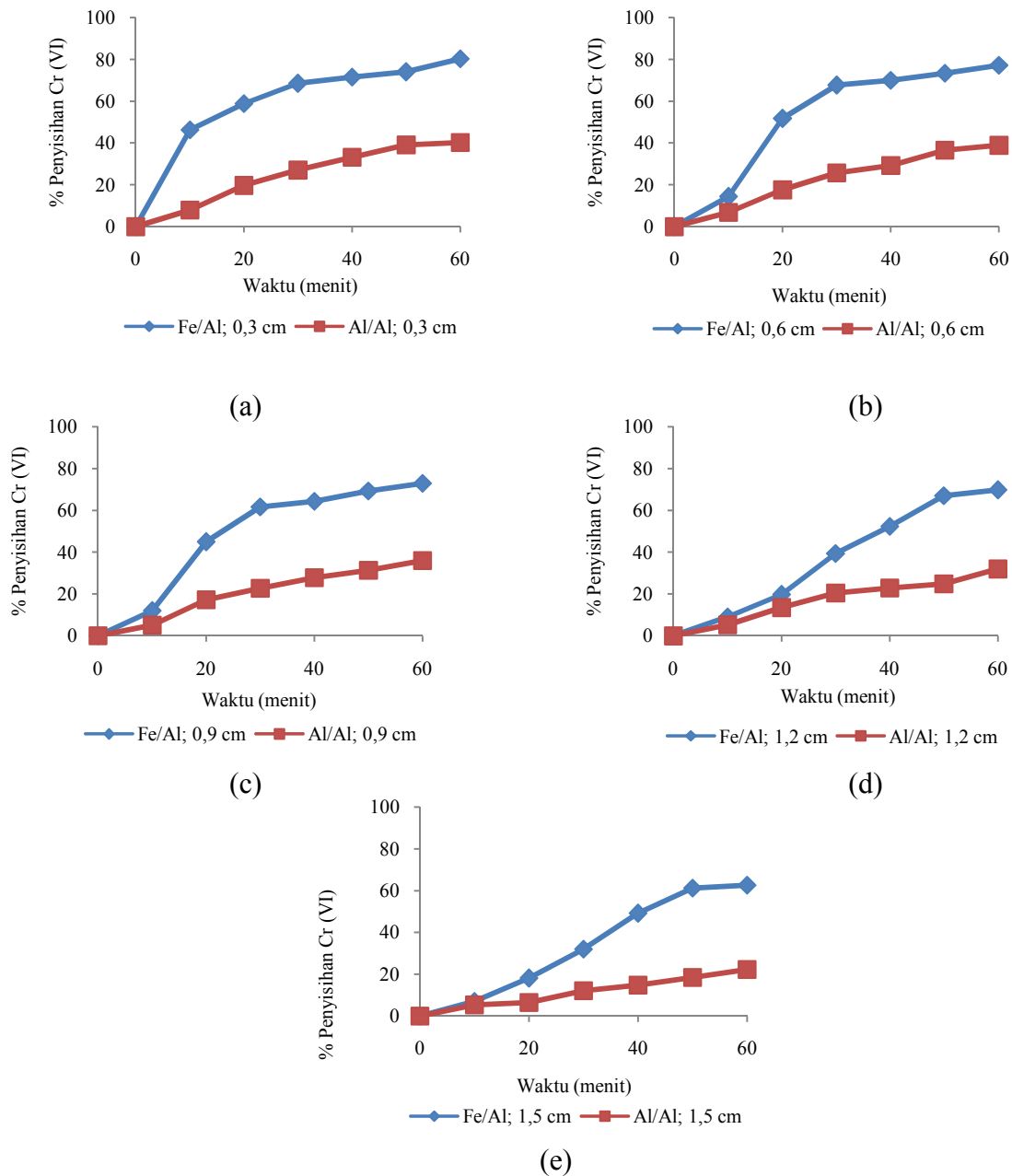


## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengaruh Jenis Elektroda Terhadap Penyisihan Cr (VI)

Dalam penelitian ini, jenis elektroda yang digunakan berupa Fe/Al dan Al/Al sebagai pasangan anoda-katoda pada proses elektrokoagulasi. Perbandingan jenis elektroda pada jarak yang sama dalam penyisihan Cr(VI) dapat ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Perbandingan jenis elektroda terhadap efisiensi penyisihan Cr(VI) pada jarak (a) 0,3 cm; (b) 0,6 cm; (c) 0,9 cm; (d) 1,2 cm; (e) 1,5 cm

Pada gambar 4.1 dapat dilihat bahwa penggunaan jenis elektroda Fe/Al memberikan penyisihan Cr(VI) lebih tinggi dibandingkan Al/Al. Pada proses elektrokoagulasi terjadi disolusi logam anoda yang disebabkan adanya arus listrik searah sehingga menghasilkan ion logam (Reddithota, 2007). Anoda Fe akan terdisolusi menjadi ion  $Fe^{2+}$  dan Al akan terdisolusi menjadi ion  $Al^{3+}$  dalam larutan. Melalui hukum Faraday massa ekuivalen elektrokimia Fe sebesar 1041 mg/(Ah) dan Al sebesar 335,6 mg/(Ah) (Sahu, 2014). Hal ini menunjukkan jumlah massa logam yang terlarut ketika diberikan aliran arus listrik pada waktu tertentu. Oleh karena itu, pada penelitian ini ketika sistem elektrokoagulasi diberikan arus dan waktu yang sama maka massa logam terlarut yang dihasilkan anoda Fe 3 kali lebih besar dibandingkan Al (perhitungan terlampir), sehingga penyisihan Cr(VI) dengan anoda Fe lebih baik dibandingkan Al. Ketika jumlah massa terlarut lebih besar maka jumlah kation yang terdisolusi akan semakin besar dan berpengaruh pada pembentukan koagulan pada proses elektrokoagulasi penyisihan Cr(VI).

Di sisi lain, ion  $Fe^{2+}$  yang dihasilkan oleh anoda Fe akan teroksidasi menjadi ion  $Fe^{3+}$ , hal ini dikarenakan adanya oksigen terlarut di dalam proses elektrokoagulasi (Vepsalainen, 2012). Dengan demikian, maka densitas dan konsentrasi permukaan grup hidroksil dari flok yang dihasilkan anoda Fe lebih besar dibandingkan dengan flok yang dihasilkan anoda Al (Lu, 2016). Pada penyisihan Cr(VI) dilakukan melalui reaksi kompleksasi dengan permukaan grup hidroksil dari flok yang dihasilkan selama proses elektrokoagulasi. Hal ini dapat ditunjukkan pada gambar 4.2 (d) larutan setelah dilakukan penyaringan memiliki warna larutan kehijauan, hal ini menandakan bahwa selama proses elektrokoagulasi terbentuk senyawa  $Fe(OH)_2$ . Penyisihan Cr(VI) dengan anoda Fe lebih baik dibandingkan Al, hal ini juga disebabkan karena ion  $Fe^{2+}$  yang dihasilkan oleh anoda Fe secara langsung dapat mereduksi Cr(VI) menjadi Cr(III).

Pasivasi elektroda yang sering terjadi pada elektroda jenis Aluminium mengakibatkan penyisihan Cr(VI) yang dihasilkan rendah. Pasivasi elektroda mengakibatkan tidak optimalnya oksidasi yang terjadi pada anoda sehingga ion logam yang dihasilkan akan terbatas dan juga koagulan yang dihasilkan dalam sistem akan terbatas pula (Thella dkk, 2008). Meskipun elektroda telah dihaluskan menggunakan kertas amplas untuk menghilangkan lapisan inhibitor atau lapisan pasif pada elektroda akan tetapi lapisan inhibitor akan tetap terbentuk karena penggunaan akuades pada proses, sehingga dimungkinkan timbulnya lapisan inhibitor biasanya berupa lapisan oksida pada anoda, lapisan kalsium karbonat dan lapisan magnesium hidroksida pada katoda. Hal ini

menyebabkan efisiensi penyisihan Cr(VI) yang dihasilkan elektroda Al/Al lebih rendah dibandingkan elektroda Fe/Al. Pada penelitian ini ketika proses elektrokoagulasi selesai, elektroda Al/Al akan mengalami pasivasi yang ditandai dengan timbulnya lapisan berwarna hitam pada permukaan elektroda tersebut. Lapisan hitam ini merupakan lapisan pasif (lapisan oksida) yang terbentuk selama proses elektrokoagulasi.

Tabel 4.1 Data hasil penelitian pada jenis elektroda Fe/Al dan Al/Al dengan variasi jarak antar elektroda 0,3 cm; 0,6 cm; 0,9 cm; 1,2 cm; 1,5 cm

No.	Jenis elektroda (anoda-katoda)	Jarak elektroda (cm)	Arus (A)	*pH akhir	Massa endapan (g)	$\Delta$ massa pelat (g)
1.	Fe/Al	0,3	0,37	8,78	0,7692	0,1290
		0,6	0,35	7,82	0,3261	0,0892
		0,9	0,30	7,62	0,2380	0,0744
		1,2	0,18	7,27	0,1787	0,0438
		1,5	0,15	7,00	0,1344	0,0362
2.	Al/Al	0,3	0,07	6,87	0,0609	0,0053
		0,6	0,06	6,82	0,0484	0,0041
		0,9	0,05	6,70	0,0267	0,0028
		1,2	0,05	6,58	0,0183	0,0025
		1,5	0,04	6,17	0,0075	0,0010

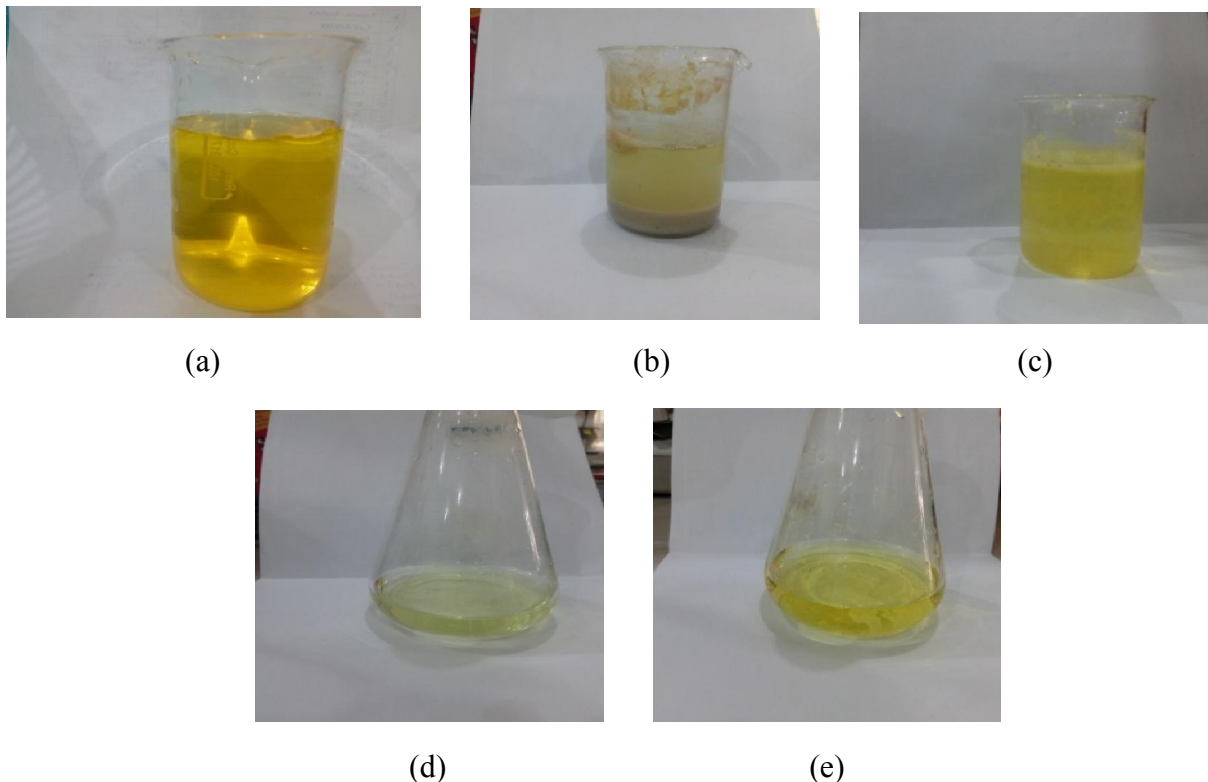
Keterangan: \*pH awal= 4,97-5,15, tegangan = 30 V

Berdasarkan gambar 4.1 (a) penyisihan Cr(VI) pada jarak antar elektroda yang sama yaitu 0,3 cm dengan menggunakan anoda Fe sebesar 80,291%, sedangkan menggunakan anoda Al sebesar 40,180%. Besarnya penyisihan Cr(VI) dapat dibuktikan dari massa endapan Cr ( $\text{Cr}(\text{OH})_3$ ) yang dihasilkan setelah proses elektrokoagulasi, dimana dengan menggunakan anoda Fe massa endapan yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan anoda Al (tabel 4.1). Endapan yang dihasilkan setelah proses elektrokoagulasi berupa hasil reaksi reduksi Cr(VI) menjadi Cr(III) yang mengendap sebagai  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ , hal itu menunjukkan bahwa ion Cr(VI) telah tereduksi menjadi Cr(III) sehingga terjadi penyisihan Cr(VI). Semakin besar massa endapan yang dihasilkan menunjukkan bahwa semakin besar penyisihan Cr(VI).

Aliran arus listrik diperlukan pada proses elektrokoagulasi. Arus yang diberikan pada sistem elektrokoagulasi menentukan besarnya ion  $\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{Al}^{3+}$  yang dihasilkan dari anoda. Berdasarkan tabel 4.1 pada tegangan yang sama arus yang diberikan pada jenis elektroda

Fe/Al lebih besar dibandingkan Al/Al. Hal ini mengakibatkan ion  $\text{Fe}^{2+}$  yang dihasilkan akan lebih besar dibandingkan ion  $\text{Al}^{3+}$ . Sehingga ketika menggunakan anoda Fe akan menghasilkan logam hidroksida sebagai koagulan lebih banyak dibandingkan menggunakan anoda Al. Koagulan tersebut berpengaruh pada peningkatan penyisihan Cr(VI) pada proses elektrokoagulasi.

Peningkatan penyisihan Cr(VI) lebih tinggi dengan anoda Fe daripada Al, hal itu dapat dibuktikan pada tabel 4.1 bahwa nilai pH akhir larutan yang dihasilkan anoda Fe lebih besar dibandingkan Al. Hal ini disebabkan karena arus yang mengalir pada jenis elektroda Fe/Al lebih besar dibandingkan Al/Al sehingga reaksi disolusi logam anoda dan pembentukan ion  $\text{OH}^-$  semakin besar. Oleh karena itu, dapat berpengaruh pada pembentukan koagulan dan penyisihan Cr(VI) yang semakin meningkat. Hal ini juga sesuai dengan diagram kromium (gambar 2.1), dimana pH larutan yang semakin tinggi menunjukkan bahwa Cr(VI) berupa  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  yang telah tereduksi menjadi Cr(III) mengendap sebagai  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ .



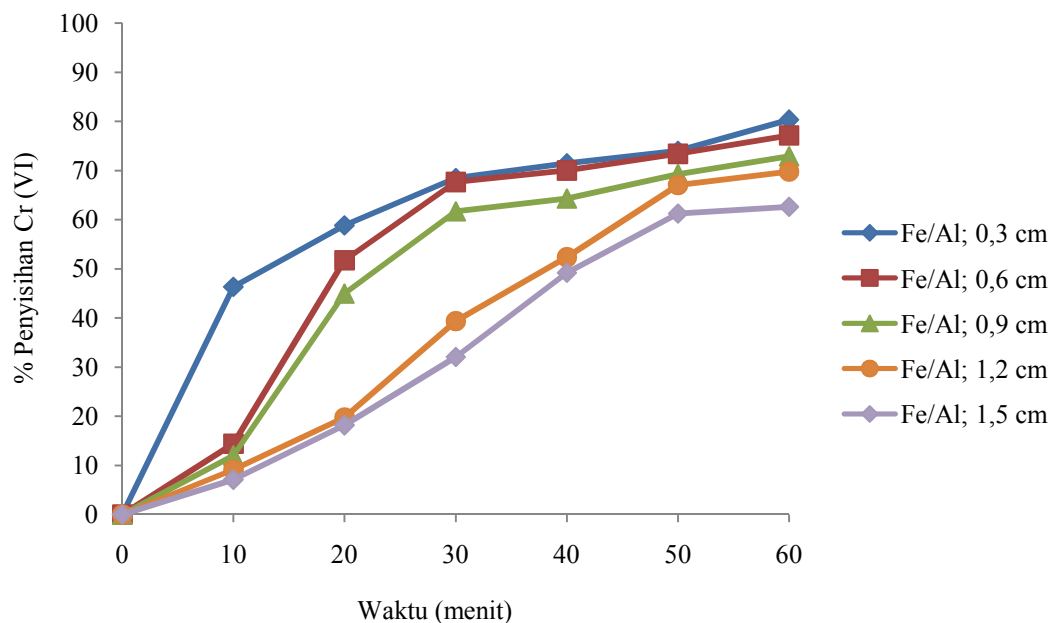
Gambar 4.2 (a) Larutan sebelum proses elektrokoagulasi; larutan setelah proses elektrokoagulasi menggunakan jenis elektroda (b) Fe/Al (c) Al/Al; larutan setelah dilakukan penyaringan pada proses elektrokoagulasi menggunakan jenis elektroda (d) Fe/Al (e) Al/Al

Berdasarkan gambar 2.1 ditunjukkan bahwa pada bagian permukaan larutan terbentuk sludge layer berupa flok dan sedimen layer berupa endapan. Pada gambar 4.2 (b) dapat dilihat

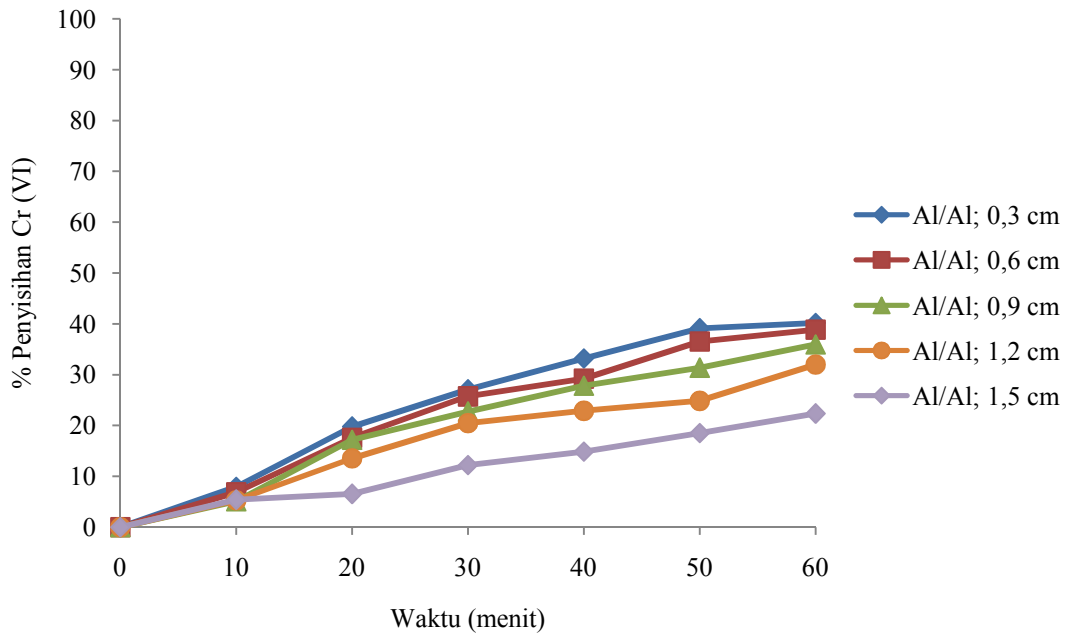
bahwa ketika menggunakan jenis elektroda Fe/Al terbentuk flok dan endapan. Hal ini menyebabkan pada proses elektrokoagulasi menggunakan jenis elektroda Fe/Al terjadi proses terjebaknya Cr(VI) oleh flok logam hidroksida dan juga reaksi reduksi Cr(VI) menjadi Cr(III) sehingga mengalami presipitasi. Sedangkan, pada gambar 4.2 (c) ketika menggunakan jenis elektroda Al/Al menunjukkan bahwa hanya terbentuk flok  $\text{Al(OH)}_3$  pada larutan. Flok yang terbentuk merupakan logam hidroksida yang digunakan sebagai koagulan dalam proses elektrokoagulasi. Sehingga ketika menggunakan jenis elektroda Fe/Al penyisihan Cr(VI) lebih tinggi dibandingkan Al/Al. Pada gambar 4.2 (d) larutan setelah dilakukan penyaringan memiliki warna larutan kehijauan, hal ini menandakan bahwa selama proses elektrokoagulasi terbentuk senyawa  $\text{Fe(OH)}_2$ . Hal ini didukung oleh penelitian Moreno (2009) bahwa selama proses elektrokoagulasi ketika menggunakan elektroda Fe/Al dan menghasilkan  $\text{Fe(OH)}_2$  maka larutan akan berwarna kehijauan.

#### 4.2 Pengaruh Jarak Elektroda Terhadap Penyisihan Cr (VI)

Pada proses elektrokoagulasi jarak antar elektroda juga dapat berpengaruh terhadap penyisihan Cr(VI). Pada penelitian ini akan dibahas tentang pengaruh jarak antar elektroda yang bervariasi yaitu 0,3 cm; 0,6 cm; 0,9 cm; 1,2 cm; dan 1,5 cm dengan jenis elektroda Fe/Al dan Al/Al. Pengaruh jarak antar elektroda terhadap efisiensi penyisihan Cr(VI) dapat ditunjukkan pada gambar 4.2 dan 4.3.



Gambar 4.3 Perbandingan jarak antar elektroda sebesar 0,3 cm; 0,6 cm; 0,9 cm; 1,2 cm; 1,5 cm terhadap efisiensi penyisihan Cr(VI) pada jenis elektroda Fe/Al



Gambar 4.4 Perbandingan jarak antar elektroda sebesar 0,3 cm; 0,6 cm; 0,9 cm; 1,2 cm; 1,5 cm terhadap efisiensi penyisihan Cr(VI) pada jenis elektroda Al/Al

Pada gambar 4.2 dan 4.3, efisiensi penyisihan Cr(VI) menurun dengan adanya peningkatan jarak antar elektroda dari 0,3 cm hingga 1,5 cm. Pada penggunaan jenis Fe/Al jarak 0,3 cm penyisihan Cr(VI) sebesar 80,291%, sedangkan jarak 1,5 cm penyisihan Cr(VI) sebesar 62,586%. Pada jenis Al/Al jarak 0,3 cm penyisihan Cr(VI) sebesar 40,180%, sedangkan jarak 1,5 cm penyisihan Cr(VI) sebesar 22,314%. Pada gambar 4.2 dapat dilihat juga ketika jarak antar elektroda sebesar 0,3 cm; 0,6 cm; dan 0,9 cm efisiensi penyisihan Cr(VI) meningkat signifikan hingga menit ke-30, sedangkan jarak antar elektroda sebesar 1,2 cm dan 1,5 cm efisiensi penyisihan Cr(VI) meningkat hingga menit ke-50. Hal ini menunjukkan bahwa pada jarak antar elektroda yang semakin dekat waktu optimum untuk mencapai peningkatan penyisihan Cr(VI) yang signifikan lebih pendek.

Menurut Daneshvar dkk (2002), adanya peningkatan jarak antar elektroda berakibat pada menurunnya ion yang dihasilkan oleh elektroda dan memperlambat interaksi ion. Hal ini dapat dilihat pada tabel 4.1 berhubungan dengan massa anoda yang terlarut, ketika jarak antar elektroda semakin jauh maka hambatan semakin besar sehingga jumlah massa anoda yang terlarut akan semakin kecil. Berdasarkan tabel 4.1 juga dapat dilihat bahwa adanya peningkatan jarak elektroda pada proses elektrokoagulasi Cr(VI) dapat menurunkan arus listrik pada sistem. Hal ini disebabkan karena hambatan antar elektroda meningkat dengan

adanya peningkatan jarak antar elektroda yang menyebabkan aliran arus lebih rendah (Verma, 2013). Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan persamaan hubungan antara hambatan listrik terhadap jarak antar elektroda (perhitungan terlampir) menunjukkan bahwa semakin jauh jarak antar elektroda maka hambatan listrik pada sistem elektrokoagulasi semakin besar. Menurut Modirshahla (2007), ketika jarak antar elektroda meningkat mengakibatkan berkurangnya pembentukan logam hidroksida dan pergerakan ion logam dan ion  $\text{OH}^-$  dalam larutan akan lambat. Hal ini menyebabkan ion-ion tersebut akan cenderung mengendap dibandingkan melakukan interaksi dengan ion  $\text{Cr(VI)}$ .

Seiring dengan lamanya waktu proses elektrokoagulasi maka akan terbentuk lapisan halus dari hidroksida hasil oksidasi logam yang terletak pada anoda sehingga menghasilkan tambahan hambatan pada peningkatan jarak antar elektroda (Ghosh, 2007). Hal tersebut dapat menyebabkan penurunan arus listrik pada sistem elektrokoagulasi yang berbanding lurus dengan terhambatnya laju oksidasi anoda (Ghosh, 2007). Hal ini dapat ditunjukkan pada tabel 4.1 bahwa peningkatan jarak antar elektroda menghasilkan perubahan massa elektroda yang semakin kecil sehingga mengindikasikan oksidasi anoda semakin menurun. Ketika laju oksidasi anoda menurun maka akan berpengaruh pada menurunnya jumlah kation yang dihasilkan oleh anoda. Kation ini akan berikatan dengan ion hidroksida membentuk logam hidroksida yang berperan sebagai koagulan pada sistem elektrokoagulasi. Sehingga pada jarak antar elektroda yang semakin jauh penyisihan  $\text{Cr(VI)}$  akan semakin menurun.

Berdasarkan tabel 4.1 dapat dilihat bahwa ketika jarak antar elektroda meningkat maka pengurangan massa elektroda akan menurun, hal ini berkaitan dengan meningkatnya hambatan antar elektroda yang mengakibatkan menurunnya arus listrik pada sistem. Adanya penurunan arus listrik ini menyebabkan pengurangan massa elektroda semakin kecil, dimana pengurangan massa elektroda sebanding dengan ion logam yang terdisolusi dalam larutan. Ketika pengurangan massa anoda kecil maka dapat berpengaruh pada menurunnya pembentukan logam hidroksida dan penyisihan  $\text{Cr(VI)}$  menurun. Pada peningkatan jarak antar elektroda dari 0,3 cm hingga 1,5 cm terjadi pengurangan massa anoda yang semakin kecil sehingga jumlah anoda terdisolusi juga semakin kecil dan berpengaruh pada penurunan penyisihan  $\text{Cr(VI)}$  yang ditunjukkan pada gambar 4.2 dan 4.3. Sehingga semakin jauh jarak antar elektroda dari 0,3 cm hingga 1,5 cm maka penyisihan  $\text{Cr(VI)}$  semakin rendah.

Tabel 4.2 Penelitian penyisihan Cr(VI) dengan metode elektrokoagulasi

No.	Jenis elektroda	Jarak elektroda (cm)	Konsentrasi larutan (ppm)	Tegangan (V)	Efisiensi penyisihan (%)	Ref.
1.	Fe/Al (77 cm <sup>2</sup> )	0,5	400	30	99	Heidmann dan Calmano, 2010
2.	Fe/Al (60 cm <sup>2</sup> )	1	250	30	70	Kashefi dkk, 2014
3.	Fe/Al (14 cm <sup>2</sup> )	0,3	120	30	80,291	Penelitian ini

Pada tabel 4.2 ditunjukkan beberapa penelitian penyisihan Cr(VI) dengan jenis elektroda Fe/Al menghasilkan efisiensi penyisihan yang berbeda. Jika penelitian ini dibandingkan dengan penelitian Heidmann dan Calmano (2010) penyisihan Cr(VI) lebih rendah. Hal ini mungkin disebabkan karena luas permukaan elektroda yang digunakan pada penelitian ini lebih kecil. Jika penelitian ini dibandingkan dengan penelitian Kashefi dkk (2014) penyisihan Cr(VI) lebih tinggi. Hal ini menunjukkan ketika luas permukaan elektroda yang digunakan lebih besar, tetapi jarak antar elektroda yang digunakan semakin jauh maka penyisihan Cr(VI) semakin rendah. Sehingga jarak antar elektroda berpengaruh terhadap penyisihan Cr(VI). Pada penelitian ini, optimum penyisihan Cr(VI) dengan jarak antar elektroda terdekat yaitu 0,3 cm, tetapi ketika jarak antar elektroda semakin dekat dapat berpengaruh pada suhu akhir larutan yang semakin tinggi. Jadi, kemungkinan hal ini kurang dapat diaplikasikan dalam skala besar.