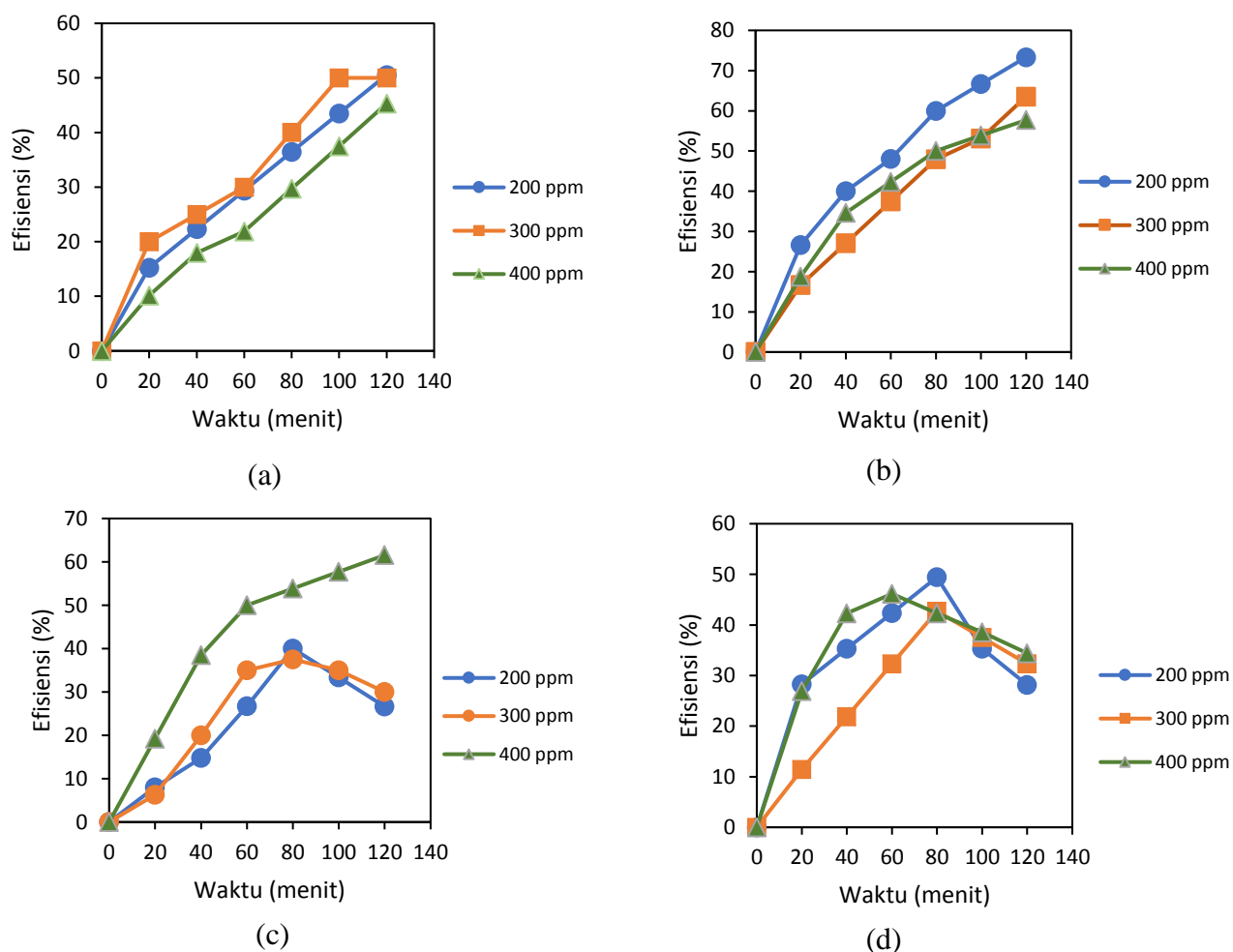


## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengaruh Konsentrasi Awal Ion Kalsium Terhadap Penyisihan Ion Kalsium

Proses penyisihan kadar ion kalsium dilakukan dengan menggunakan metode elektrokoagulasi yang dilakukan selama 120 menit, jarak antar elektroda 1,5 cm dan tegangan 20 V. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah konsentrasi awal  $\text{Ca}^{2+}$  dalam larutan  $\text{CaCl}_2$  dengan variasi konsentrasi awal  $\text{Ca}^{2+}$  yang didapatkan sebesar 212; 310 dan 408 ppm serta menggunakan kecepatan pengadukan sebesar 0; 125; 250 dan 375 rpm.



Gambar 4.1 Grafik Penyisihan Ion Kalsium dengan Konsentrasi Awal  $\text{Ca}^{2+}$  : (a) 212 ppm ; (b) 310 ppm; dan (c) 408 ppm

Berdasarkan Gambar 4.1. dapat diketahui bahwa efisiensi penyisihan dari  $\text{Ca}^{2+}$  dipengaruhi oleh faktor konsentrasi, pada kecepatan pengadukan 0 rpm dengan konsentrasi

awal 212 ppm didapatkan efisiensi penyisihan  $\text{Ca}^{2+}$  sebesar 50,54%, pada konsentrasi awal 310 ppm didapatkan efisiensi penyisihan  $\text{Ca}^{2+}$  sebesar 50,01% dan pada konsentrasi awal 408 ppm didapatkan efisiensi penyisihan sebesar 46,31%. Pada kecepatan pengadukan 125 rpm dengan konsentrasi awal 212 ppm didapatkan efisiensi penyisihan  $\text{Ca}^{2+}$  sebesar 71,74%, pada konsentrasi awal 310 ppm didapatkan efisiensi penyisihan  $\text{Ca}^{2+}$  sebesar 65,01% dan pada konsentrasi awal 408 ppm didapatkan efisiensi penyisihan sebesar 57,69%. Pada kecepatan pengadukan 250 rpm dengan konsentrasi awal 212 ppm didapatkan efisiensi penyisihan  $\text{Ca}^{2+}$  sebesar 22,32%, pada konsentrasi awal 310 ppm didapatkan efisiensi penyisihan  $\text{Ca}^{2+}$  sebesar 30,01% dan pada konsentrasi awal 408 ppm didapatkan efisiensi penyisihan sebesar 61,54%. Pada kecepatan pengadukan 375 rpm dengan konsentrasi awal 212 ppm didapatkan efisiensi penyisihan  $\text{Ca}^{2+}$  sebesar 22,25%, pada konsentrasi awal 310 ppm didapatkan efisiensi penyisihan  $\text{Ca}^{2+}$  sebesar 15,02% dan pada konsentrasi awal 408 ppm didapatkan efisiensi penyisihan sebesar 26,92%.

Pada kecepatan yang rendah yakni 0 rpm dan 125 rpm, data pada variasi konsentrasi dengan kecepatan pengadukan yang sama, maka efisiensi penyisihan  $\text{Ca}^{2+}$  akan menurun seiring dengan konsentrasi awal yang meningkat. Hal tersebut dikarenakan oleh meningkatnya konsentrasi  $\text{Ca}^{2+}$  dalam larutan yang akan meningkatkan interaksi antara koagulan dengan  $\text{Ca}^{2+}$  (Cominelis, 2010). Menurut Khandegar (2013), efisiensi penyisihan  $\text{Ca}^{2+}$  akan semakin menurun seiring dengan naiknya konsentrasi polutan awal pada tegangan yang sama. Hal ini dikarenakan jumlah flok  $\text{Al}(\text{OH})_3$  yang terbentuk tidak efektif untuk mengikat jumlah dari  $\text{Ca}^{2+}$  yang terkandung dalam polutan. Koagulan memiliki batas optimum dalam penggunaannya, jika konsentrasi koagulan terlalu rendah, maka terjadi rasio ikatan antara koagulan dengan  $\text{Ca}^{2+}$  semakin kecil karena adanya ruang yang terlalu besar antara koagulan dengan  $\text{Ca}^{2+}$ . Akan tetapi, jika konsentrasi koagulan yang diberikan terlalu besar maka menyebabkan flok-flok besar yang telah terbentuk akan terpecah kembali dan partikel yang telah pecah tidak dapat diikat kembali (Mohammadi, 2014).

Pada kecepatan pengadukan yang lebih tinggi yakni 250 rpm dan 375 rpm, efisiensi penyisihan  $\text{Ca}^{2+}$  semakin meningkat seiring dengan kenaikan konsentrasi. Hal tersebut dikarenakan adanya proses pengadukan yang menyebabkan jarak atau ruang antara koagulan dengan  $\text{Ca}^{2+}$  yang semakin dekat sehingga koagulan yang kontak dengan  $\text{Ca}^{2+}$  semakin besar. Pada kecepatan pengadukan yang lebih tinggi, variabel konsentrasi awal 212 ppm memiliki efisiensi penyisihan yang paling rendah. Hal tersebut dikarenakan, meningkatnya kecepatan pengadukan sehingga menyebabkan kontak antara koagulan dan

$\text{Ca}^{2+}$  yang semakin besar. Peningkatan kecepatan pengadukan dapat menyebabkan partikel koagulan yang belum terikat akan memecah flok-flok yang telah terbentuk sehingga menyebabkan efisiensi penyisihan  $\text{Ca}^{2+}$  semakin rendah. Sedangkan pada variabel konsentrasi yang lebih tinggi yakni 310 ppm dan 408 ppm, dengan meningkatnya konsentrasi tersebut diindikasikan masih terdapat banyak  $\text{Ca}^{2+}$  sehingga dengan konsentrasi koagulan yang sama, efisiensi penyisihan  $\text{Ca}^{2+}$  lebih tinggi dengan efisiensi dari konsentrasi yang lebih rendah 212 ppm. Secara umum, konsentrasi awal polutan memiliki kondisi optimum dalam faktor kecepatan pengadukan sehingga dapat diperoleh efisiensi penyisihan yang optimum (Nandi, 2013). Oleh sebab itu, dibutuhkan suatu kondisi optimum terutama pada faktor kecepatan pengadukan.

Pada Tabel 4.1. dapat diketahui bahwa, arus awal yang terukur pada larutan sintesis  $\text{Ca}^{2+}$  akan semakin meningkat dengan meningkatnya konsentrasi awal polutan. Hal ini dikarenakan  $\text{Ca}^{2+}$  berasal dari larutan  $\text{CaCl}_2$ , yang mana larutan  $\text{CaCl}_2$  merupakan larutan elektrolit. Semakin tinggi konsentrasi awal larutan  $\text{CaCl}_2$ , maka menyebabkan arus listrik yang dihasilkan semakin besar (Yildiz, 2008). Peningkatan arus listrik ini terjadi karena ion-ion yang terdapat dalam larutan  $\text{CaCl}_2$  semakin bertambah seiring dengan naiknya konsentrasi awal larutan  $\text{CaCl}_2$ . Ion-ion tersebut berfungsi sebagai media dalam menghantarkan arus listrik. Larutan  $\text{CaCl}_2$  akan terionisasi menjadi ion-ion seperti dibawah ini.



Ion-ion yang dihasilkan akan bergerak dengan bebas untuk menghantarkan arus listrik dalam larutan (Yildiz, 2008).

Pada Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa pada konsentrasi 212 ppm dengan kecepatan pengadukan 375 rpm didapatkan arus 0,28 A menghasilkan massa Al terdisolusi sebesar 0,1430 gram, pada konsentrasi 310 ppm dengan kecepatan pengadukan 375 rpm didapatkan arus 0,41 A menghasilkan massa Al terdisolusi sebesar 0,1709 gram, sedangkan pada konsentrasi 408 ppm dengan kecepatan pengadukan 375 rpm didapatkan arus 0,50 A menghasilkan massa Al terdisolusi sebesar 0,2029 gram. Dari data tersebut, dapat disimpulkan bahwa semakin meningkat konsentrasi awal polutan maka semakin besar arus listrik yang terukur, yang mana arus listrik. Semakin besar arus yang digunakan, maka semakin besar juga massa Al yang terdisolusi. Sebaliknya semakin kecil besar arus yang digunakan, maka massa Al yang terdisolusi akan semakin kecil (Daneshvar, 2013). Pernyataan tersebut sesuai dengan hukum Faraday.

$$m = \frac{I.t.M}{z.F} \quad (4.1-2)$$

Dimana: m = Massa Al Anoda teoritis (g)

I = Arus Listrik (Ampere)

t = waktu (detik)

M = Massa molekul dari elektroda (g/mol)

z = muatan elektron logam anoda terdisolusi

F = Konstanta Faraday (96.486 C/mol).

(Den, 2016)

Tabel 4.1. Data Hasil Penelitian

Konsentrasi Ion Kalsium dan Kecepatan Pengadukan	Arus Listrik Terukur (A)		pH		Massa Terdisolusi (gram)	Efisiensi Penyisihan Ca <sup>2+</sup> (%)
	Awal	Akhir	Awal	Akhir		
212 ppm dan 0 rpm	0,27	0,13	7,12	4,46	0,0601	50,56
212 ppm dan 125 rpm	0,32	0,17	7,68	4,46	0,1696	73,32
212 ppm dan 250 rpm	0,33	0,16	7,02	4,46	0,1658	26,67
212 ppm dan 375 rpm	0,28	0,13	7,20	4,41	0,1430	28,18
310 ppm dan 0 rpm	0,31	0,19	7,23	4,22	0,0344	50,01
310 ppm dan 125 rpm	0,34	0,17	8,03	4,35	0,1679	63,54
310 ppm dan 250 rpm	0,39	0,24	7,15	4,33	0,1501	30,01
310 ppm dan 375 rpm	0,41	0,25	7,57	4,24	0,1709	32,29
408 ppm dan 0 rpm	0,40	0,28	8,23	4,09	0,0209	45,31
408 ppm dan 125 rpm	0,44	0,19	8,14	4,11	0,1469	57,69
408 ppm dan 250 rpm	0,49	0,30	8,13	3,96	0,1809	61,54
408 ppm dan 375 rpm	0,50	0,29	8,08	4,15	0,2029	34,39

Pada Tabel 4.1. dapat disimpulkan bahwa, secara umum semakin besar arus listrik yang digunakan maka semakin cepat laju disolusi anoda. Jumlah Al yang terdisolusi akan mempengaruhi dari koagulan yang dihasilkan. Semakin besar massa Al yang terdisolusi, maka semakin banyak koagulan yang dihasilkan (Daneshvar, 2013). Namun pada kondisi arus yang berlebih, dapat menyebabkan terbentuknya suatu lapisan film pada elektroda sehingga menyebabkan terjadinya pasivasi elektroda. Lapisan film tersebut menyebabkan terhambatnya pergerakan dari elektron pada sisi elektroda (Ignatov, 2015).

Kondisi tersebut berdampak pada proses disolusi Al, sehingga jumlah koagulan yang dihasilkan akan stabil atau tidak dapat bertambah. Pada arus yang sama, terdapat data perbedaan massa Al yang terdisolusi. Hal tersebut disebabkan oleh adanya faktor pengadukan yang mana dapat menyebabkan massa Al terdisolusi berbeda dengan arus yang sama (Can, 2003).

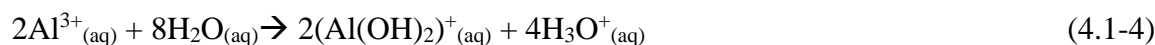
Pada penelitian ini terdapat beberapa data yang berlawanan dengan teori. Pada Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa pada konsentrasi 212 ppm dengan kecepatan pengadukan 0 rpm didapatkan arus 0,27 A menghasilkan massa Al terdisolusi sebesar 0,0601 gram, pada konsentrasi 310 ppm dengan kecepatan pengadukan 0 rpm didapatkan arus 0,31 A menghasilkan massa Al terdisolusi sebesar 0,0344 gram, sedangkan pada konsentrasi 408 ppm dengan kecepatan pengadukan 0 rpm didapatkan arus 0,40 A menghasilkan massa Al terdisolusi sebesar 0,0209 gram. Pada data tersebut berlawanan dengan teori yang menyatakan bahwa semakin besar arus listrik yang terukur, maka massa Al yang terdisolusi semakin besar. Hal tersebut dapat diindikasikan, pada arus yang semakin tinggi seiring meningkatnya konsentrasi terjadi pembentukan lapisan film pada elektroda, sehingga menyebabkan pasivasi elektroda yang menyebabkan jumlah massa Al yang terdisolusi tidak dapat bertambah (Ignatov, 2015).

Menurut Lichtfouse (2013), pH awal merupakan faktor yang penting dalam proses elektrokoagulasi. pH awal polutan untuk mendapatkan hasil efisiensi yang tinggi adalah mendekati 7. pH awal dapat mempengaruhi dari pembentukan flok  $\text{Al(OH)}_3$ . Menurut Brahmi (2015), pembentukan koagulan  $\text{Al(OH)}_3$  tergantung pada pH yang digunakan. Berikut merupakan reaksi pembentukan koagulan pada pH 2, pH 7 dan pH 10.

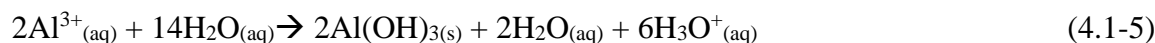
Pada pH 7 :



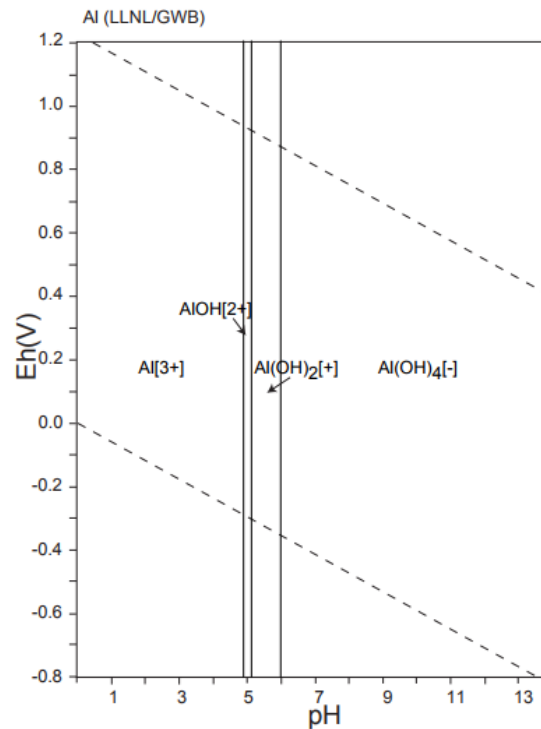
Pada kondisi asam (pH 2) :



Pada kondisi basa (pH 10) :



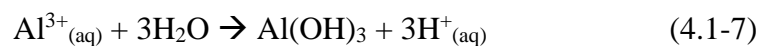
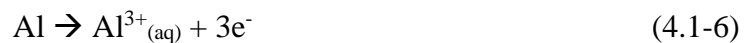
Pada kondisi operasi yang terlalu basa atau asam,  $\text{Al(OH)}_3$  yang terbentuk menjadi tidak larut (*insoluble*), sehingga koagulan yang dihasilkan kurang efisien dalam mengikat  $\text{Ca}^{2+}$ . Pada kondisi pH basa (>8), terjadi pembentukan lapisan film pada aktif elektroda (*anode*), sehingga mengurangi sisi aktif dari anoda tersebut (Brahmi, 2015).



Gambar 4.2. Diagram Pourbaix Alumunium

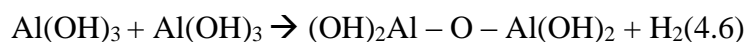
Berdasarkan Gambar 4.2. jenis koagulan atau monomer yang dihasilkan dalam proses elektrokoagulasi merupakan jenis monomer  $\text{AlOH}^{2+}$  dan  $\text{Al(OH)}_2^+$ . Hal tersebut dikarenakan, dalam penelitian ini pH larutan yang digunakan akan cenderung menurun seiring bertambahnya waktu elektrokoagulasi.

Dari tabel 4.1. dapat dilihat bahwa nilai pH akhir setiap variabel konsentrasi dan kecepatan pengadukan selalu turun. Nilai pH akhir yang didapatkan setelah proses elektrokoagulasi adalah pada kondisi asam antara 3,96-4,46. Hal tersebut disebabkan terbentuknya ion  $\text{H}^+$  pada katoda selama proses elektrokoagulasi (Lichtfouse, 2013). Berikut merupakan reaksi dalam proses elektrokoagulasi (Mollah, 2001)



Pada persamaan (4.1.7), semakin banyak jumlah ion  $\text{Al}^{3+}$ , maka semakin banyak jumlah ion  $\text{H}^+$  sehingga menyebabkan pH larutan semakin turun. Perubahan pH selama proses elektrokoagulasi merupakan faktor yang penting. Hal tersebut disebabkan pH merupakan salah satu parameter untuk menghasilkan spesies monomer Al yang nantinya digunakan sebagai koagulan. Pada pH awal sekitar 7 - 8, akan terbentuk monomer Al yakni  $\text{Al(OH)}^{2+}$ ,  $\text{Al(OH)}_2^+$ ,  $\text{Al(OH)}_3$ , dan  $\text{Al(OH)}_4^-$ . Monomer-monomer tersebut akan

saling berikatan membentuk suatu polimer atau polikoagulasn. Polikoagulan tersebut digunakan untuk mengikat ion kalsium pada proses elektrokoagulasi.



(Lichfousse, 2013)



(Mollah, 2001)

Pada Tabel 4.1, data pH akhir larutan pada konsentrasi 212 ppm antara 4,41 – 4,46, pada konsentrasi 310 ppm pH akhir larutan antara 4,42 – 4,35 dan pada konsentrasi 408 ppm pH akhir larutan antara 3,96 – 4,15. Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa semakin meningkat konsentrasi awal  $\text{Ca}^{2+}$ , maka pH akhir proses yang didapatkan akan semakin kecil.

Berdasarkan Gambar 4.1 (a), didapatkan data pada konsentrasi awal  $\text{Ca}^{2+}$  terjadi peningkatan efisiensi penyisihan  $\text{Ca}^{2+}$  seiring dengan meningkatnya waktu elektrokoagulasi. Akan tetapi, pada konsentrasi awal 310 ppm memiliki persen efisiensi penyisihan  $\text{Ca}^{2+}$  yang lebih tinggi dibandingkan dengan variabel konsentrasi awal 212 ppm selama 0 sampai dengan 100 menit. Hal tersebut disebabkan pada konsentrasi awal 310 ppm memiliki arus awal yang lebih besar daripada arus awal pada konsentrasi awal 212 ppm sehingga menyebabkan massa Al yang terdisolusi pada konsentrasi awal 310 ppm lebih banyak. Jumlah Al terdisolusi yang banyak dapat menghasilkan jumlah koagulan yang lebih banyak. Namun, pada menit ke 120 efisiensi penyisihan  $\text{Ca}^{2+}$  dengan variabel konsentrasi awal 310 ppm lebih rendah dibandingkan pada variabel konsentrasi awal 212 ppm. Hal tersebut dikarenakan jumlah koagulan yang berlebih (*overdosis*) sehingga menyebabkan pecahnya flok-flok yang telah terbentuk. Pada konsentrasi awal 408 ppm, efisiensi penyisihan terus meningkat seiring dengan lamanya waktu elektrokoagulasi. Akan tetapi, pada konsentrasi 408 ppm memiliki persen efisiensi yang lebih rendah dibandingkan dengan variasi konsentrasi awal 212 ppm dan 310 ppm. Hal tersebut dapat diindikasikan adanya *passivasi electrode* sehingga menyebabkan produksi dari koagulan terhambat. Berdasarkan pernyataan tersebut, perlu adanya pengadukan untuk meningkatkan kontak antara koagulan dengan  $\text{Ca}^{2+}$  dan meminimalkan terjadinya *passivasi electrode*.

Pada Gambar 4.1 (b), didapatkan data peningkatan efisiensi penyisihan  $\text{Ca}^{2+}$  dari masing-masing variabel konsentrasi awal  $\text{Ca}^{2+}$  yakni 212 ppm, 310 ppm dan 408 ppm. Pada grafik tersebut, variabel konsentrasi awal 212 ppm dengan pengadukan 125 rpm

memiliki efisiensi tertinggi. Hal tersebut dikarenakan dengan adanya pengadukan maka menyebabkan proses pengikatan antara koagulan dengan  $\text{Ca}^{2+}$  lebih cepat. Pada variabel konsentrasi awal 212 ppm dapat diindikasikan konsentrasi koagulan yang diproduksi telah mencapai batas optimum sehingga tidak terjadi pecahnya partikel flok yang dapat menurunkan efisiensi. Pada variabel konsentrasi awal 310 ppm dengan pengadukan 125 rpm memiliki kecenderungan yang sama dengan variabel konsentrasi awal 212 ppm. Namun, pada variabel konsentrasi awal 310 ppm memiliki efisiensi yang lebih rendah dibandingkan dengan variabel konsentrasi awal 212 ppm. Hal tersebut dikarenakan, pada variabel konsentrasi awal 310 ppm memiliki kandungan  $\text{Ca}^{2+}$  yang lebih banyak daripada variabel konsentrasi awal 212 ppm, sehingga kecepatan pengadukan belum mencapai batas optimum dalam mempercepat proses kontak antara koagulan dengan  $\text{Ca}^{2+}$ . Sedangkan pada variabel konsentrasi awal 408 ppm dengan kecepatan pengadukan 125 rpm memiliki kecenderungan yang sama dengan variabel konsentrasi awal 310 ppm dan 408 ppm. Namun, pada menit ke 0 sampai dengan 60 menit efisiensi penyisihan variabel konsentrasi awal 408 ppm lebih tinggi dibandingkan dengan variabel konsentrasi awal 310 ppm. Hal tersebut dikarenakan, pada konsentrasi awal 408 ppm memiliki arus awal yang lebih tinggi, sehingga produksi dari koagulan juga semakin cepat. Akan tetapi, pada menit ke 100 dapat diindikasikan telah terjadi *passivasi electrode* sehingga menghambat laju disolusi dari elektroda Al. Secara umum, pada variabel variasi konsentrasi dengan kecepatan pengadukan 125 rpm dapat disimpulkan bahwa efisiensi akhir dari penyisihan  $\text{Ca}^{2+}$  akan semakin menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi awal  $\text{Ca}^{2+}$ .

Pada Gambar 4.1 (c), didapatkan data peningkatan efisiensi penyisihan  $\text{Ca}^{2+}$  pada variasi konsentrasi awal 212 ppm dan 310 ppm dari menit 0 sampai dengan menit ke- 80. Efisiensi penyisihan pada konsentrasi awal 310 ppm lebih tinggi daripada konsentrasi awal 212 ppm. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1, pada kecepatan pengadukan 250 rpm dengan variasi konsentrasi 212 ppm dan 310 ppm memiliki arus awal yang hampir sama sehingga jumlah Al yang terdisolusi juga hampir sama. Akan tetapi, dengan pengadukan yang sama, variabel konsentrasi 212 ppm memiliki jarak antar ion yakni  $\text{Ca}^{2+}$  yang lebih jauh daripada jarak antar  $\text{Ca}^{2+}$  pada variabel konsentrasi 310 ppm sehingga menyebabkan proses pengikatan antara koagulan dengan  $\text{Ca}^{2+}$  yang lebih rendah. Hal tersebut yang mengakibatkan efisiensi dari variabel konsentrasi awal 212 ppm lebih rendah daripada variabel konsentrasi awal 310 ppm. Pada menit ke 100 sampai dengan 120 menit, efisiensi penyisihan pada variabel konsentrasi 212 ppm dan 310 ppm semakin menurun. Peristiwa tersebut dapat diindikasikan bahwa telah terjadi pemecahan flok-flok yang telah terbentuk



karena kecepatan pengadukan yang terlalu cepat. Sedangkan pada variabel konsentrasi awal 408 ppm, secara umum memiliki kecenderungan efisiensi penyisihan yang semakin meningkat seiring dengan bertambahnya waktu. Pada variabel 408 ppm dapat diindikasikan konsentrasi koagulan yang diproduksi telah mencapai batas optimum sehingga tidak terjadi pecahnya partikel flok yang dapat menurunkan efisiensi. Kecepatan pengadukan sebesar 250 rpm dapat disimpulkan merupakan batas optimum pada konsentrasi awal 408 ppm, sehingga pada kecepatan tersebut tidak terjadi pemecahan dari flok-flok yang telah terbentuk.

Pada Gambar 4.1 (d), pada variabel konsentrasi awal 212 ppm dari menit 0 sampai dengan 80 menit memiliki efisiensi yang lebih rendah dibandingkan dengan variabel konsentrasi awal 310 ppm dan 408 ppm. Hal tersebut dikarenakan pada konsentrasi awal 212 ppm arus awal yang lebih kecil sehingga massa Al yang terdisolusi juga kecil. Faktor lain yang menyebabkan efisiensi dari konsentrasi awal 212 ppm yang lebih rendah adalah jarak antar ion  $\text{Ca}^{2+}$  yang berjauhan sehingga menyebabkan proses pengikatan antara koagulan dengan  $\text{Ca}^{2+}$  yang lebih rendah. Sedangkan pada variabel konsentrasi awal 310 ppm, memiliki arus awal yang lebih besar dibandingkan dengan arus pada konsentrasi 212 ppm, sehingga massa Al yang terdisolusi lebih banyak. Hal tersebut yang menyebabkan efisiensi pada konsentrasi awal 310 ppm lebih tinggi daripada efisiensi penyisihan dengan konsentrasi 200 ppm. Pada variabel konsentrasi awal 408 ppm, memiliki arus awal yang lebih besar dibandingkan dengan arus pada konsentrasi 310 ppm, sehingga massa Al yang terdisolusi lebih banyak. Hal tersebut yang menyebabkan efisiensi pada konsentrasi awal 408 ppm lebih tinggi daripada efisiensi penyisihan dengan konsentrasi 310 ppm. Akan tetapi, pada variabel konsentrasi awal 408 ppm pada menit 60 telah terjadi penurunan dari efisiensi penyisihan  $\text{Ca}^{2+}$ . Hal tersebut dikarenakan jumlah massa Al yang diproduksi banyak yang menyebabkan jumlah koagulan yang dihasilkan juga banyak sehingga konsentrasi koagulan dapat diindikasikan melebihi batas optimum sehingga dapat memecah flok-flok yang telah terbentuk. Fenomena tersebut didukung dengan adanya kecepatan yang terlalu tinggi sehingga mempercepat kontak antara koagulan dengan  $\text{Ca}^{2+}$ . Sedangkan pada konsentrasi awal 212 ppm dan 310 ppm, efisiensi penyisihan  $\text{Ca}^{2+}$  menurun pada menit ke 80. Hal tersebut dapat diindikasikan telah terjadi pemecahan dari flok-flok yang terbentuk. Ditinjau dari efisiensi akhir, kecepatan yang terlalu tinggi akan meningkatkan efisiensi penyisihan seiring dengan meningkatnya konsentrasi awal polutan. Hal tersebut dikarenakan oleh konsentrasi yang terlalu encer memiliki jarak antar molekul yang berjauhan sehingga rasio kontak antara koagulan dengan  $\text{Ca}^{2+}$  semakin kecil. Selain

itu, dosis atau konsentrasi koagulan yang berlebih juga dapat menurunkan efisiensi karena dapat memecah flok-flok yang telah terbentuk.

#### **4.2. Pengaruh Kecepatan Pengadukan Terhadap Penyisihan Ion Kalsium**

Pada penelitian ini, digunakan variasi kecepatan pengadukan yakni 0 (tanpa pengadukan), 125, 250, dan 375 rpm. Grafik dibawah ini menunjukkan hasil penelitian pengaruh kecepatan pengadukan terhadap penyisihan kalsium.

Pada Gambar 4.2 (a), yakni pada konsentrasi awal  $\text{Ca}^{2+}$  212 ppm menunjukkan bahwa pengaruh kecepatan pengadukan dapat meningkatkan penyisihan ion kalsium. Pada kondisi tanpa pengadukan, efisiensi penyisihan hanya mencapai 50,56% setelah 120 menit proses. Pada pengadukan dengan kecepatan 125 rpm, terjadi peningkatan efisiensi menjadi 73,32%. Namun, pada penelitian ini terjadi penurunan efisiensi pada kondisi kecepatan pengadukan 250 rpm menjadi 26,67% dan pada 375 rpm menjadi sebesar 28,18%. Hal ini dikarenakan besarnya kecepatan pengadukan yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan flok-flok yang terbentuk dan larutan akan terlihat semakin keruh. Pada kondisi tanpa kecepatan pengadukan, pembentukan flok akan semakin lambat, sehingga akan semakin lama pula terbentuk endapan (Brahmi, 2015). Menurut Parsa(2011), kecepatan pengadukan pada larutan dapat menyebabkan meningkatnya kontak antara flok dan aglomerasi selama proses.

Pada penelitian ini, kondisi sama terjadi pada Gambar 4.2 (b) yakni pada konsentrasi awal  $\text{Ca}^{2+}$  310 ppm diperoleh efisiensi penyisihan ion kalsium terbesar pada kondisi 125 rpm sebesar 63,54% setelah 120 menit proses. Sedangkan pada kondisi tanpa pengadukan efisiensi hanya mencapai 50,01% dan terjadi penurunan yang signifikan pada kecepatan pengadukan 250 dan 375 rpm yakni sebesar 30,01% dan 32,29%.

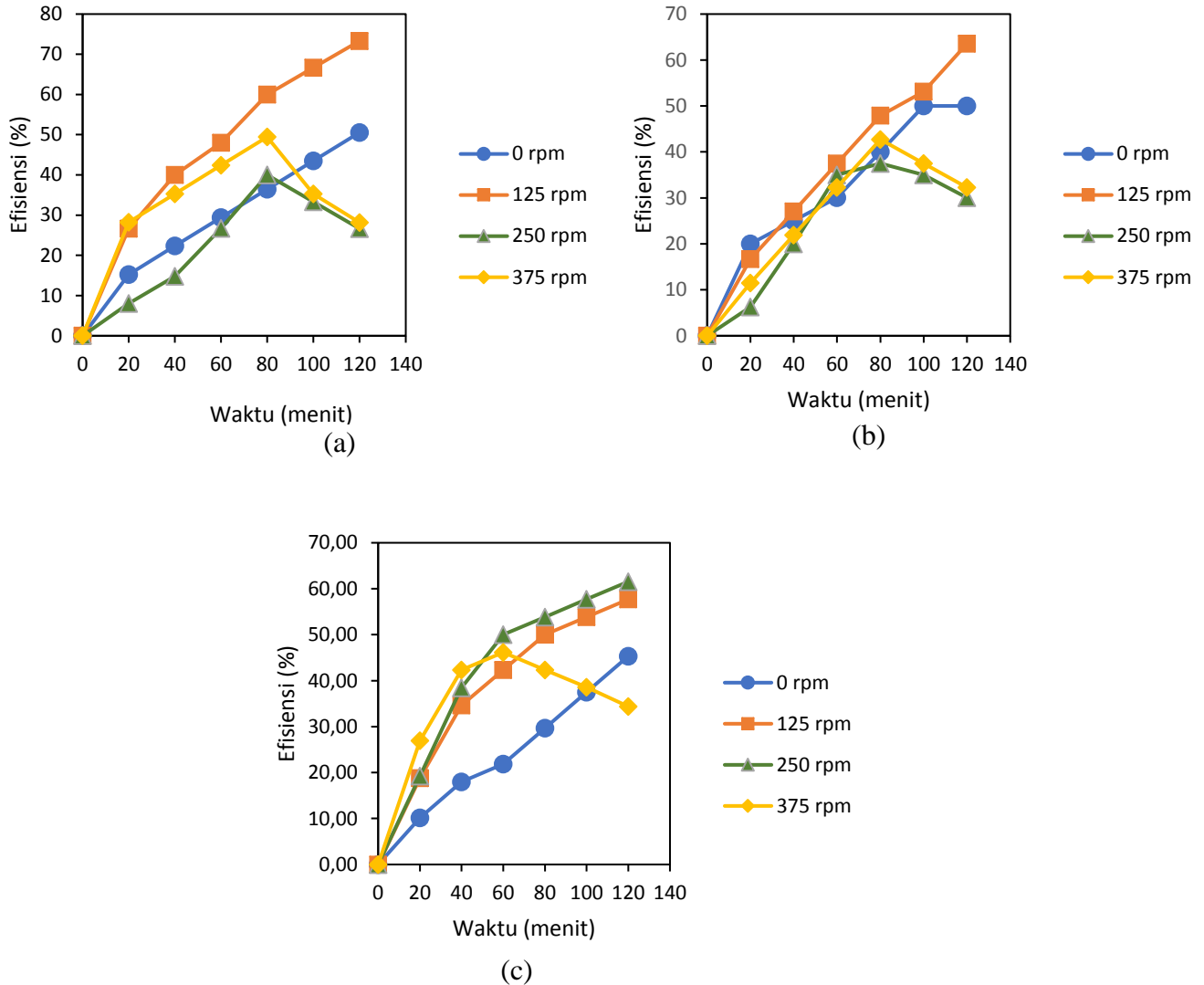
Hasil penelitian dengan konsentrasi 408 ppm Gambar 4.2. (c), menunjukkan bahwa ketika kecepatan pengadukan meningkat dari 125 rpm ke 250 rpm, sehingga flok akan terdegradasi. Pada kondisi ini, efisiensi terbesar pada kecepatan pengadukan 250 rpm sebesar 61,54%. Meningkatnya kecepatan pengadukan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan penurunan efisiensi yang signifikan, sehingga pada kecepatan pengadukan 375 rpm efisiensi menjadi 34,39% (Bayar, 2011). Hal ini dikarenakan, kecepatan pengadukan yang terlalu tinggi dapat memecah flok yang terbentuk, sehingga besarnya kecepatan pengadukan harus optimum. Kecepatan pengadukan yang optimum dapat menghasilkan efisiensi maksimum. Sedangkan kecepatan pengadukan yang terlalu tinggi dapat menurunkan efisiensi yang mungkin disebabkan oleh destabilisasi flok  $\text{Al}(\text{OH})_3$  (Can, 2003).

Besarnya kecepatan pengadukan dapat mempengaruhi arus listrik, seperti yang ditunjukkan pada tabel, dinyatakan bahwa semakin tinggi kecepatan pengadukan maka arus listrik yang terukur akan semakin tinggi. Selain itu, kecepatan pengadukan juga mempengaruhi besarnya tegangan dan energi yang dikonsumsi, sebagaimana menurut Can (2014), meningkatnya hambatan akan dapat meningkatkan tegangan dan energi yang dikonsumsi pada saat proses berlangsung.

Pada data Tabel 4.1 yakni pada kondisi konsentrasi awal ion kalsium 212 ppm dengan kecepatan pengadukan 0 rpm dan 375 rpm memiliki nilai arus listrik yang sama yakni 0,13 A. Begitu pula arus listrik pada konsentrasi 212 dan 310 ppm pada kecepatan pengadukan 125 rpm sebesar 0,17 A, serta pada 310 ppm kecepatan pengadukan 0 rpm dan 408 ppm kecepatan pengadukan 125 rpm bernilai 0,19 A. Berdasarkan hasil tersebut, bahwa pengaruh kecepatan pengadukan terhadap arus listrik tidak terlalu signifikan.

Selain itu, kecepatan pengadukan juga mempengaruhi disolusi anoda meskipun tidak terlalu besar seperti terlihat pada Tabel 4.1. Pada penelitian ini digunakan anoda berupa Al, dimana kecepatan pengadukan dapat menyebabkan koagulan akan mudah terbentuk sehingga semakin banyak anoda yang dihasilkan. Anoda yang dihasilkan tersebut dapat dihitung berdasarkan jumlah anoda yang terdisolusi. Banyaknya koagulan yang terbentuk dapat mempercepat penyisihan ion kalsium (Brahmi, 2015). Selain itu, pada kecepatan pengadukan optimum, akan terbentuk  $\text{Al(OH)}_3$  yang dapat meningkatkan transfer massa dan memudahkan terbentuknya endapan (Naje, 2015).

Pada penelitian ini, dengan kondisi konsentrasi awal ion kalsium 212, 310, dan 408 ppm, kenaikan efisiensi signifikan terjadi pada rentang waktu 0-20 menit. Seperti terlihat pada gambar 4.2 (a) dengan variasi 0-375 rpm dihasilkan selisih efisiensi penyisihan yaitu 15,25% ; 26,60 % ; 8,00 % dan 28,26 % . Pada gambar 4.3 (b) selisih efisiensi penyisihan sebesar 20,01% ; 16,67%; 6,25% dan 11,46 % , sedangkan pada gambar 4.2 (c) selisih efisiensi penyisihan yakni, 10,16% , 18,77%, 19,23% dan 26,92%. Hal ini dikarenakan pada rentang waktu 0-20 menit, aluminium yang terdisolusi mengalami titik optimum, sehingga anoda yang terdisolusi akan bereaksi dengan ion  $\text{OH}^-$  untuk membentuk koagulan  $\text{Al(OH)}_3$  dan akan mengikat  $\text{Ca}^{2+}$  lebih banyak.



Gambar 4.3 Grafik Penyisihan Ion Kalsium dengan Kecepatan Pengadukan : (a) 0 rpm; (b) 125 rpm ; (c) 250 rpm dan (d) 375 rpm

Pada penelitian ini pH larutan sampel saat proses elektrokoagulasi berada pada 4,09 – 8,23 . Dimana dengan kecepatan berbeda diperoleh pula pH yang berbeda. Berdasarkan Tabel 4.1 terjadi penurunan pH yang cukup signifikan, hal ini dikarenakan adanya anoda yang terdisolusi membentuk koagulan  $\text{Al}(\text{OH})_3$  dan ion  $\text{H}^+$  yang akan dilepaskan ke larutan yang akan membuat larutan dalam kondisi asam. Selain itu adanya penurunan pH disebabkan oleh adanya ion  $\text{OH}^-$  terkonsumsi. Pada penelitian ini, pada kondisi konsentrasi awal ion kalsium 212 dan 310 ppm, penurunan pH secara signifikan terjadi pada kecepatan 125 rpm . Sedangkan pada konsentrasi awal 408 ppm, penurunan pH signifikan terjadi pada kecepatan 125 rpm. Hal ini berkaitan dengan efisiensi penyisihan ion kalsium, dimana tingginya efisiensi disebabkan karena banyaknya massa Al terdisolusi.