



TUGAS AKHIR - RE 141581

**RECOVERY ION AMMONIUM DAN FOSFAT DARI AIR LIMBAH
PT PETROKIMIA GRESIK DENGAN PROSES ELEKTRODIALISIS**

GALUH SEKAR ARUM
0321144000063

Dosen Pembimbing
Arseto Yekti Bagastyo ST, MT, M.Phil, Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK LINGK



TUGAS AKHIR - RE 141581

***RECOVERY ION AMMONIUM DAN FOSFAT DARI AIR LIMBAH
PT PETROKIMIA GRESIK DENGAN PROSES ELEKTRODIALISIS***

**GALUH SEKAR ARUM
0321144000063**

**Dosen Pembimbing
Arseto Yekti Bagastyo ST, MT, M.Phil, Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**



FINAL PROJECT - RE 141581

***RECOVERY AMMONIUM AND PHOSPHATE IONS FROM
WASTEWATER IN PT PETROKIMIA GRESIK USING
ELECTRODIALYSIS***

**GALUH SEKAR ARUM
0321144000063**

**Supervisor
Arseto Yekti Bagastyo ST, MT, M.Phil, Ph.D**

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil, Environment, and Geoscience
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**

LEMBAR PENGESAHAN

**RECOVERY ION AMMONIUM DAN FOSFAT DARI AIR
LIMBAH PT PETROKIMIA GRESIK DENGAN PROSES
ELEKTRODIALISIS**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

GALUH SEKAR ARUM
NRP. 0321144000063

Disetujui Oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Arseto Yekti Bagastyo, ST, MT, M.Phil., Ph.D
NIP. 19820804 200501 1 001

SURABAYA
JULI, 2018



“halaman ini sengaja dikosongkan”

RECOVERY ION AMMONIUM DAN FOSFAT DARI AIR LIMBAH PT PETROKIMIA GRESIK DENGAN PROSES ELEKTRODIALISIS

Nama : Galuh Sekar Arum
NRP : 0321144000063
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Arseto Yekti Bagastyo ST., MT.,
M.Phil., Ph.D

ABSTRAK

Air limbah inlet *Point L* PT Petrokimia Gresik mengandung konsentrasi ion ammonium (NH_4^+) sebesar 3.395,4 mg/L dan fosfat (PO_4^{3-}) sebesar 12.725 mg/L. Ion – ion tersebut memiliki potensi untuk dimanfaatkan kembali dengan pembentukan mineral *struvite*. Namun, air limbah tersebut juga memiliki konsentrasi ion fluor (F^-) sebesar 1.157,5 mg/L sehingga dapat mengganggu proses pembentukan *struvite*. Proses elektrodialisis sebagai pra pengolahan air limbah tersebut dilakukan untuk mendapatkan konsentrasi ion ammonium dan fosfat sebanyak – banyaknya dan dengan konsentrasi ion pengotor yang rendah. Faktor dasar yang mempengaruhi proses elektrodialisis adalah nilai pH dan kuat arus listrik. Sehingga penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai arus listrik yang efektif dan menentukan nilai pH untuk mencegah potensi pembentukan kerak (*scaling*) pada permukaan membran.

Reaktor yang digunakan untuk penelitian ini adalah reaktor elektrodialisis yang terdiri dari 5 kompartemen. Anoda yang digunakan adalah perak sedangkan katoda yang digunakan adalah *stainless steel*. Sistem yang digunakan adalah *batch* dan dioperasikan selama 6 jam dengan 7 titik waktu pengambilan sampel. Elektroda dialiri arus listrik *Direct Current* (DC) dengan variasi kuat arus 0,05A; 0,1A; dan 0,15A. Air limbah yang diolah adalah air limbah inlet *Point L* PT Petrokimia Gresik dengan variasi pH awal 5, 7, dan 9. Parameter utama yang dianalisis meliputi pH, TDS, PO_4^{3-} , NH_4^+ , dan F^- .

Proses elektrodialisis dengan kuat arus 0,1A menghasilkan produk dengan *recovery* massa ammonium dan fosfat sebesar 2.325 mg/L dan 8.610 mg/L. Selain itu, produk mengandung konsentrasi ion F⁻ yang rendah sebesar 344 mg/L. Air limbah dengan pH 7 dapat mencegah pembentukan *scaling* pada permukaan membran karena diperkirakan membentuk massa TSS terendah sebesar 21,42 mg setelah 69 jam waktu operasi.

Kata Kunci : ammonium, elektrodialisis, fosfat, fluor, membrane scaling, struvite

RECOVERY OF AMMONIUM AND PHOSPHATE IONS FROM WASTEWATER IN PT PETROKIMIA GRESIK USING ELECTRODIALYSIS

Name : Galuh Sekar Arum
Registration number : 0321144000063
Department : Teknik Lingkungan
Supervisor : Arseto Yekti Bagastyo ST., MT.,
M.Phil., Ph.D

ABSTRACT

Wastewater from PT Petrokimia Gresik inlet *Point L* contained 3,395.4 mg/L of ammonium ion and 12,725 mg/L of phosphate ion. Those ions were potential for being reused by forming *struvite* minerals. However, the wastewater also had 1,157.5 mg/L of fluor ion which can interfere the formation of *struvite* minerals. Electrodialysis as pre treatment was implemented to produce high recovery which contains high concentration of phosphate ion and ammonium ion but with low concentration of fluor ion. The basic factors that affect electrodialysis process are pH value and electric current. Therefore, the aim of this research is to determine the effective electric current and determine the pH value in order to prevent the possibility of scaling formation on membrane surface.

A laboratory-scale electrodialysis reactor was designed to create 5 compartments which used silver as anode and stainless steel as cathode. The system was performed in batch process during 6 hours operational time. Direct Current (DC) was applied on the electrodes with 3 variations of electric current ; 0.5A, 0.1A, and 0.15A. The wastewater treated in this research was wastewater from PT Petrokimia Gresik inlet *Point L* with 3 variations of initial pH which were 5, 7, and 9. The main parameter analyzed were pH, TDS, PO_4^{3-} , NH_4^+ , dan F^- .

As a result, electrodialysis process with 0.1A as electric current gave the best performance in recovery of ammonium and phosphate which were 2,325 mg/L and 8,610 mg/L respectively. Moreover, the product of this operation contained low

concentration of F^- ion as much as 344 mg/L. Wastewater at pH 7 was able to prevent the possible scaling formation due to its lowest TSS value formed as much as 21.42 mg after 69 hours of operation time.

Keywords : *ammonium, elektrodialysis, fluor, membrane scaling, phosphate, struvite*

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya ucapkan pada Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya saya dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul “*Recovery* Ion Ammonium dan Fosfat dari Air Limbah PT Petrokimia Gresik”.

Atas bimbingan dan pengarahan yang telah diberikan hingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini, saya menyampaikan terimakasih kepada,

1. Bapak Arseto Yekti Bagasyto, ST., MT., M.Phil., Ph.D. selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas segala motivasi, kesabaran, bimbingan, dan arahan yang telah diberikan.
2. Ibu Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MAppSc, Ibu Dr. Ir. Ellina S. Pandebesie, MT., dan Bapak Dr. Ir. Irwan Bagyo S., MT. selaku dosen penguji tugas akhir, terima kasih atas saran, bimbingan dan motivasi yang telah diberikan.
3. Bapak Bagus Eka Saputra dari Departemen LK3 PT Petrokimia Gresik selaku pembimbing selama kegiatan di PT Petrokimia Gresik, Gresik, Jawa Timur, terima kasih telah memberikan arahan dan memfasilitasi selama pengambilan sample di PT Petrokimia Gresik.
4. Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia melalui Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi (PUPT), terima kasih atas bantuan dana selama pelaksanaan Tugas Akhir.
5. Keluarga yang selalu memberikan doa serta dukungan selama ini
6. Bapak Hadi Sutrisno selaku laboran Teknik Lingkungan yang senantiasa membantu dan memfasilitasi kegiatan di laboratorium
7. Teman-teman angkatan 2014 yang selalu memberikan semangat kepada saya dan siap membantu dikala saya membutuhkan bantuan.

Saya menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu saya menerima saran agar penulisan laporan tugas akhir ini menjadi lebih baik. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juni 2018

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR GRAFIK.....	xxi
BAB 1.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2.....	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Unit Produksi PT Petrokimia Gresik	5
2.2 Pengolahan Limbah Cair oleh PT Petrokimia Gresik	5
2.3 Karakteristik Limbah Cair.....	8
2.4 Baku Mutu Air Limbah bagi Industri.....	9
2.5 Elektrodialisis	10
2.6 Parameter Utama yang Mempengaruhi Proses Elektrodialisis 11	
2.7 Pengaruh Fluor pada Pembentukan <i>Struvite</i>	19
2.8 Hukum Faraday I	20
2.9 Kebutuhan Energi	20
BAB 3.....	23
METODE PENELITIAN	23
3.1 Kerangka Pelaksanaan Penelitian.....	23
3.2 Studi Literatur.....	26

3.3	Penentuan Variabel dan Parameter	26
3.4	Persiapan Penelitian	28
3.5	Penelitian Utama	35
3.6	Analisis dan Pembahasan	37
	BAB 4.....	39
	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1	Penelitian Pendahuluan	39
4.2	Penelitian Utama	45
	BAB 5.....	105
	KESIMPULAN DAN SARAN	105
	DAFTAR PUSTAKA	107
	LAMPIRAN A. PROSEDUR DAN ANALISIS LABORATORIUM	
	111	
	LAMPIRAN B. DATA HASIL ANALISIS	117
	LAMPIRAN C. DOKUMENTASI PENELITIAN	151

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Air Limbah Inlet Point L PT Petrokimia Gresik	8
Tabel 2.2 Karakteristik Air Limbah Pabrik Fosfat PT Petrokimia Gresik	9
Tabel 2.3 Karakteristik Air Limbah Pabrik Ammonium PT Petrokimia Gresik	9
Tabel 2.4 Baku Mutu Air Limbah bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya Pergub Jatim No. 72 Tahun 2013	10
Tabel 2.5 Mobilitas Ion pada Air	11
Tabel 2.6 Mobilitas Spesies Ion Asam Fosfat pada Nilai pH yang Berbeda	14
Tabel 2.7 Spesies Ion Asam Fosfat dan Proporsinya pada Nilai pH yang Berbeda	14
Tabel 2.8 Standard Electrode Potential pada Elektroda	19
Tabel 3.1 Metode Pengukuran Setiap Parameter	27
Tabel 3.2 Spesifikasi AMI-7001S	30
Tabel 3.3 Spesifikasi CMI-7000S	30
Tabel 3.4 Pengambilan Sampel Setiap Satu Siklus Pengamatan (Running)	35
Tabel 3.5 Variasi Sampel Hasil Penelitian	37
Tabel 3.6 Data Sampel Penelitian	37
Tabel 4.1 Karakteristik Air Limbah PT Petrokimia Gresik	40
Tabel 4.2 Perbandingan % Transfer Ion Fosfat dan Fluor	74
Tabel 4.3 Perhitungan Konsumsi Energi Spesifik Parameter PO_4^{3-}	94
Tabel 4.4 Perhitungan Konsumsi Energi Spesifik Parameter NH_4^+	94
Tabel 4.5 Perhitungan Konsumsi Energi Spesifik Parameter F-94	94
Tabel 4.6 Konsentrasi TSS (mg/L) yang Terbentuk Pada Setiap Variasi pH di K2 dan K4	95
Tabel LB.1 Hasil Analisis Parameter Fosfat Proses Elektrodialisis pada Variasi pH Feed 5.....	117
Tabel LB.2 Hasil Analisis Parameter Ammonium Proses Elektrodialisis pada Variasi pH Feed 5.....	119
Tabel LB. 3 Hasil Analisis Parameter Fluor Proses Elektrodialisis pada Variasi pH Feed 5.....	121

Tabel LB.4 Hasil Analisis Parameter Fosfat Proses Elektrodialisis pada Variasi pH Feed 7.....	123
Tabel LB. 5 Hasil Analisis Parameter Ammonium Proses Elektrodialisis pada Variasi pH Feed 7.....	125
Tabel LB. 6 Hasil Analisis Parameter Fluor Hasil Proses Elektrodialisis pada Variasi pH Feed 7.....	127
Tabel LB. 7 Hasil Analisis Parameter Fosfat Hasil Proses Elektrodialisis pada Variasi pH Feed 9.....	129
Tabel LB. 8 Hasil Analisis Parameter Ammonium Hasil Proses Elektrodialisis pada Variasi pH 9.....	131
Tabel LB. 9 Hasil Analisis Parameter Fluor Proses Elektrodialisis pada Variabel pH Feed 9.....	133
Tabel LB.10 Hasil Analisis Parameter pH pada Variasi pH Feed 5.....	135
Tabel LB.11 Hasil Analisis Parameter pH pada Variasi pH Feed 7.....	136
Tabel LB.12 Hasil Analisis Parameter pH pada Variasi pH Feed 9.....	138
Tabel LB.13 Hasil Analisis Parameter TDS pada Variasi pH Feed 5.....	140
Tabel LB.14 Hasil Analisis Parameter TDS pada Variasi pH Feed 7.....	142
Tabel LB.15 Hasil Analisis Parameter TDS pada Variasi pH Feed 9.....	144
Tabel LB.16 Konsumsi Energi Spesifik Recovery Ion Fosfat di K3.....	147
Tabel LB.17 Konsumsi Energi Spesifik Recovery Ion Ammonium di K3.....	148
Tabel LB.18 Konsumsi Energi Spesifik Recovery Ion Fluor di K3.....	149

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Alir Pengaliran Air Limbah PT Petrokimia Gresik	8
Gambar 2.2 Prinsip Proses Elektrodialisis (Chen, 2004)	11
Gambar 3.1 Diagram Kerangka Pelaksanaan Penelitian	26
Gambar 3.2 Sistem Elektrodialisis	33
Gambar 3.3 Denah Reaktor Elektrodialisis	34
Gambar 3.4 Tampak Depan Reaktor Elektrodialisis (3D)	34

“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GRAFIK

Grafik 2.1 Pengaruh pH pada Persenyawaan Ion Fosfat.....	12
Grafik 2.2 Pengaruh pH Pada Persenyawaan Ammonium	13
Grafik 2.3 Pengaruh pH Feed terhadap mobilitas ion fluorida	15
Grafik 2.4 Pengaruh Rapat Arus dengan Beda Potensial Listrik pada Membran Penukar Ion.....	16
Grafik 4.1 Perubahan Kuat Arus dan Tegangan Listrik pada Penelitian Pendahuluan.....	42
Grafik 4.2 Perubahan TDS pada Penelitian Pendahuluan.....	43
Grafik 4.3 Perubahan pH pada Penelitian Pendahuluan	44
Grafik 4.4 Recovery Ion Ammonium K2 Pada Variasi Kuat Arus 0.05 A	46
Grafik 4.5 Recovery Ion Ammonium K2 Pada Variasi Kuat Arus 0.1A	48
Grafik 4.6 Recovery Ion Ammonium K2 Pada Variasi Kuat Arus 0.15A	50
Grafik 4.7 Recovery Ion Fosfat K2 Pada Variasi Kuat Arus 0.05A	52
Grafik 4.8 Recovery Ion Fosfat K2 Pada Variasi Kuat Arus 0.1 A	55
Grafik 4.9 Recovery Ion Fosfat K2 Pada Variasi Kuat Arus 0.15A	57
Grafik 4.10 Recovery Ion Ammonium K4 Pada Variasi Kuat Arus 0.05A	60
Grafik 4.11 Recovery Ion Ammonium K4 Pada Variasi Kuat Arus 0.1A	62
Grafik 4.12 Recovery Ion Ammonium K4 Pada Variasi Kuat Arus 0.15A	65
Grafik 4.13 Recovery Ion Fosfat K4 Pada Variasi Kuat Arus 0.05A	67
Grafik 4.14 Recovery Ion Fosfat K4 Pada Variasi Kuat Arus 0.1A	69
Grafik 4.15 Recovery Ion Fosfat K4 Pada Variasi Kuat Arus 0.15A	71
Grafik 4.16 Perubahan TDS dan pH Pada Feed pH 5 dan Kuat Arus 0.05A	86
Grafik 4.17 Perubahan TDS dan pH Pada Feed pH 7 dan Kuat Arus 0.05A	87

Grafik 4.18 Perubahan TDS dan pH Pada Feed pH 9 dan Kuat Arus 0.05A	87
Grafik 4.19 Perubahan TDS dan pH Pada Feed pH 5 dan Kuat Arus 0.1A	88
Grafik 4.20 Perubahan TDS dan pH Pada Feed pH 7 dan Kuat Arus 0.1A	89
Grafik 4.21 Perubahan TDS dan pH Pada Feed pH 9 dan Kuat Arus 0.1A	89
Grafik 4.22 Perubahan TDS dan pH Pada Feed pH 5 dan Kuat Arus 0.15A	90
Grafik 4.23 Perubahan TDS dan pH Pada Feed pH 7 dan Kuat Arus 0.15A	91
Grafik 4.24 Perubahan TDS dan pH Pada Feed pH 7 dan Kuat Arus 0.15A	91
Grafik 4.25 %Recovery Ion Ammonium pada pH feed 5	96
Grafik 4.26 %Recovery Ion Fosfat pada pH feed 5	97
Grafik 4.27 %Recovery Ion Ammonium pada pH feed 7	98
Grafik 4.28 %Recovery Ion Fosfat pada pH feed 7	98
Grafik 4.29 %Recovery Ion Ammonium pada pH feed 9	99
Grafik 4.30 %Recovery Ion Fosfat pada pH feed 9	100

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT Petrokimia Gresik merupakan salah satu produsen pupuk di Indonesia. Selain memproduksi pupuk, PT Petrokimia Gresik juga memproduksi produk non pupuk, antara lain asam sulfat, asam fosfat, amoniak, *dry ice*, alumunium fluorida, *cement retarder*, dan lain sebagainya. Dalam memenuhi kebutuhan pasar akan pupuk, PT Petrokimia Gresik menghasilkan air limbah. Meskipun pengolahan air limbah telah dilakukan oleh PT Petrokimia Gresik, air limbah yang telah diolah masih mengandung konsentrasi ion ammonium dan fosfat yang tinggi. Apabila air limbah tersebut dibuang ke badan air penerima, dikhawatirkan akan terjadi eutrofikasi yang dapat merugikan mikroorganisme. Hal ini disebabkan karena nitrogen dan fosfat merupakan makronutrien yang dibutuhkan oleh tumbuhan. Selain itu, nitrogen dan fosfat merupakan komponen penting dalam pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Di sisi lain, sebagai makronutrien yang dibutuhkan oleh tumbuhan, kandungan ammonium dan fosfat yang tinggi pada air limbah memiliki potensi untuk *recovery* sehingga dapat digunakan kembali.

Beberapa teknologi *recovery* ion ammonium dan fosfat telah dikembangkan, antara lain penyisihan secara biologis, presipitasi kimia, adsorpsi, dan kristalisasi. Dari teknologi yang telah dikembangkan tersebut, presipitasi kimia memiliki kelebihan antara lain proses yang lebih efisien (*Zhang et al.*, 2017). Salah satu teknik presipitasi adalah presipitasi langsung dengan magnesium klorida ($MgCl_2$) untuk membentuk endapan magnesium ammonium fosfat ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) atau dikenal sebagai mineral *struvite*. Selain kedua ion tersebut, air limbah PT Petrokimia Gresik mengandung ion pengotor yang dapat mengganggu pembentukan *struvite*. Salah satu ion pengotor dengan konsentrasi terbesar ketiga setelah ammonium dan fosfat adalah ion Fluor (F^-). Ion Fluor (F^-) dapat menghambat pembentukan mineral *struvite* apabila konsentrasi ion mencapai lebih dari 600 mg/L (*Ryu et al.*, 2008). Oleh karena itu, pra pengolahan perlu dilakukan untuk memisahkan dan mengambil ion

ammonium dan fosfat dalam konsentrasi yang sebanyak – banyaknya dengan konsentrasi ion pengotor yang rendah.

Teknologi pemisahan ion antara lain presipitasi kimiawi, adsorpsi, *ion exchange*, *reverse osmosis* dan *nanofiltration*, elektrokuagulasi, dan elektrodialisis. Diantara teknologi – teknologi tersebut, salah satu teknik yang menghasilkan residu lebih sedikit dan tidak memerlukan penambahan bahan kimia adalah elektrodialisis (Wang *et al.*, 2015). Elektrodialisis adalah teknologi pemisahan ion dimana ion dipindahkan melalui membran karena perbedaan potensial listrik yang diberikan (Wenten *et al.*, 2012). Menurut Mulder (1996), saat beda potensial listrik diberikan pada larutan yang mengandung ion, ion positif (kation) bergerak menuju elektroda negatif (katoda) sedangkan ion negatif (anion) bergerak menuju elektroda positif (anoda). Molekul – molekul tidak bermuatan tidak terpengaruh oleh beda potensial listrik, sehingga komponen yang bermuatan listrik dapat dipisahkan dengan komponen tak bermuatan. Membran bermuatan listrik digunakan untuk mengatur perpindahan ion. *Cation Exchange Membrane* (CEM) melewatkan kation dan *Anion Exchange Membrane* (AEM) melewatkan anion. Perpindahan ion ini kemudian menyebabkan ion terkonsentrasi pada kompartemen produk (Brewster *et al.*, 2016). Sehingga dengan menggunakan elektrodialisis, ion ammonium dan fosfat diharapkan dapat dipisahkan dan diambil dalam konsentrasi yang setinggi – tingginya bersama dengan ion pengotor dalam konsentrasi yang rendah.

Dalam proses elektrodialisis, terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi efektivitas pemisahan ion. Beberapa faktor dasar tersebut adalah pH dan kuat arus listrik (Bernardes *et al.*, 2014). Pembentukan kerak ini dipengaruhi oleh pH pada air limbah yang diolah (Brewster *et al.*, 2017). Proses mineralisasi padatan inorganik pada permukaan membran atau pembentukan kerak membran (*membrane scaling*) akan menghambat efektivitas proses penukaran ion. Kuat arus listrik mempengaruhi rapat arus. Rapat arus yang tinggi akan menghasilkan aliran ion per luas membran yang maksimal. Namun, apabila rapat arus yang digunakan melebihi batas maka akan menyebabkan penurunan efisiensi proses elektrodialisis. Hal ini disebabkan karena semakin meningkatnya hambatan pada larutan (Bernardes *et al.*, 2014). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mempelajari

pengaruh pH dan arus listrik dalam *recovery* ion ammonium dan fosfat.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini antara lain :

1. Bagaimana pengaruh arus listrik terhadap *recovery* ion ammonium dan fosfat pada proses elektrodialisis?
2. Bagaimana pengaruh pH terhadap pembentukan kerak (*scaling*) pada permukaan membran?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan nilai arus listrik yang efektif untuk *recovery* ion ammonium dan fosfat pada proses elektrodialisis.
2. Menentukan nilai pH yang efektif untuk mencegah potensi pembentukan kerak (*scaling*) pada permukaan membran.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini adalah :

1. Air limbah yang digunakan sebagai *feed* proses elektrodialisis adalah air limbah Pabrik PT Petrokimia Gresik inlet *Point L*.
2. Air limbah pabrik ammonium PT Petrokimia Gresik digunakan sebagai *electrolyte* pada anoda.
3. Air limbah pabrik fosfat PT Petrokimia Gresik digunakan sebagai *electrolyte* pada katoda.
4. Percobaan dilakukan secara *batch*.
5. Parameter utama yang diukur adalah TDS, pH, PO_4^{3-} , NH_4^+ , F^- , dan TSS.
6. Variabel yang digunakan adalah pH dan kuat arus listrik.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini antara lain :

1. Memberikan rekomendasi alternatif pra pengolahan untuk *recovery* kadar ammonium dan fosfat pada air limbah PT Petrokimia Gresik sehingga dihasilkan mineral *struvite* dengan kadar kemurnian yang tinggi
2. Memberikan rekomendasi alternatif hasil proses produksi dari industri berupa mineral *struvite* sehingga diharapkan

dapat meningkatkan keuntungan yang diperoleh PT Petrokimia Gresik

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Unit Produksi PT Petrokimia Gresik

Air limbah yang dihasilkan oleh suatu industri sangat dipengaruhi oleh proses produksi yang dilakukan. PT Petrokimia Gresik saat ini memiliki tiga (3) unit pabrik, yaitu Kompartemen Pabrik I – Pabrik pupuk nitrogen, Kompartemen Pabrik II – Pabrik pupuk fosfat dan Pupuk NPK, dan Kompartemen Pabrik III – Pabrik bahan kimia dan bahan pendukung lainnya. Setiap unit pabrik menggunakan bahan baku yang berbeda – beda sehingga menghasilkan air limbah dengan karakteristik yang berbeda pula.

Kompartemen Pabrik I terbagi menjadi beberapa unit produksi antara lain Pabrik Amoniak, Pabrik Urea, dan Pabrik ZA I/III. Pabrik Amoniak menghasilkan produk berupa amoniak berbentuk cair dengan bahan baku gas alam dan N_2 dari udara. Pabrik urea menghasilkan produk berupa pupuk urea dengan bahan baku amoniak cair dan gas CO_2 . Sedangkan pabrik ZA I/III menghasilkan produk berupa pupuk ZA I/III dengan bahan baku gas NH_3 dan asam sulfat. Kompartemen Pabrik II terbagi pula menjadi beberapa unit produksi antara lain Pabrik Pupuk Fosfat, Pabrik Pupuk NPK Reaksi, Pabrik Pupuk NPK Granulasi, Pabrik Pupuk ZK, Pabrik Pupuk Petroganik. Kompartemen Pabrik II memproduksi dua jenis pupuk, yaitu pupuk phonska dan pupuk fosfat. Sedangkan Kompartemen Pabrik III terdiri atas unit III A dan unit III B. Kompartemen Pabrik III menghasilkan produk berupa asam fosfat, asam sulfat, aluminium fluorida, *cement retarder*, dan ZA II.

2.2 Pengolahan Limbah Cair oleh PT Petrokimia Gresik

PT Petrokimia Gresik adalah perusahaan pupuk nasional yang memproduksi berbagai jenis pupuk anorganik seperti ZA, UREA, dan NPK. Dalam proses produksinya dibutuhkan berbagai bahan kimia serta material pertambangan seperti asam amonia, asam fosfat, dan asam sulfat yang memiliki resiko tinggi pada pencemaran lingkungan hidup. Pengolahan limbah cair mula – mula dilakukan pada setiap unit produksi.

Pengolahan limbah cair unit produksi I dan II dilakukan dengan menggunakan *collecting pit* untuk mengumpulkan limbah

cair pada unit produksi I dan II. Limbah cair yang telah ditampung kemudian digunakan kembali pada proses produksi. Sedangkan kelebihan air yang tidak digunakan diteruskan dan diolah pada unit *equalizer*.

Pengolahan limbah cair pada unit produksi III dilakukan dengan unit *Effluent Treatment* (ET) dimana proses pengolahan dibagi menjadi 2 bagian berdasarkan *effluent* hasil pengolahannya, yaitu *Neutralized Water* (NW) dan *Treated Water* (TW). NW digunakan kembali untuk operasional purifikasi *gypsum*. Sedangkan TW dialirkan ke *equalizer* PT Petrokimia Gresik untuk selanjutnya dibuang ke laut.

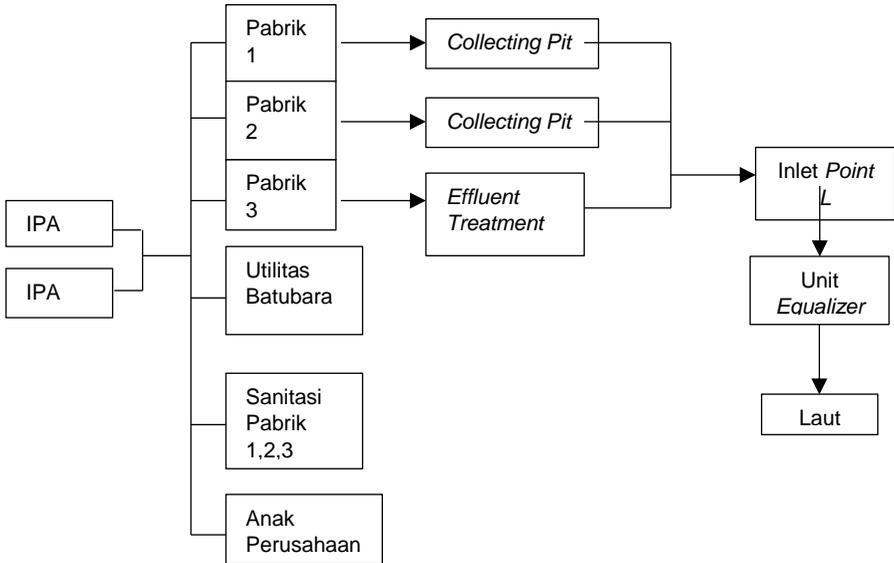
Pada Unit ET, terdapat 3 tahap pengolahan limbah cair yaitu *pre treatment*, *primary treatment* dan *secondary treatment*. Pada proses *pre treatment* dilakukan penampungan air limbah dan pembuatan larutan kapur, soda, tawas, dan polimer. Penampungan air limbah dilakukan pada *cushion pond* untuk menghomogenkan air limbah dari masing – masing pabrik. Larutan kapur akan digunakan untuk menaikkan nilai pH, sedangkan larutan tawas akan digunakan untuk menurunkan nilai pH. Larutan polimer digunakan sebagai koagulan untuk mempercepat proses separasi *liquid* dan *sludge*.

Selanjutnya, limbah cair yang telah melalui *pre treatment* kemudian dialirkan menuju *primary treatment*. Air limbah yang berasal dari *cushion pond* akan dialirkan dan ditampung pada pH *Adjusting Tank*. Pada unit ini, pH air limbah akan diatur agar menjadi netral dengan penambahan larutan kapur maupun tawas yang telah disiapkan pada tahap *pre treatment*. Kemudian air limbah dialirkan menuju *Coagulation Tank* untuk dikoagulasi dengan larutan polimer yang telah disiapkan pada tahap *pre treatment*. Setelah dibubuhi larutan polimer, air limbah kemudian dialirkan menuju *Clarifier/Thickener I* untuk memisahkan air jernih dan lumpur. Air jernih yang dihasilkan disebut *Neutralized Water* (NW) yang ditampung pada *Neutralized Water Pit*.

Lumpur kemudian dialirkan ke tahap selanjutnya yaitu *Secondary Treatment*. Pada tahap ini, lumpur akan alirkan menuju *Clarifier/Thickener II* untuk memisahkan air jernih dan lumpur yang lebih pekat. Lumpur yang telah dipisahkan kemudian dipompakan menuju *Vacuum Pump*. Air jernih kemudian dialirkan ke dalam *mixing tank* untuk dibubuhkan tawas dan NaOH. Selanjutnya, air

limbah dialirkan ke tangki koagulasi untuk dibubuhkan larutan polimer. Setelah pembubuhan polimer, air limbah dialirkan ke *Clarifier/Thickener III* untuk memisahkan lumpur dengan air jernih. Air jernih yang dihasilkan pada tahap ini disebut *Treated Water (TW)* yang kemudian dialirkan ke kolam *equalizer*.

Unit *equalizer* menerima air limbah dari unit produksi I, II, dan III. Pada unit ini terdapat proses pengolahan limbah yang dilakukan oleh beberapa unit antara lain bak agitator, injeksi kapur, *settling basin*, dan *point L*. Bak agitator merupakan bak kontrol yang digunakan untuk menghomogenkan limbah cair sehingga pH menjadi netral. Setelah pH netral, air limbah melalui proses injeksi kapur selama 24 jam untuk menjaga pH tetap netral dan mengendapkan garam – garam fosfat. Selanjutnya, air limbah dialirkan menuju *settling basin* untuk menurunkan kadar padatan tersuspensi. Bak dilengkapi dengan sekat yang berfungsi untuk menahan endapan untuk tidak ikut dalam aliran. Endapan yang terkumpul pada bak pengendap akan dikuras dan dibawa ke area penimbunan. Sedangkan air limbah selanjutnya akan dialirkan ke *point L*. Namun, apabila air limbah yang akan masuk ke *point L* masih memiliki nilai pH yang rendah, air limbah akan dibubuhkan NaOH terlebih dahulu untuk menetralkan pH. Setelah air limbah memiliki pH yang netral dan telah terpisah dari endapan, air limbah kemudian dialirkan menuju *point L*. Diagram alir pengaliran limbah cair PT Petrokimia Gresik dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Diagram Alir Pengaliran Air Limbah PT Petrokimia Gresik

Sumber : Ayu dan Suci (2017)

2.3 Karakteristik Limbah Cair

Air limbah yang digunakan dalam penelitian ini adalah air limbah inlet *Point L* PT Petrokimia Gresik. Selain itu, air limbah Pabrik Fosfat PT Petrokimia Gresik digunakan sebagai *electrolyte* pada katoda. Sedangkan *electrolyte* yang digunakan pada anoda adalah air limbah Pabrik Ammonium PT Petrokimia Gresik. Karakteristik air limbah PT Petrokimia Gresik disajikan pada Tabel 2.1 hingga Tabel 2.3.

Tabel 2.1 Karakteristik Air Limbah Inlet *Point L* PT Petrokimia Gresik

Parameter	Satuan	Nilai
pH	-	8.6
COD	mg/L	670
Ammonium	mg/L	12,283
Fosfat	mg/L	4,180

Parameter	Satuan	Nilai
Magnesium	mg/L	0,1157
Kalsium	mg/L	0,0675
Fluorida	mg/L	942
Aluminium	mg/L	1,15
Sulfat	mg/L	8,858
Alkalinitas (HCO ₃ ⁻ CaCO ₃)	mg/L	5,280
Silika	mg/L	0,83

Sumber : Iswarani (2018)

Tabel 2.2 Karakteristik Air Limbah Pabrik Fosfat PT Petrokimia Gresik

Parameter	Satuan	Hasil Uji *	Hasil Uji **
Mg ²⁺	mg/L	39,95	-
Ca ²⁺	mg/L	20,05	-
F ⁻	mg/L	119,09	9722,17
PO ₄ ²⁻	mg/L	3591,25	4540,82
pH		-	1,09

*) Analisis Baristand **) Analisis Mandiri

Sumber : Nindita (2016)

Tabel 2.3 Karakteristik Air Limbah Pabrik Ammonium PT Petrokimia Gresik

Parameter	Satuan	Hasil Uji *	Hasil Uji **
PO ₄ ²⁻	mg/L	-	0,09
F ⁻	mg/L	-	6,25
NH ₄ ⁺	mg/L	-	2533,78
Ca ²⁺	mg/L	1,37	-
pH		-	9,76

*) Analisis Baristand, telah diencerkan 2x **) Analisis mandiri, telah diencerkan 2x

Sumber : Nindita (2016)

2.4 Baku Mutu Air Limbah bagi Industri

Berdasarkan Pergub Jatim No. 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya, air limbah *Point L* PT Petrokimia Gresik telah melebihi baku mutu dan dapat merusak badan air sekitar. Oleh karena itu, PT Petrokimia Gresik perlu melakukan pengolahan lanjutan untuk dapat memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan. Baku mutu air

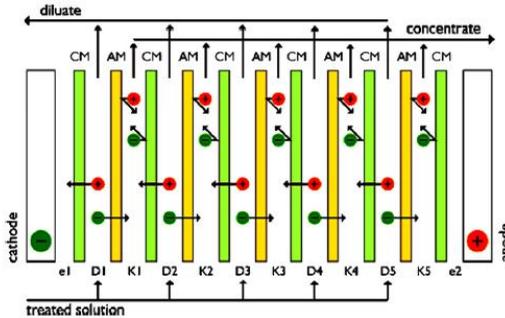
limbah untuk industri pupuk urea, pupuk nitrogen, pupuk ZA, dan amoniak tertera pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Baku Mutu Air Limbah bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya Pergub Jatim No. 72 Tahun 2013

Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)			
	Pupuk urea	Pupuk nitrogen	Pupuk ZA	Amoniak
COD	200	200	200	20
TSS	100	200	200	10
Minyak dan Lemak	20	20	20	2
Amoniak Total	50	100	100	20
TKN	100	150	-	-
pH	6 - 9			

2.5 Elektrodialisis

Elektrodialisis adalah pemisahan ion dimana spesies yang telah terionisasi pada larutan dialirkan melalui membran penukar ion dengan menambahkan potensial listrik. Beda potensial listrik berfungsi sebagai penggerak ion yang bermuatan untuk berpindah (Mulder, 1996). Saat beda potensial listrik diberikan pada reaktor elektrodialisis, ion bermuatan positif (kation) bergerak menuju elektroda bermuatan negatif (katoda). Sedangkan ion bermuatan negatif (anion) bergerak menuju elektroda positif (anoda). Molekul tak bermuatan tidak dipengaruhi oleh beda potensial ini sehingga komponen bermuatan listrik dapat dipisahkan dari komponen tak bermuatan listrik. Membran yang digunakan pada reaktor elektrodialisis dapat dibedakan menjadi 2, yaitu *Cation Exchange Membrane* (CEM) dan *Anion Exchange Membrane* (AEM). Membran tersebut adalah lapisan tipis yang terbuat dari polimer penukar ion, *binder* (pengikat), dan matriks tenun (*woven matrix*). Saat suatu larutan yang mengandung ion melewati kompartemen sel, tidak akan ada proses yang terjadi apabila tidak ada beda potensial listrik yang diberikan. Namun apabila arus listrik diberikan, anion akan bergerak menuju anoda dan kation akan bergerak menuju katoda, melewati membran penukar anion dan membran penukar kation. Gambar 2.2 menunjukkan prinsip proses elektrodialisis.



Gambar 2.2 Prinsip Proses Elektrodialisis (Chen, 2004)

2.6 Parameter Utama yang Mempengaruhi Proses Elektrodialisis

Dalam memisahkan ion, terdapat beberapa parameter utama yang mempengaruhi efisiensi proses elektrodialisis. Parameter utama tersebut antara lain adalah sebagai berikut.

2.6.1 Mobilitas Ion

Mobilitas ion pada proses elektrodialisis akan mempengaruhi ion – ion apa saja yang dapat dipisahkan dengan lebih cepat. Menurut Atkins dan Paula (2006), mobilitas ion pada air dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Mobilitas Ion pada Air

Kation	Mobilitas ($10^{-8} \text{ m}^2\text{s}^{-1}\text{V}^{-1}$)	Anion	Mobilitas ($10^{-8} \text{ m}^2\text{s}^{-1}\text{V}^{-1}$)
Ca^{2+}	6.17	F^-	5.70
NH_4^+	7.63		

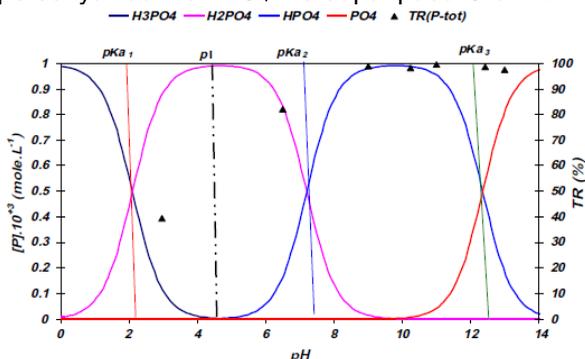
Sumber : Atkins dan De Paula (2006)

2.6.2 pH Larutan Feed

pH pada larutan *feed* dapat mempengaruhi mobilitas ion pada proses elektrodialisis. Ion – ion yang diperhatikan dalam penelitian ini adalah ion PO_4^{3-} , dan F^- .

- Pengaruh pH pada spesies ion PO_4^{3-}

Ion PO_4^{3-} memiliki beberapa spesies atau bentuk, antara lain H_3PO_4 , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , dan PO_4^{3-} . Pengaruh pH pada persenyawaan ion PO_4^{3-} terdapat pada Grafik 2.1 berikut.



Grafik 2.1 Pengaruh pH pada Persenyawaan Ion Fosfat

Sumber : Abidi *et al.* (2011)

Keterangan :

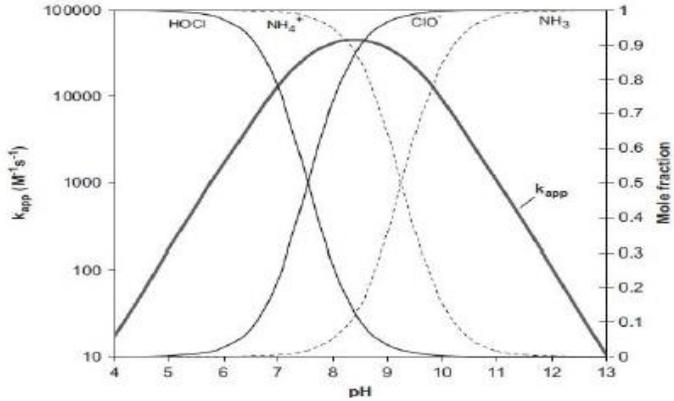
TR = Retention Rate (%)

[P] = konsentrasi larutan uji

pKa = $-\log K_a$

Pada saat larutan berada pada nilai pH kurang dari 4, spesies fosfat yang terbentuk pada larutan uji adalah H_3PO_4 . Saat nilai pH pada kisaran 4,9 – 6, spesies fosfat yang terbentuk adalah H_2PO_4^- (TR = 98%) dan H_3PO_4 (TR = 12%). Hal ini mungkin disebabkan akibat membran yang bermuatan semakin negatif (Abidi *et al.*, 2011).

- b. Pengaruh pH terhadap spesies ion NH_4^+
Pengaruh pH pada persenyawaan ion NH_4^+ terdapat pada Grafik 2.2 berikut.



Grafik 2.2 Pengaruh pH Pada Persenyawaan Ammonium

Sumber : Qiang dan Adams (2004)

Keterangan :

k_{app} = turunan konstanta laju reaksi orde 2

Mole fraction = fraksi mol

Menurut Sawyer *et al.* (2003), ion ammonium memiliki reaksi kesetimbangan dengan ammonia dan ion hidrogen, seperti pada reaksi berikut:



Saat nilai pH berada lebih dari 8, kesetimbangan berpindah jauh ke kanan sehingga menghasilkan ammonia dalam bentuk gas.

c. Pengaruh pH pada mobilitas ion PO_4^{3-}

Menurut Engelke dan Strain (1954), ion PO_4^{3-} memiliki mobilitas yang rendah pada larutan yang sangat asam dan memiliki mobilitas yang tinggi pada larutan yang sangat basa seperti yang tertera pada Tabel 2.6. Ion PO_4^{3-} memiliki beberapa spesies atau bentuk, antara lain H_3PO_4 , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , dan PO_4^{3-} . H_3PO_4 memiliki fase tidak terionisasi dan terdisosiasi, sehingga memiliki mobilitas yang rendah. Perbedaan spesies ion yang ada pada larutan akan mempengaruhi mobilitas ion. Oleh karena itu,

Engelke dan Strain (1954) menginterpolasi proporsi ion – ion yang tertera pada Tabel 2.7.

Tabel 2.6 Mobilitas Spesies Ion Asam Fosfat pada Nilai pH yang Berbeda

pH	Mobilitas Ion (cm/jam/volt)			
	H ₃ PO ₄	H ₂ PO ₄ ⁻	HPO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻
2.0	0.05	0.87	-	-
4.5	-	0.87	-	-
9.0	-	-	0.88	-
11.7	-	-	0.88	3.2

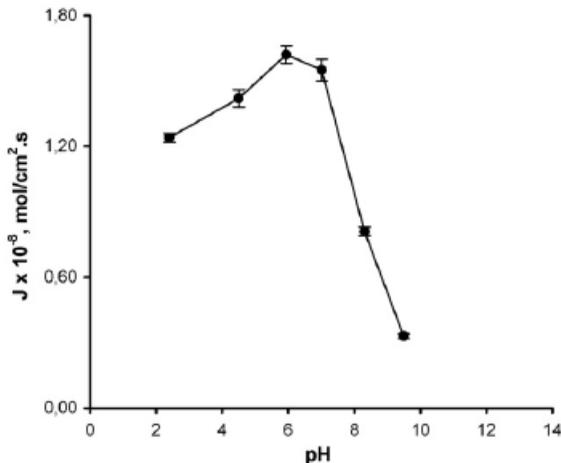
Sumber : Engelke dan Strain (1954)

Tabel 2.7 Spesies Ion Asam Fosfat dan Proporsinya pada Nilai pH yang Berbeda

pH	Spesies Ion (% dari Total PO ₄)			
	H ₃ PO ₄	H ₂ PO ₄ ⁻	HPO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻
2.0	57	43	-	-
4.5	-	100	-	-
9.0	-	2	98	-
11.7	-	-	80	20

Sumber : Engelke dan Strain (1954)

- d. Pengaruh pH pada mobilitas ion F⁻
Menurut Ergun *et al.* (2008), mobilitas ion F⁻ tertinggi terjadi pada pH 6. Saat pH melebihi 6, mobilitas ion F⁻ menurun akibat adanya kompetisi antara ion F⁻ dengan ion hidroksida. Mobilitas ion F⁻ juga menurun pada pH dibawah 6. Hal ini dapat terjadi akibat pembentukan asam lemah HF. Pengaruh pH larutan *feed* terhadap flux ion fluorida pada AEM tertera pada Grafik 2.3.



Grafik 2.3 Pengaruh pH *Feed* terhadap mobilitas ion fluorida
 Sumber : Ergun *et al.*, (2008)

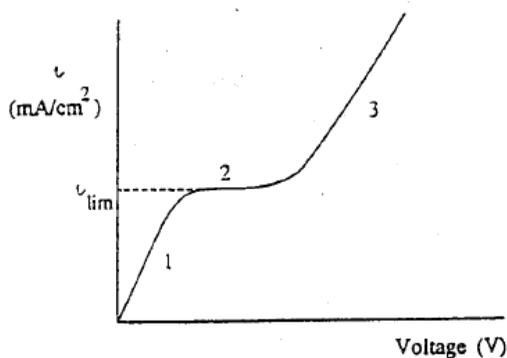
Selain dapat mempengaruhi mobilitas ion, tingkat pH dapat menyebabkan pembentukan padatan inorganik pada permukaan membran (*membrane scaling*), yang kemudian dapat mengurangi efektivitas penukaran ion pada proses elektrodialisis (Brewster *et al.*, 2016). Nilai pH sebesar 5 pada air limbah dapat menurunkan jumlah kerak yang terbentuk pada permukaan membran.

2.6.3 Arus Listrik

Menurut Mulder (1996), jumlah ion yang dialirkan melalui membran setara dengan arus listrik atau rapat arus. Arus listrik berhubungan dengan potensial listrik sesuai dengan Hukum Ohm.

$$V = I \times R \quad (1)$$

Dimana V adalah potensial listrik, I adalah arus listrik, dan R adalah hambatan dari total kompartemen. Rapat arus listrik ditentukan oleh beda potensial dan total hambatan kompartemen. Penambahan rapat arus listrik akan mengakibatkan semakin banyak pula jumlah ion yang dialirkan. Namun, rapat arus listrik tidak dapat ditambahkan tanpa adanya batasan.



Grafik 2.4 Pengaruh Rapat Arus dengan Beda Potensial Listrik pada Membran Penukar Ion

Sumber : Mulder (1996)

Pada Grafik 2.4 terdapat 3 bagian. Bagian 1 adalah bagian *Ohmic*, dimana arus listrik atau rapat arus listrik berbanding lurus dengan beda potensial listrik sesuai Hukum Ohm. Pada bagian 2, arus listrik mencapai titik stabil yang menunjukkan hambatan Ohm meningkat. Bagian ini menunjukkan batas rapat arus i_{lim} . Batas rapat arus adalah arus yang dibutuhkan untuk mengalirkan seluruh ion yang tersedia. Saat beda potensial ditingkatkan tanpa adanya ion yang tersedia, hambatan listrik akan meningkat dan menyebabkan molekul air terpisah untuk menghasilkan ion. Proses ini ditunjukkan pada bagian 3. Apabila molekul air terpisah, pH pada larutan akan berubah dan menyebabkan pembentukan hidroksida logam pada permukaan membran (Strathmann, 2000).

2.6.4 Membran

Karakteristik membran yang dapat digunakan pada proses elektrodialisis secara prinsip adalah sebagai berikut (Shaffer dan Mintz, 1980) :

1. Dapat memisahkan ion dengan muatan yang berlawanan
2. Dapat menghantarkan listrik
3. Tidak mudah memindahkan air

Membran yang digunakan pada proses elektrodialisis dibedakan menjadi 2 jenis yaitu CEM dan AEM. CEM merupakan

membran yang melewatkan ion positif sedangkan AEM merupakan membran yang melewatkan ion negatif. Keduanya memiliki hambatan listrik yang rendah, tidak larut dalam air, mudah penggantianannya, tahan terhadap potensi penyumbatan, mudah dibersihkan, dan tahan terhadap fluktuasi pH. Material membran yang digunakan dalam penelitian ini adalah *polystyrene – divinylbenzene* yang memiliki beberapa karakteristik khusus antara lain memiliki selektivitas ionik yang tinggi, hambatan elektrik yang rendah, dan memiliki koefisien difusi yang rendah baik pelarut atau terlarut (Farrell *et al.*, 2003). Pemilihan karakteristik membran yang digunakan untuk setiap proses elektrodialisis berbeda – beda berdasarkan tujuan penelitian/pengolahan. Beberapa karakteristik membran antara lain selektivitas antara ion yang berlawanan, konduktivitas elektrik rendah, stabilitas kimia tahan lama, kekuatan mekanis, dan tahan terhadap *fouling* (Nindita, 2016).

Luas permukaan membran juga sangat mempengaruhi proses pemisahan ion oleh reaktor elektrodialisis. Permukaan membran yang semakin luas akan meningkatkan luas permukaan membran yang kontak dengan ion. Jumlah kompartemen yang digunakan pada proses elektrodialisis berbanding lurus dengan luas permukaan membran. Semakin banyak jumlah kompartemen, maka semakin luas pula permukaan membran. Apabila luas permukaan membran yang kontak dengan ion semakin besar, maka semakin tinggi pula efisiensi pemisahan ion pada proses elektrodialisis. Hal ini dibuktikan dengan penelitian dilakukan oleh Wang *et al.*, pada tahun 2014 dan 2016. Proses elektrodialisis dengan 3 kompartemen memiliki efisiensi pemisahan ion NH_4^+ sebesar 97,4% dan ion PO_4^{3-} sebesar 76,7% (Wang *et al.*, 2016). Sedangkan pada proses elektrodialisis dengan 11 kompartemen mampu meningkatkan efisiensi pemisahan ion NH_4^+ sebesar 95,8 – 100% dan ion PO_4^{3-} sebesar 86,1 – 94,4% (Wang *et al.*, 2014).

2.6.5 Membrane Scaling

Proses pengolahan air bersih dan air limbah yang menggunakan membran umumnya menghadapi masalah pembentukan mineral oleh padatan inorganik pada permukaan membran, yang dikenal sebagai *membrane scaling*. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Brewster *et al.* (2017), pembentukan *scaling* pada proses elektrodialisis dengan air

limbah pupuk terjadi akibat spesies ion inorganik seperti PO_4^{3-} , NH_4^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , dan CO_3^{2-} yang membentuk mineral dengan solubilitas rendah.

Untuk mengatasi hal tersebut, beberapa proses pra-pengolahan dilakukan antara lain filtrasi, koagulasi-flokulasi atau penambahan asam, maupun pembersihan membran dengan asam maupun basa. Penambahan asam maupun basa untuk menyesuaikan pH dimana mineral tertentu tidak terbentuk juga dapat dilakukan untuk mencegah pembentukan presipitat dan menyebabkan *scaling* pada membran.

2.6.6 Elektroda

Elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk mengalirkan arus listrik dalam sel elektrodialisis (Riyanto, 2013). Terdapat dua jenis elektroda, yaitu elektroda inert dan elektroda tidak inert. Elektroda inert adalah elektroda yang tidak ikut bereaksi sebagai katoda maupun anoda, sehingga yang mengalami proses reduksi dan oksidasi dalam elektrolisis adalah elektrolit. Contoh elektroda inert antara lain, karbon (C) dan platina (Pt). Sedangkan elektroda tidak inert adalah elektroda yang ikut bereaksi dalam proses elektrolisis. Contoh elektroda tidak inert adalah besi (Fe), aluminium (Al), tembaga (Cu), seng (Zn), perak (Ag), dan emas (Au). Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam memilih elektroda dalam proses elektrodialisis adalah sebagai berikut :

1. Mudah atau tidaknya elektroda untuk ikut terlarut
Apabila elektroda mudah terlarut, maka material yang terlarut tersebut dapat menempel pada permukaan membran dan menyumbat permukaan membran (Nindita, 2016).
2. Deret Volta dan *Standard Electrode Potential*
Elektroda memiliki kriteria cepat dan tidaknya tereduksi yang dapat dilihat pada deret volta berikut :

K-Ba-Sr-Ca-Na-Mg-Al-Mn-Zn-Cr-Fe-Cd-Co-Ni-Sn-Pb-H⁺-Cu-Hg-
Ag-Pt-Au

Pada deret volta, semakin ke kiri maka akan semakin mudah untuk melakukan reduksi. Sedangkan deret semakin ke kanan akan semakin mudah untuk melakukan oksidasi. Pada proses elektrodialisis, reaksi yang terjadi pada katoda adalah reaksi reduksi. Sedangkan reaksi yang terjadi pada anoda adalah reaksi

oksidasi. Selain memperhatikan posisi elektroda pada deret volta, perlu diperhatikan pula *standard electrode potential* (V^0). Tabel 2.8. menunjukkan *standard electrode potential* pada deret volta.

Tabel 2.8 Standard Electrode Potential pada Elektroda

Elektroda	Standard Electrode Potential, V^0 (V)
Au	+1,420
Pt	+1,200
Ag	+0,800
Cu	+0,340
H	0,000
Pb	-0,126
Sn	-0,136
Ni	-0,250
Co	-0,277
Cd	-0,403
Fe	-0,440
Cr	-0,744
Zn	-0,763
Al	-1,662
Mg	-2,363
Na	-2,714
K	-2,924

3. Ketebalan Elektroda

Menurut Zhang *et al.* (2012), semakin tebal elektroda maka akan meningkatkan hambatan yang terjadi pada elektroda.

4. Jarak Antar Elektroda

Menurut Lavorante (2014), semakin jauh jarak antar elektroda maka akan semakin tinggi pula hambatan pada aliran.

2.7 Pengaruh Fluor pada Pembentukan *Struvite*

Keberadaan ion Fluor menghambat penyisihan NH_4-N dan PO_4-P dengan pembentukan mineral *struvite*. Menurut Ryu *et al.* (2008), efisiensi penyisihan NH_4-N dan PO_4-P secara drastis menurun saat konsentrasi Fluor mencapai lebih dari 600 mg/L. Hal

ini disebabkan karena ion Fluor menghambat proses kristalisasi *struvite* pada konsentrasi tinggi. Ion F^- dapat berkompetisi dengan NH_4^+ dan HPO_4^{2-} untuk berikatan dengan Mg^{2+} dan membentuk MgF_2 . Menurut Huang *et al.* (2016), pada saat molar rasio Mg:F sebesar 1:1 dan pH pada larutan mencapai 10, efisiensi penyisihan F^- oleh Mg^{2+} mencapai >90%. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi pembentukan presipitat MgF_2 . Presipitat MgF_2 memiliki daya pengendapan yang baik.

2.8 Hukum Faraday I

Hukum Faraday I menyatakan bahwa jumlah massa zat yang dihasilkan di elektroda berbanding lurus dengan jumlah listrik yang digunakan. Hal ini dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$m = \frac{e x i x t}{96500} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$q = i x t \dots\dots\dots(2.2)$$

$$m = \frac{e x q}{96500} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

m : massa zat yang dihasilkan (gram)

e : berat ekivalen (gram equivalent)

i : kuat arus (A)

t : waktu (detik)

q : muatan listrik (Coloumb)

Hubungan muatan listrik dengan kuat arus listrik dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$C = i x t \dots\dots\dots(2.4)$$

Sementara hubungan antara Faraday dan muatan listrik adalah sebagai berikut :

$$1 F = 96500 C$$

$$F = \frac{i x t}{96500} \dots\dots\dots(2.5)$$

2.9 Kebutuhan Energi

Penurunan konsentrasi polutan selama proses elektrokimia dapat direpresentasikan dengan waktu kontak atau fungsi dari muatan listrik spesifik. Muatan listrik spesifik dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$Q = \frac{J \times A \times t}{v} \dots \dots \dots (2.6)$$

Rapat arus (J) dapat dihitung menggunakan rumus :

$$J = \frac{I}{A} \dots \dots \dots (2.7)$$

Sehingga, didapatkan rumus muatan listrik :

$$Q = \frac{I \times t}{v} \dots \dots \dots (2.8)$$

Kebutuhan energi spesifik (W) diperoleh dari persamaan berikut :

$$W = Q \times V \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan :

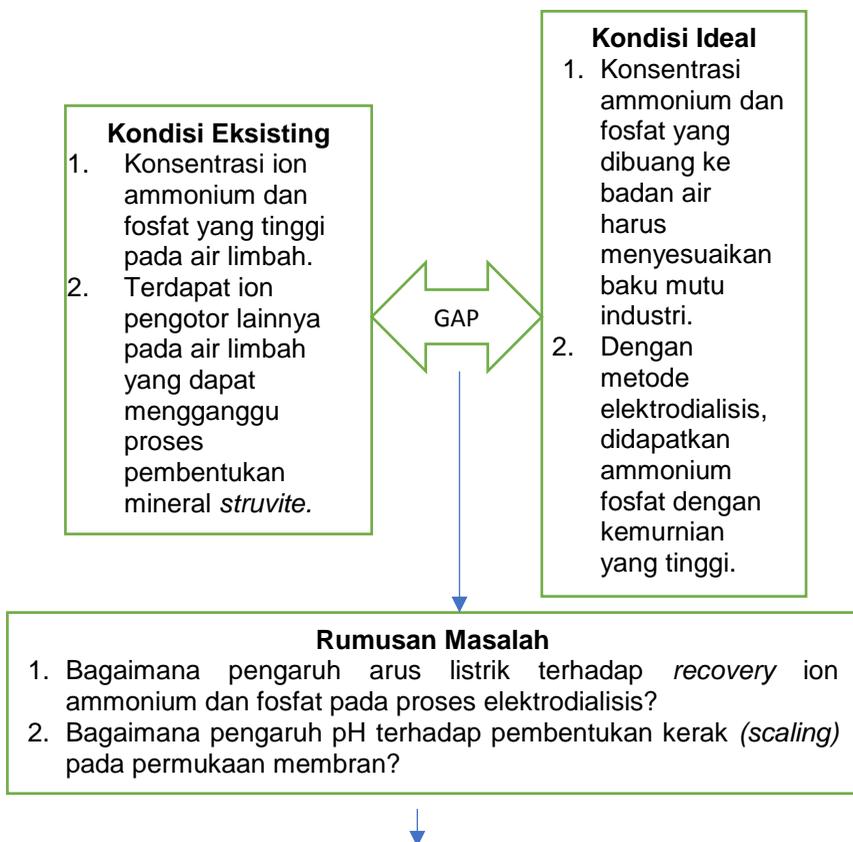
- W : kebutuhan energi spesifik (kWh/m³)
- Q : muatan listrik spesifik (kAh/m³)
- I : kuat arus listrik (A)
- J : rapat arus listrik (A/m²)
- V : tegangan listrik (V)
- A : luas elektroda (m²)
- t : waktu operasi (s)
- v : volume elektrolit (L)

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis proses elektrodialisis dalam *recovery* ion ammonium dan fosfat pada air limbah PT Petrokimia Gresik. Beberapa tujuan lain dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besar pH, kuat arus efektif, dan jumlah kompartemen efektif yang digunakan. Berikut kerangka pelaksanaan penelitian yang dilengkapi dengan tahapan pelaksanaan pada Gambar 3.1.



Tujuan

1. Memperoleh besar arus listrik yang efektif untuk *recovery* ion ammonium dan fosfat pada proses elektrodialisis.
2. Memperoleh pH yang efektif untuk mencegah potensi pembentukan kerak (*scaling*) pada permukaan membran.



Ide Penelitian

Recovery Ion Ammonium dan Fosfat dari Air Limbah PT Petrokimia Gresik dengan Proses Elektrodialisis



Studi Literatur

1. Karakterisasi air limbah PT Petrokimia Gresik
2. Penyusunan desain kompartemen elektrodialisis
3. Penentuan waktu operasi reaktor elektrodialisis
4. Proses yang berlangsung pada elektrodialisis dan faktor yang mempengaruhi



Penentuan Variabel dan Parameter

Variabel :

1. Kuat Arus (3 variasi)
2. pH (3 variasi)

Parameter :

TDS, tegangan listrik, pH, PO_4^{3-} , NH_4^+ , F^- , dan TSS



Penelitian Pendahuluan

1. Persiapan alat dan bahan
2. Pengendapan dan penyaringan air limbah
3. Penentuan waktu operasi elektrodialisis
4. Karakterisasi air limbah
5. Penyesuaian pH *feed* sesuai variasi pH
6. *Preconditioning* membran



Penelitian Utama

1. Pengaruh variasi pH dan kuat arus terhadap efisiensi *recovery* ion PO_4^{3-} , dan NH_4^+
2. Konsentrasi ion PO_4^{3-} , NH_4^+ dan F^- pada produk
3. Kompetisi ion pada proses elektrodialisis
4. Perubahan pH pada tangki anoda, katoda, dan produk
5. Kebutuhan energi yang dibutuhkan selama proses elektrodialisis
6. Perubahan TDS pada proses elektrodialisis
7. Konsentrasi TSS yang terbentuk pada kompartemen produk sehingga berpotensi menyebabkan *scaling*.



Analisis dan Pembahasan

1. Menganalisis konsentrasi ion PO_4^{3-} , NH_4^+ , dan F^- pada produk yang dihasilkan
2. Menganalisis kompetisi ion pada proses elektrodialisis
3. Menganalisis perubahan pH yang terjadi selama proses elektrodialisis
4. Menganalisis pH optimum untuk mencegah pembentukan kerak berlebih pada membran
5. Menganalisis kebutuhan energi (kWh/m^3) yang dibutuhkan untuk proses elektrodialisis



Kesimpulan dan saran

Gambar 3.1 Diagram Kerangka Pelaksanaan Penelitian

3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan sebagai dasar dilakukannya penelitian. Studi literatur didapatkan dari buku Tugas Akhir mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, buku – buku pedoman, jurnal internasional dan jurnal nasional. Selain itu, penelitian terdahulu juga digunakan sebagai salah satu sumber literatur. Penelitian terdahulu dapat digunakan sebagai salah satu sumber untuk menentukan pengembangan teknologi yang diperlukan.

3.3 Penentuan Variabel dan Parameter

Variabel yang digunakan pada penelitian ini antara lain :

1. Kuat Arus

Menurut Wang *et al.* (2015), salah satu parameter proses elektrodialisis adalah kuat arus. Kuat arus dapat memengaruhi cepat dan tidaknya kation dan anion berpindah menuju katoda dan anoda. Dari variasi kuat arus, dapat diketahui kuat arus yang efektif untuk menyisihkan ion pengganggu. Pada penelitian ini variasi kuat arus yang digunakan adalah 0.05 A, 0.1 A, dan 0.15 A. Alasan pemilihan variasi kuat arus tersebut didasarkan pada penelitian pendahuluan untuk mengetahui nilai kuat arus yang dapat dicapai oleh DC *supply*.

2. pH

pH dapat memengaruhi pembentukan *scaling* atau kerak pada dinding membran. Dari variasi pH dapat diketahui pH maksimum agar tidak terbentuk kerak pada dinding membran. Pada penelitian ini variasi pH yang digunakan adalah 5, 7, dan 9. Pemilihan variasi nilai pH didasarkan atas kemampuan mobilisasi ion. Pada pH 5 menurut Brewster *et al.* (2016), pembentukan kerak pada permukaan membran menurun. Pada pH 7, mobilitas ion F^- cukup tinggi sehingga ion F^- dapat berkompetisi dengan

ion lain melewati permukaan membran menuju kompartemen produk (Ergun *et al.*, 2008). Sedangkan pada pH 9, ion PO_4^{3-} memiliki mobilitas yang tinggi sehingga dapat berkompetisi dengan ion lain untuk melewati membran (Engelke dan Strain, 1954). Namun pada pH 9 ion F^- memiliki mobilitas terendah sehingga dikhawatirkan dapat menempel pada permukaan membran dan membentuk kerak (Ergun *et al.*, 2008). Selain itu, pemilihan variasi pH juga didasarkan atas nilai pH air limbah inlet *Point L* PT Petrokimia Gresik. Menurut Ayu dan Suci (2017), air limbah inlet *point L* PT Petrokimia Gresik memiliki nilai pH yang fluktuatif antara 6,04 – 8,81 pada bulan Januari hingga Juni 2016. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan variasi nilai pH 9 untuk mengetahui bagaimana efektivitas *recovery* ion PO_4^{3-} dan NH_4^+ apabila air limbah inlet *Point L* PT Petrokimia Gresik langsung diolah dengan elektrodialisis tanpa penyesuaian pH terlebih dahulu.

Parameter utama yang digunakan pada penelitian ini antara lain TDS, pH, PO_4^{3-} , NH_4^+ , F^- , tegangan listrik sel, berat TSS. TDS diuji untuk mengetahui perubahan kemampuan larutan dalam menghantarkan listrik selama penelitian berlangsung. pH diuji untuk mengetahui perubahan pH yang dapat mempengaruhi spesies ion pada larutan. Ion PO_4^{3-} dan NH_4^+ diuji untuk mengetahui konsentrasi ion yang dapat *direcovery* sebagai *feed* pembentukan mineral *struvite* pada *fluidized bed*. Ion F^- diuji sebab ion F^- dapat mengganggu pembentukan mineral *struvite*. Tegangan listrik sel diukur untuk mengetahui energi yang dibutuhkan oleh reaktor dan mendapatkan kebutuhan energi yang optimum. Sementara berat TSS yang terbentuk diuji untuk mengetahui variasi pH yang berpotensi dalam pembentukan *scaling* pada membran. Berat TSS diuji dengan menggunakan neraca analitik.

Tabel 3.1 Metode Pengukuran Setiap Parameter

No.	Parameter	Metode	Instrumen
1.	Konduktivitas		Handy Lab LF 11
2.	pH	Elektrometrik	pH meter

No.	Parameter	Metode	Instrumen
3.	Ion PO_4^{3-}	<i>Stannous Chloride</i>	Spektrofotometer
4.	Ion NH_4^+	<i>Nessler</i>	Spektrofotometer
5.	Ion F^-	SPADNS	Spektrofotometer
6.	Tegangan listrik sel		Multitester
7.	Berat TSS terbentuk pada kompartemen produk		Neraca analitik

3.4 Persiapan Penelitian

3.4.1 Penelitian Pendahuluan

Penelitian ini dimulai dengan dilaksanakannya penelitian pendahuluan. Penelitian pendahuluan ini bertujuan untuk memperoleh waktu operasi yang digunakan pada penelitian utama.

1. Persiapan alat dan bahan

Persiapan alat dan bahan yang diperlukan untuk membuat reaktor dan melaksanakan uji laboratorium.

2. Pengendapan dan penyaringan air limbah

Pengendapan dan penyaringan air limbah dilakukan sebelum melaksanakan *running* reaktor. Hal ini bertujuan untuk menurunkan TSS pada air limbah sesedikit mungkin agar tidak mengganggu proses elektrodialisis. Mula – mula air limbah didiamkan dalam suatu bak yang ditutup dengan plastik untuk mencegah ammonium menguap. Setelah terdapat endapan pada bak, filtrat diambil dan digunakan sebagai *feed* dalam proses elektrodialisis. Sedangkan endapan pada bagian bawah bak disaring dengan kertas saring. Filtrat yang dihasilkan kemudian digunakan dalam proses elektrodialisis.

3. Penentuan waktu operasi elektrodialisis dengan *running* proses *batch*

Penentuan waktu operasi dilakukan dengan menggunakan air limbah inlet *point* L sebagai *feed*. Sedangkan air limbah Pabrik Fosfat dan air limbah Pabrik Ammonium digunakan sebagai larutan elektrolit pada katoda dan anoda. Reaktor elektrodialisis dijalankan hingga kuat arus yang dihasilkan menurun pada tegangan listrik minimum. Hal ini menandakan proses tersebut telah mencapai waktu operasi minimum. Setelah proses

tersebut dihentikan, penelitian dilanjutkan dengan pengujian nilai konduktivitas dan tegangan listrik terhadap waktu. Apabila nilai konduktivitas dan listrik menurun pada x jam, maka waktu tinggal reaktor elektrodialisis adalah x jam. Konsentrasi ion pada air limbah juga diuji pada setiap jam untuk melihat kemampuan berpindahannya anion dan kation pada proses elektrodialisis.

4. Uji karakteristik air limbah
Menganalisis pH, TDS, NH_4^+ , PO_4^{3-} , F^- , dan TSS.
5. Penyesuaian pH *feed* sesuai variasi pH
Penyesuaian pH air limbah dilakukan dengan menggunakan larutan HCl 3 M untuk menurunkan pH. Sedangkan larutan yang digunakan untuk menaikkan pH adalah larutan NaOH 3 M.
6. *Preconditioning* membran
Preconditioning membran adalah suatu perlakuan terhadap membran sebelum membran digunakan. Tujuan dari *preconditioning* membran adalah untuk membuat membran terhidrasi dan untuk membuka lubang – lubang pada membran. *Preconditioning* membran dilakukan dengan cara membenamkan membran pada larutan NaCl 5% selama 12 jam.
7. Tes kebocoran reaktor
Melakukan tes kebocoran reaktor untuk mengetahui adanya kebocoran dengan mengalirkan air ke dalam reaktor.

3.4.2 Persiapan Alat dan Bahan

Alat yang digunakan :

1. Reaktor
Reaktor dijalankan dengan sistem *batch* yang terdiri dari 5 kompartemen. Dimensi kompartemen yang digunakan adalah 10 cm x 5 cm x 2 cm. Reaktor terbuat dari bahan akrilik.
2. Membran
Membran yang digunakan adalah *cation exchange membrane* (CEM/+) dengan tipe CMI 7000S dan *anion exchange membrane* (AEM/-) dengan tipe AMI 7001S. Dimensi efektif membran adalah 10 cm x 5 cm. Spesifikasi

membran yang digunakan tertera pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3.

Tabel 3.2 Spesifikasi AMI-7001S

Spesifikasi Teknis	Keterangan
Warna	Kuning terang
Ukuran Standar (m)	1,22 x 3,05
Ketebalan Standar (mm)	0,45 ± 0,025
Daya Tahan Listrik (Ohm.cm²) 0,5 mol/L NaCl	< 40
Rapat Arus Maksimum (Ampere/m²)	< 500
Permselectivity (%) 0,1 mol KCl/kg/0,5 mol KCl/kg	90
Kapasitas Transfer Total (meq/g)	1,3 ± 0,1
Permeabilitas terhadap Air (mL/jam/ft²) @5psi	< 3
Kisaran Stabilitas Kimia (pH)	1 – 10
Stabilitas Suhu (°C)	90
Prosedur <i>Preconditioning</i>	Rendam membran pada larutan NaCl 5% selama 12 jam untuk membuat membran terhidrasi dan terekspansi.
Penyimpanan	Simpan pada suhu ruangan dan kelembapan rendah pada wadah tertutup rapat. Periode penyimpanan tidak lebih dari 1 tahun.

Sumber : Anonymous (2018)

Tabel 3.3 Spesifikasi CMI-7000S

Spesifikasi Teknis	Keterangan
Warna	Cokelat
Ukuran Standar (m)	1,22 x 3,05
Ketebalan Standar (mm)	0,45 ± 0,025
Daya Tahan Listrik (Ohm.cm²) 0,5 mol/L NaCl	< 30
Rapat Arus Maksimum (Ampere/m²)	< 500
Permselectivity (%) 0,1 mol KCl/kg/0,5 mol KCl/kg	94

Spesifikasi Teknis	Keterangan
Kapasitas Transfer Total (meq/g)	1,6 ± 0,1
Permeabilitas terhadap Air (mL/jam/ft ²) @5psi	< 3
Kisaran Stabilitas Kimia (pH)	1 – 10
Stabilitas Suhu (°C)	90
Prosedur <i>Preconditioning</i>	Rendam membran pada larutan NaCl 5% selama 12 jam untuk membuat membran terhidrasi dan terekspansi.
Penyimpanan	Simpan pada suhu ruangan dan kelembapan rendah pada wadah tertutup rapat. Periode penyimpanan tidak lebih dari 1 tahun.

Sumber : *Anonymous (2018)*

3. Elektroda
Elektroda yang digunakan adalah perak kemurnian 100% dengan tebal 1 mm untuk anoda. Sedangkan untuk anoda digunakan *stainless steel* berbentuk lempengan. Dimensi kedua elektroda adalah 5 cm x 3 cm.
4. Pompa *submersible*
Pompa *submersible* yang digunakan adalah dengan kapasitas debit aliran 11,76 mL/s.
5. Tangki
Tangki digunakan sebagai tempat penampungan air limbah fosfat, air limbah ammonium, air limbah inlet *point L*, dan produk sebelum dipompakan menuju ke dalam reaktor. Tangki yang digunakan adalah baskom dengan volume 4L.
6. Kabel
7. DC *Power Supply*
DC *Adjustable Power Supply* yang digunakan adalah dengan arus listrik antara 0 – 3 A dan tegangan antara 0 – 30 V.
8. *Connector* selang
Connector selang digunakan untuk membagi aliran (percabangan selang) dan menyambungkan akrilik

dengan selang. Tujuan penggunaan *connector* selang pembagi aliran adalah untuk meminimalisasi penggunaan pompa *submersible*. Sedangkan tujuan penggunaan *connector* selang penyambung dengan akrilik adalah untuk mencegah kebocoran saat mengalirkan air limbah dari selang menuju akrilik.

9. Selang

Penelitian ini menggunakan selang dengan ukuran 6 x 4 mm. Selang yang digunakan harus *chemical resistant* (tahan bahan kimia) dan berwarna bening untuk dapat melihat apabila terjadi penyumbatan oleh presipitat selama pengaliran air limbah.

10. Lapisan Karet

Lapisan karet diletakkan diantara kompartemen dengan membran. Tujuan penggunaan lapisan karet adalah untuk mencegah kerusakan membran saat memasang reaktor.

11. Mur, baut, dan ring

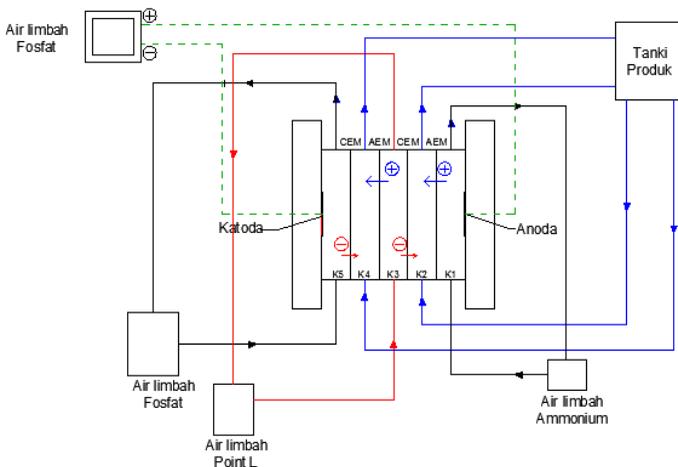
Penelitian ini menggunakan mur dengan bahan *stainless steel* dengan diameter 8 mm. Baut dan ring digunakan untuk mengunci mur dan kompartemen agar tidak mudah lepas.

Bahan yang digunakan :

1. Air limbah inlet point L PT Petrokimia Gresik sebagai air limbah yang diolah. Volume air limbah yang digunakan untuk proses elektrodialisis dengan sistem *batch* adalah sebanyak 1 liter. Air limbah ini dialirkan menuju kompartemen 3 (K3).
2. Air limbah pabrik amonia PT Petrokimia Gresik sebagai elektrolit pada sisi anoda. Volume air limbah yang digunakan untuk proses elektrodialisis dengan sistem *batch* ditentukan sebanyak 1 liter. Air limbah ini dialirkan menuju kompartemen 1 (K1).
3. Air limbah pabrik fosfat PT Petrokimia Gresik sebagai elektrolit pada sisi katoda. Volume air limbah yang digunakan untuk proses elektrodialisis dengan sistem *batch* ditentukan sebanyak 1 liter. Air limbah ini dialirkan menuju kompartemen 5 (K5).
4. Aquades

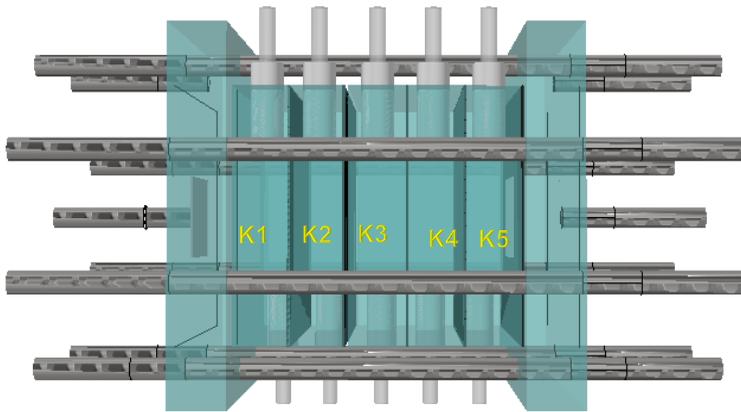
Digunakan sebagai pelarut ion yang tersisihkan selama proses elektrodialisis. Aquades dialirkan menuju kompartemen 2 (K2) dan kompartemen 4 (K4).

Pada penelitian ini digunakan reaktor elektrodialisis dengan 5 kompartemen yang terdiri atas dua jenis membran, yaitu *anion exchange membrane* (AEM) dan *cation exchange membrane* (CEM). Tujuan dari proses elektrodialisis sebagai pra pengolahan air limbah sebelum diolah pada *fluidized bed* untuk membentuk mineral *struvite* adalah untuk mendapatkan ammonium dan fosfat dengan sedikit ion pengganggu, terutama ion Fluor yang memiliki konsentrasi terbesar ketiga setelah ammonium dan fosfat.



- Keterangan :
- Garis merah : aliran *feed*
 - Garis biru : aliran produk
 - Garis hitam : aliran elektrolit

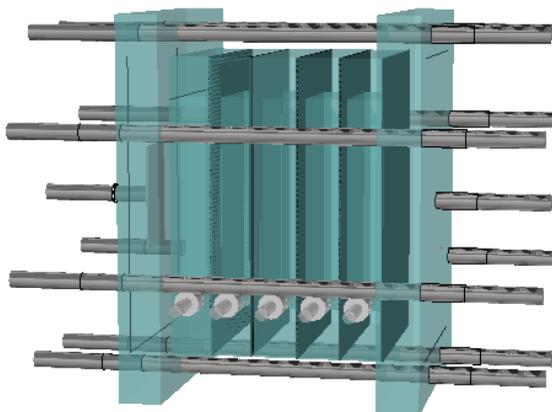
Gambar 3.2 Sistem Elektrodialisis



Keterangan :

- K1 = Kompartemen 1 (Air Limbah Pabrik Ammonium)
- K2 = Kompartemen 2 (Aquadess)
- K3 = Kompartemen 3 (Air Limbah Inlet *Point L*)
- K4 = Kompartemen 4 (Aquadess)
- K5 = Kompartemen 5 (Air Limbah Pabrik Fosfat)

Gambar 3.3 Denah Reaktor Elektrodialisis



Gambar 3.4 Tampak Depan Reaktor Elektrodialisis (3D)

3.5 Penelitian Utama

Pada penelitian utama, dilakukan pengamatan pada proses elektrodialisis yang telah direncanakan. Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah pH air limbah (tiga variasi) dan kuat arus (tiga variasi) sehingga dihasilkan sembilan variasi sampel. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak 7 kali pada lima titik kompartemen berdasarkan hasil penelitian pendahuluan. Frekuensi pengambilan sampel setiap satu siklus pengamatan tertera pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Pengambilan Sampel Setiap Satu Siklus Pengamatan (Running)

No.	Lokasi	Volume Sampel (mL)	Tujuan Analisis	Frekuensi Pengambilan
1.	Tangki Produk	20	Fosfat Ammonium Fluor TDS pH	7
2.	Tangki Katoda	20	Fosfat TDS pH	7
3.	Tangki Anoda	20	Ammonium TDS pH	7

Selain menggunakan air limbah inlet *Point L*, penelitian ini juga menggunakan air limbah Pabrik Ammonium dan Pabrik Fosfat. Pemanfaatan air limbah lainnya di PT Petrokimia Gresik bertujuan untuk menggunakan kembali air limbah tersebut dan menghindari dihasilkannya limbah baru selama proses elektrodialisis.

Sebelum menjalankan reaktor elektrodialisis, terdapat beberapa persiapan yang harus dilakukan. Reaktor dibilas terlebih dahulu dengan larutan HNO_3 0,1 M dan aquades. Pencucian reaktor dilakukan setiap sebelum dan sesudah penggunaan reaktor. Setelah itu, reaktor dirangkai seperti pada Gambar 3.3.

Selama proses elektrodialisis, setiap kompartemen dialiri air limbah dan disirkulasi kembali ke dalam reaktor. Air limbah inlet

Point L dialirkan melalui kompartemen pada bagian tengah (K3). Aquades dialirkan menuju kompartemen 2 (K2) dan kompartemen 4 (K4). Sedangkan kompartemen 1 (K1) dan kompartemen 5 (K5) dialiri oleh air limbah pabrik ammonium dan pabrik fosfat.

Perpindahan ion terjadi selama proses elektrodialisis melalui AEM dan CEM. AEM hanya melewatkan ion negatif (anion) sedangkan CEM hanya melewatkan ion positif (kation). Anion pada air limbah yaitu ion PO_4^{3-} dan F^- bergerak menuju elektroda yang dialiri oleh aliran muatan listrik positif (anoda) perak melalui AEM. Anion PO_4^{3-} dan F^- berpindah dari K3 menuju K2 serta berpindah dari K5 menuju K4. Sedangkan kation pada air limbah yaitu ion NH_4^+ bergerak menuju elektroda yang dialiri oleh aliran muatan listrik negatif (katoda) *stainless steel* melalui CEM. Kation NH_4^+ berpindah dari K1 menuju K2 serta berpindah dari K3 menuju K4. Akibat proses perpindahan ion – ion tersebut, terjadi penurunan konsentrasi ion NH_4^+ pada K1, penurunan konsentrasi ion PO_4^{3-} pada K5, dan penurunan konsentrasi ion NH_4^+ , PO_4^{3-} , dan F^- pada K3. Sementara itu, konsentrasi ion NH_4^+ , PO_4^{3-} , dan F^- meningkat pada K2 dan K4.

Setelah selesai menjalankan proses elektrodialisis, penelitian dilanjutkan dengan menguji nilai pH, TDS, NH_4^+ , PO_4^{3-} , F^- dan TSS pada setiap sampel. Pengujian nilai pH bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan pH terhadap spesies ion yang terbentuk. Spesies ion yang terbentuk akan mempengaruhi konsentrasi ion – ion NH_4^+ , PO_4^{3-} , dan F^- pada air limbah. Konsentrasi ion – ion tersebut menunjukkan kemampuan *recovery* ion yang didapatkan selama proses elektrodialisis. Pada penelitian ini juga dianalisis konsentrasi TSS pada K2 dan K4 untuk mengetahui potensi pembentukan suspensi/partikel. TSS yang terbentuk diduga dapat menyebabkan *scaling* pada permukaan membran selama proses elektrodialisis.

Sampel yang diuji konsentrasi TSS adalah sampel pada K2 dan K4 pada variasi kuat arus tertinggi di setiap variasi pH. Mula – mula, sampel disaring dengan menggunakan kertas saring. Kemudian, kertas saring tersebut dimasukkan ke dalam oven selama 1 jam. Setelah itu, kertas saring dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit. Setelah suhu kertas saring normal, kertas saring ditimbang untuk mengetahui berat TSS yang terbentuk selama proses elektrodialisis. TSS tersebut berpotensi

menjadi kerak pada permukaan membran dan menyebabkan *scaling*.

3.6 Analisis dan Pembahasan

Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini adalah :

1. Menganalisis variasi pH dan kuat arus terhadap efisiensi *recovery* ion ammonium dan fosfat. Sampel yang didapat dari kedua variasi ditampilkan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Variasi Sampel Hasil Penelitian

pH / Kuat Arus	0,3 A (I)	0,6 A (II)	0,9 A (III)
5 (A)	IA	IIA	IIIA
7 (B)	IB	IIB	IIIB
9 (C)	IC	IIC	IIIC

Selama 6 jam proses elektrodialisis diambil 7 sampel *time series* pada kelima kompartemen. Maka, data yang akan didapatkan pada penelitian ini disajikan pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Data Sampel Penelitian

Variasi Sampel / waktu operasi	t ₁ (1)	t ₂ (2)	t ₃ (3)	t ₄ (4)	t ₅ (5)	T ₆ (6)	T ₇ (7)
IA	IA ₁	IA ₂	IA ₃	IA ₄	IA ₅	IA ₆	IA ₇
IB	IB ₁	IB ₂	IB ₃	IB ₄	IB ₅	IB ₆	IB ₇
IC	IC ₁	IC ₂	IC ₃	IC ₄	IC ₅	IC ₆	IC ₇
IIA	IIA ₁	IIA ₂	IIA ₃	IIA ₄	IIA ₅	IIA ₆	IIA ₇
IIB	IIB ₁	IIB ₂	IIB ₃	IIB ₄	IIB ₅	IIB ₆	IIB ₇
IIC	IIC ₁	IIC ₂	IIC ₃	IIC ₄	IIC ₅	IIC ₆	IIC ₇
IIIA	IIIA ₁	IIIA ₂	IIIA ₃	IIIA ₄	IIIA ₅	IIIA ₆	IIIA ₇
IIIB	IIIB ₁	IIIB ₂	IIIB ₃	IIIB ₄	IIIB ₅	IIIB ₆	IIIB ₇
IIIC	IIIC ₁	IIIC ₂	IIIC ₃	IIIC ₄	IIIC ₅	IIIC ₆	IIIC ₇

2. Menganalisis konsentrasi NH_4^+ , PO_4^{3-} , dan F^- pada produk
3. Menganalisis kompetisi ion pada proses elektrodialisis
4. Menganalisis perubahan pH selama proses elektrodialisis
5. Menganalisis berat dan unsur kerak di permukaan membran

6. Menganalisis kebutuhan energi (kWh/m^3) yang dibutuhkan untuk proses elektrodialisis
7. Menganalisis perubahan konduktivitas pada proses elektrodialisis

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penelitian Pendahuluan

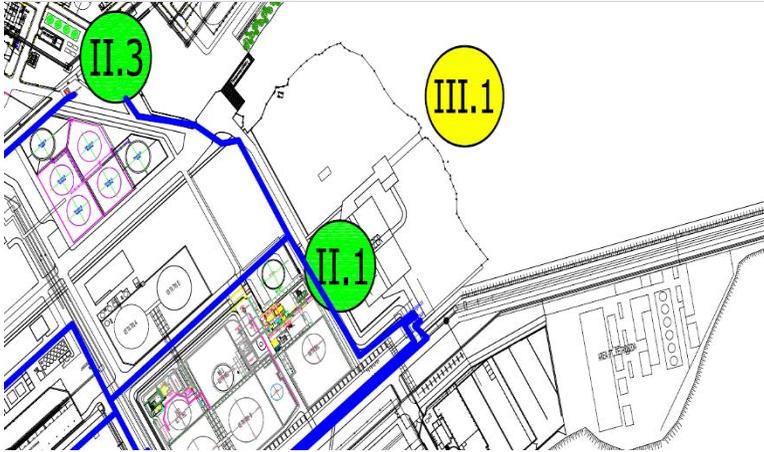
Penelitian pendahuluan dilakukan sebelum melaksanakan penelitian utama. Tujuan melakukan penelitian pendahuluan adalah untuk menganalisis karakteristik air limbah PT Petrokimia Gresik yang digunakan selama penelitian, menentukan konfigurasi reaktor yang digunakan, menentukan waktu operasi reaktor dan nilai arus listrik dari DC *power supply* yang digunakan pada penelitian utama.

4.1.1 Karakteristik Air Limbah PT Petrokimia Gresik

Penelitian ini menggunakan 3 jenis air limbah PT Petrokimia Gresik, antara lain air limbah inlet *Point L*, air limbah Pabrik *Ammonium*, dan air limbah Pabrik Fosfat. Air limbah inlet *Point L* adalah air limbah yang diolah pada penelitian ini. Air limbah Pabrik *Ammonium* digunakan sebagai elektrolit pada sisi anoda. Sedangkan air limbah Pabrik Fosfat digunakan sebagai elektrolit pada sisi katoda.

Air limbah inlet *Point L* merupakan campuran dari air limbah Pabrik *Ammonium* dan air limbah Pabrik Fosfat. Oleh karena itu, karakteristik air limbah inlet *Point L* sangat dipengaruhi oleh aktivitas kedua pabrik tersebut. Lokasi inlet *Point L* tertera pada Gambar 4.1.

Karakterisasi air limbah dilakukan untuk mengetahui kandungan fosfat, *ammonium*, fluor, dan pH pada ketiga air limbah tersebut. Karakterisasi awal air limbah dilakukan dengan analisis mandiri di Laboratorium Teknologi Pemulihan Air Teknik Lingkungan ITS. Karakteristik air limbah PT Petrokimia Gresik tertera pada Tabel 4.1.



Keterangan :

II.1 = Unit Equalizer

II.3 = Netraliser

III.1 = Point L

— = Saluran Segregasi Pabrik I, II, dan III

Gambar 4.1 Denah Inlet Point L PT Petrokimia Gresik

Sumber : Departemen Lingkungan dan K3 PT Petrokimia Gresik

Tabel 4.1 Karakteristik Air Limbah PT Petrokimia Gresik

Jenis Limbah	Parameter	Satuan	Hasil Uji
Inlet Point L	Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/L	3395
	Fosfat (PO ₄ ³⁻)	mg/L	12725
	Fluor (F ⁻)	mg/L	1157
	pH	-	3,2
	Pabrik Ammonium	Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/L
	pH	-	9
Pabrik Fosfat	Fosfat (PO ₄ ³⁻)	mg/L	11275
	pH	-	2,0

Berdasarkan hasil analisis karakteristik air limbah inlet Point L, diketahui bahwa pH *feed* yang akan diolah oleh elektrodialisis adalah 3,2. Pada saat pengambilan *sample*, pabrik yang sedang melakukan proses produksi hanya Pabrik Fosfat sedangkan Pabrik Ammonium sedang tidak melakukan proses

produksi. Air limbah Pabrik *Ammonium* tidak mengalir ke inlet *Point L* dan menyebabkan pH air limbah inlet *Point L* menjadi sangat asam. Nilai pH, kandungan ion *ammonium* dan fosfat pada air limbah inlet *Point L* sangat fluktuatif karena dipengaruhi oleh proses produksi yang dilakukan oleh Pabrik *Ammonium* dan Pabrik Fosfat. Apabila pengambilan *sample* dilakukan pada saat Pabrik Fosfat aktif melakukan proses produksi, maka pH air limbah cenderung rendah dan kandungan ion fosfat pada air limbah tinggi. Di sisi lain, apabila pengambilan *sample* dilakukan saat Pabrik *Ammonium* aktif melakukan proses produksi, maka pH air limbah cenderung tinggi dan kandungan ion *ammonium* pada air limbah tinggi.

4.1.2 Penentuan Konfigurasi Reaktor

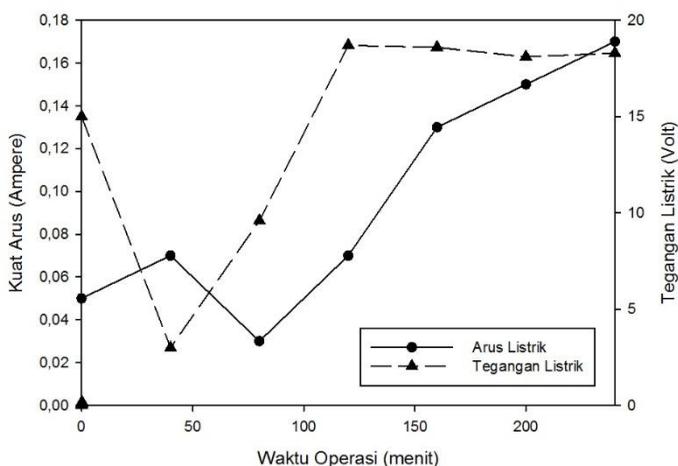
Untuk menentukan konfigurasi yang digunakan pada penelitian utama, dilakukan penelitian pendahuluan terlebih dahulu. Beberapa percobaan dilakukan untuk memastikan efektivitas reaktor dengan 7 kompartemen yang digunakan pada penelitian utama. Mula – mula reaktor dirangkai dengan 7 kompartemen dan tegangan listrik sebesar 20V. Percobaan dilakukan selama 2 menit. Setelah 2 menit, arus yang didapatkan hanya sebesar 0,02A. Kemudian percobaan dilakukan dengan jumlah kompartemen yang sama namun tegangan listrik yang digunakan adalah 30V. Setelah 2 menit, nilai arus yang didapatkan sama dengan sebelumnya yaitu 0,02A. Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi reaktor yang digunakan dengan 7 kompartemen memiliki hambatan yang besar. Walaupun sistem telah diberikan tegangan listrik yang besar namun arus listrik yang dihasilkan masih sangat kecil. Oleh karena itu, dilakukan pengurangan jumlah kompartemen yang digunakan pada penelitian utama menjadi 5 kompartemen.

4.1.3 Penentuan Waktu Operasi dan Nilai Arus Listrik

Setelah mengurangi jumlah kompartemen menjadi 5, penelitian pendahuluan dilanjutkan dengan pengujian variasi kuat arus dan waktu operasi yang digunakan pada penelitian utama. Pengujian variasi kuat arus bertujuan untuk mengetahui variasi kuat arus yang digunakan pada penelitian utama dengan mempertimbangkan perpindahan ion dari kompartemen *feed* ke

kompartemen produk dan nilai tegangan listrik yang digunakan untuk mencapai arus listrik tersebut.

Mula-mula reaktor dialiri arus listrik dengan menggunakan DC *supply* dengan tegangan maksimum. Pada saat t_0 , reaktor memerlukan tegangan listrik yang tinggi yaitu sebesar 15V untuk mendapatkan arus listrik sebesar 0.05A. Setelah 120 menit, arus listrik naik menjadi 0.07A dan tegangan listrik yang dibutuhkan meningkat menjadi 18.7V. Setelah 133 menit, kuat arus yang didapatkan adalah sebesar 0,1A dengan tegangan listrik yang dibutuhkan adalah 18.6V. Semakin lama waktu operasi elektrodialisis, maka tegangan listrik yang dibutuhkan semakin kecil. Sebaliknya, semakin lama waktu operasi maka arus listrik yang dihasilkan semakin besar. Perubahan kuat arus dan tegangan yang terjadi dapat dilihat pada Grafik 4.1.

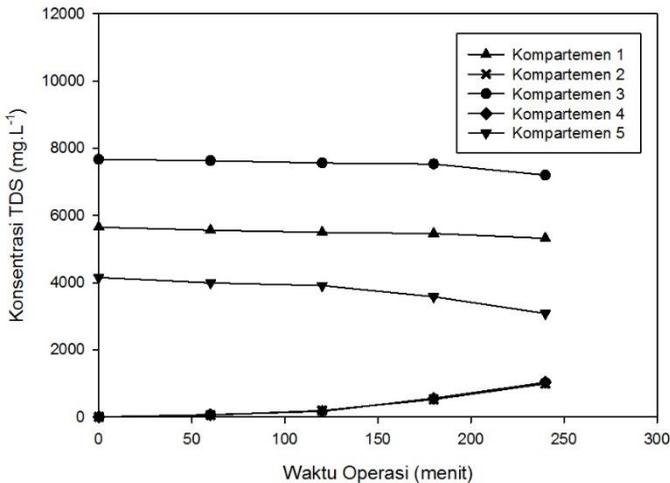


Grafik 4.1 Perubahan Kuat Arus dan Tegangan Listrik pada Penelitian Pendahuluan

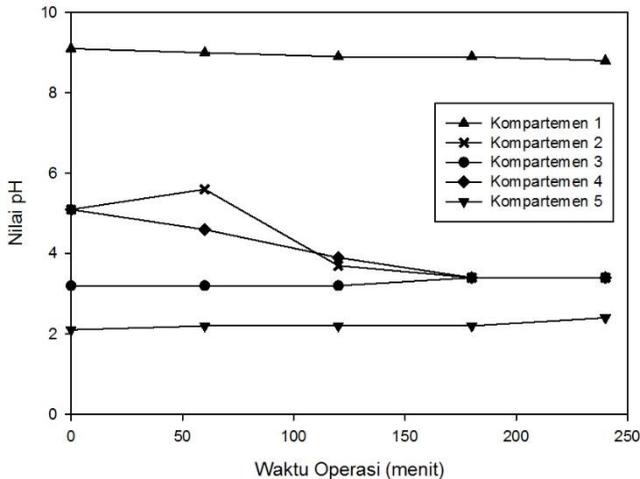
Sistem diberhentikan setelah 242 menit dengan kuat arus sebesar 0,17A dan tegangan listrik yang dibutuhkan sebesar 18,0V. Pada akhir waktu operasi, air limbah Pabrik *Ammonium* pada kompartemen anoda berubah warna menjadi biru. Perubahan warna tersebut dimungkinkan akibat pembentukan endapan $\text{Cu}(\text{OH})_2$. Saat penelitian pendahuluan dilakukan, anoda yang

digunakan adalah perak dengan kemurnian 92.5%. Logam campuran sebanyak 7.5% yang digunakan adalah tembaga (Berger, 2017). Pada anoda, air limbah memiliki pH yang tinggi yaitu 9. Pada saat perak meluruh, logam tembaga dalam anoda bereaksi dengan OH^- yang terkandung pada air limbah Pabrik *Ammonium*. Oleh karena itu, pada penelitian utama digunakan perak dengan kemurnian 100% untuk menghindari terbentuknya presipitat lain pada air limbah.

Selain memperhatikan perubahan kuat arus dan tegangan listrik, hal penting yang diperhatikan dalam menentukan waktu operasi dan kuat arus adalah *Total Dissolved Solid* (TDS) dan pH pada masing-masing kompartemen. TDS menunjukkan konsentrasi ion terlarut pada air limbah. Ion-ion tersebut mempengaruhi kemampuan larutan untuk menghantarkan listrik. Nilai pH menunjukkan konsentrasi proton (H^+) pada larutan (Boyd *et al.*, 2011). Apabila nilai pH pada air limbah mengalami penurunan maka dimungkinkan terjadi perpindahan proton yang dapat meningkatkan TDS pada kompartemen yang dituju oleh proton. Perubahan nilai pH dan TDS pada air limbah selama proses elektrodialisis dapat dilihat pada Grafik 4.2. dan Grafik 4.3 berikut.



Grafik 4.2 Perubahan TDS pada Penelitian Pendahuluan



Grafik 4.3 Perubahan pH pada Penelitian Pendahuluan

Saat awal operasi (t_0) hingga sebelum menit ke – 120 (t_2), kuat arus yang diterima oleh reaktor masih fluktuatif. Namun setelah waktu operasi t_2 , kuat arus dapat mencapai 0.07A dan terus meningkat bersamaan dengan semakin besar konsentrasi TDS pada kompartemen 2 (K2) dan kompartemen 4 (K4) sebagai kompartemen produk. Konsentrasi TDS pada t_2 di K2 adalah sebesar 57.3 mg.L^{-1} sedangkan konsentrasi TDS di K4 adalah 69.7 mg.L^{-1} . Hal ini menunjukkan bahwa meningkatnya kuat arus yang diterima oleh reaktor dipengaruhi oleh konsentrasi TDS pada kompartemen produk. Semakin tinggi konsentrasi TDS pada kompartemen produk maka semakin mudah pula larutan dalam reaktor untuk menghantarkan listrik. Berdasarkan hasil uji ini, maka akan dilakukan dengan penambahan TDS pada kompartemen produk sebelum *running* dilakukan. Untuk meningkatkan TDS, penambahan $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ dilakukan pada K2, sedangkan penambahan larutan NH_3 dilakukan pada K4. Konsentrasi TDS yang ditambahkan pada masing – masing kompartemen adalah $\pm 250 \text{ mg.L}^{-1}$. Penambahan TDS pada kompartemen produk bertujuan untuk mempercepat peningkatan kuat arus pada reaktor.

Besarnya tegangan listrik yang digunakan pada saat *running* berlangsung mempengaruhi berat perak yang meluruh. Berat perak yang meluruh selama 4 jam *running* adalah sebesar 1.23 gram. Penentuan kuat arus yang digunakan sebagai variasi dipengaruhi oleh besarnya tegangan listrik yang digunakan pada penelitian utama. Kuat arus sebesar 0.05A memerlukan tegangan listrik yang tidak terlalu besar sehingga diperkirakan berat perak yang meluruh lebih sedikit. Kuat arus maksimum yang dapat dicapai pada penelitian pendahuluan ini adalah 0.17A. Namun, untuk mencapai kuat arus tersebut diperlukan tegangan listrik yang tinggi yaitu sebesar 18.3V. Dengan mempertimbangkan kebutuhan tegangan listrik yang tidak terlalu tinggi, maka kuat arus sebesar 0.15A dipilih sebagai variasi maksimal pada variabel ini. Sehingga variasi kuat arus yang digunakan pada penelitian utama adalah 0.05A ; 0.1A ; dan 0.15A.

Selama proses elektrodialisis, terjadi penurunan pH pada kompartemen 4 (K4). Hal ini diakibatkan karena perpindahan ion H^+ dari kompartemen 3 (K3) ke K4 yang ditunjukkan dengan kenaikan pH pada K3. Perubahan pH terjadi pada seluruh kompartemen, termasuk kompartemen 1 (K1). Untuk menghindari semakin banyak berat perak yang meluruh selama proses berlangsung, pH air limbah Pabrik *Ammonium* pada kompartemen 1 (K1) disesuaikan menjadi 12,5. Hal ini disebabkan karena solubilitas terendah perak pada larutan *ammonium* terjadi pada pH 12 (Sluyters *et al.*, 1961). Penyesuaian pH air limbah Pabrik *Ammonium* dilakukan dengan menambahkan larutan NaOH 3M sebanyak ± 40 mL.

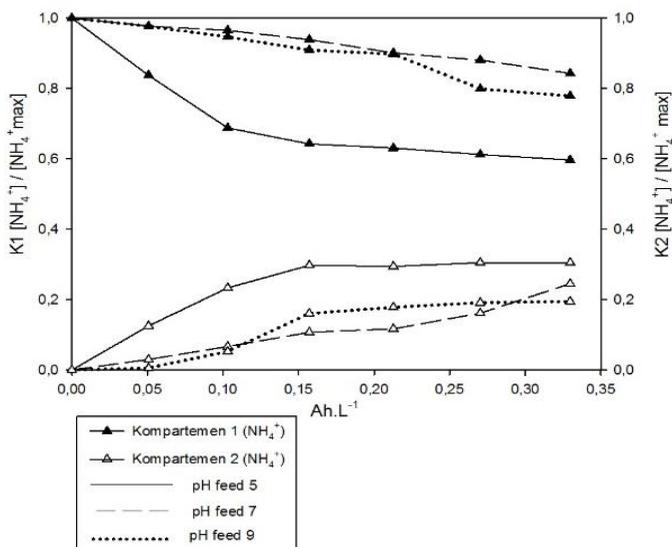
4.2 Penelitian Utama

Penelitian utama bertujuan untuk menentukan nilai arus listrik yang efektif untuk *recovery* ion *ammonium* dan ion fosfat pada proses elektrodialisis serta menentukan nilai pH efektif untuk mencegah potensi pembentukan kerak (*scaling*) pada permukaan membran. Variasi yang digunakan pada penelitian ini adalah variasi pH awal air limbah pada *feed* tank dan variasi kuat arus. Variasi pH yang digunakan antara lain 5, 7, dan 9. Sedangkan variasi kuat arus yang digunakan antara lain 0,05A ; 0,1A ; dan 0,15A.

4.2.1 Recovery Ion Ammonium dan Ion Fosfat pada Kompartemen K2

Pada proses elektrodialisis terjadi perpindahan kation ammonium dan anion fosfat dengan melewati membran penukar kation dan membran penukar anion. Hal ini menyebabkan konsentrasi ion ammonium dan fosfat pada air limbah berkurang sedangkan konsentrasi ion – ion tersebut pada konsentrat bertambah. Pada sub bab ini konsentrat yang dibahas adalah konsentrat pada K2.

Parameter uji ammonium adalah salah satu parameter utama dalam penelitian ini. Perpindahan ion *ammonium* dari kompartemen K1 menuju kompartemen K2 berdasarkan variasi kuat arus dan pH tanki *feed* dapat dilihat pada Grafik 4.4 sampai Grafik 4.6.



Grafik 4.4 Recovery Ion Ammonium K2 Pada Variasi Kuat Arus 0.05 A

Pada pH 5 *feed*, massa ion ammonium yang tersisihkan dari K1 adalah 1240.4 gram (40.3% massa ion ammonium tersisihkan). Sementara itu, massa ion ammonium yang berpindah menuju K2 adalah 937.8 gram (30.5% massa ion didapatkan).

Terdapat selisih kehilangan ion ammonium sebesar 302.6 gram. Air limbah K1 mengalami perubahan pH dari 12.4 menjadi 12.2. Pada pH 12.2, spesies ion ammonium yang terbentuk sebagian besar adalah NH_3 yang terlepas sebagai gas (Sawyer *et al.*, 2003). Sementara konsentrat K2 mengalami perubahan pH dari 10.9 menjadi 10. Pada pH 10, sebesar $\pm 20\%$ spesies ion ammonium terbentuk sementara sebesar $\pm 80\%$ spesies ammonia terbentuk (Qiang dan Adams, 2004). Hal ini memungkinkan terjadi kehilangan ion ammonium yang terlepas sebagai ammonia bebas sehingga terjadi kehilangan ammonium selama proses elektrodialisis.

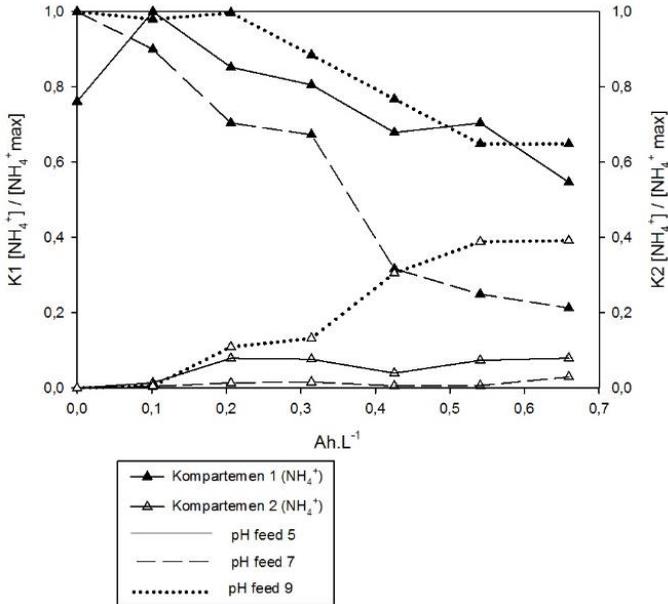
Pada pH *feed* 7, massa ion ammonium yang tersisihkan dari K1 adalah 481.2 gram (15.7% massa ion ammonium tersisihkan). Sementara itu, massa ion ammonium yang berpindah menuju K2 adalah 408.8 gram (13.3% massa ion didapatkan). Terdapat selisih kehilangan ion ammonium sebesar 72.4 gram. Hal ini dapat disebabkan pengambilan sampel pada kurang homogen.

Pada pH *feed* 9, massa ion ammonium yang tersisihkan dari K1 adalah 650 gram (22.1% massa ion ammonium tersisihkan). Sementara itu, massa ion ammonium yang berpindah menuju K2 adalah 571.9 gram (19.5% massa ion didapatkan).

Terdapat selisih kehilangan ion ammonium sebesar 78.1 gram. Air limbah K1 mengalami perubahan pH dari 12.43 menjadi 12.25. Pada pH 12.25, spesies ion ammonium yang terbentuk sebagian besar adalah NH_3 yang terlepas sebagai gas (Sawyer *et al.*, 2003). Sementara konsentrat K2 mengalami perubahan pH dari 10.9 menjadi 10.1. Pada pH 10.1, sebesar $\pm 20\%$ spesies ion ammonium terbentuk sementara sebesar $\pm 80\%$ spesies ammonia terbentuk (Qiang dan Adams, 2004). Hal ini memungkinkan terjadi kehilangan ion ammonium yang terlepas sebagai ammonia bebas sehingga terjadi kehilangan ammonium selama proses elektrodialisis.

Selanjutnya, dilakukan perbandingan pengaruh ketiga variasi pH pada variasi kuat arus 0.05A. Pada variasi pH 5, terjadi potensi *recovery* ion ammonium menuju K2 terjadi sebesar 937.8 gram. Pada variasi pH 7, massa ion ammonium yang dapat ter-*recovery* adalah sebesar 749.8 gram. Sementara itu, pada variasi pH 9 massa ion ammonium yang ter-*recovery* adalah sebesar 571.9 gram. Dengan membandingkan ketiga variasi pH pada

variasi kuat arus 0.05A, *recovery* ion ammonium terbesar terjadi pada variasi pH 5.



Grafik 4.5 Recovery Ion Ammonium K2 Pada Variasi Kuat Arus 0.1A

Pada pH 5 *feed*, massa ion ammonium yang tersisihkan dari K1 adalah 1292 gram (28.2% massa ion ammonium tersisihkan). Sementara itu, massa ion ammonium yang berpindah menuju K2 adalah 476.5 gram (10.4% massa ion didapatkan).

Terdapat selisih kehilangan ion ammonium sebesar 815.5 gram. Air limbah K1 mengalami perubahan pH dari 8.7 menjadi 8.2. Konsentrat K2 juga mengalami perubahan dari 9.5 menjadi 8.2. Pada pH 8.2, sebesar $\pm 80\%$ spesies ion ammonium terbentuk sementara sebesar $\pm 20\%$ spesies ammonia terbentuk (Qiang dan Adams, 2004). Penurunan pH memungkinkan perubahan spesies ammonia menjadi ion ammonium. Namun, kehilangan ion ammonium yang besar tetap terjadi. Hal ini mungkin diakibatkan pengambilan sampel yang kurang homogen.

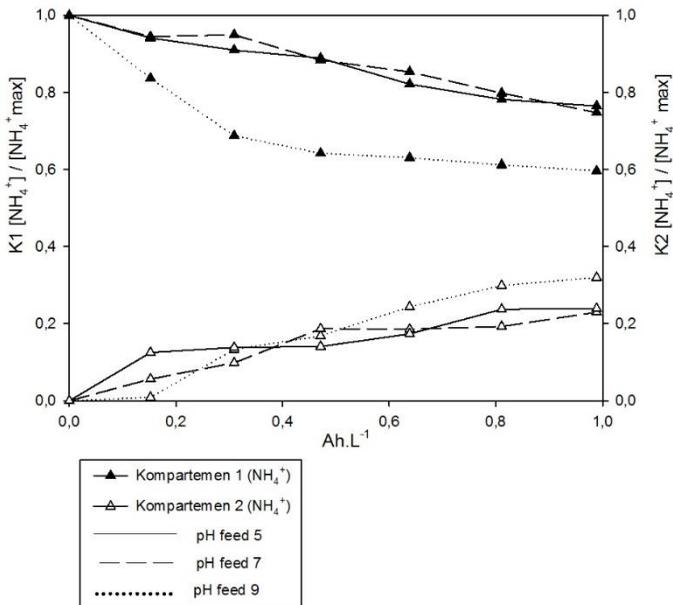
Pada pH *feed* 7, massa ion ammonium yang tersisihkan dari K1 adalah 2572.9 gram (78.8% massa ion ammonium

tersisihkan). Namun, massa ion ammonium yang berpindah menuju K2 hanya sebesar 95.3 gram (2.9% massa ion didapatkan).

Terdapat selisih kehilangan ion ammonium sebesar 2477.6 gram. Air limbah K1 mengalami perubahan pH dari 12.49 menjadi 12.32. Pada pH 12.32, spesies ion ammonium yang terbentuk sebagian besar adalah NH_3 yang terlepas sebagai gas (Sawyer *et al.*, 2003). Sementara konsentrat K2 mengalami perubahan pH dari 9.6 menjadi 9. Kehilangan ion ammonium yang sangat besar mungkin terjadi pada K1 akibat perubahan spesies ion ammonium menjadi ammonia dalam jumlah besar selama proses elektrodialisis. Selain itu, pengambilan sampel yang tidak homogen pada K2 menyebabkan hasil yang terbaca tidak representatif.

Pada pH *feed* 9, massa ion ammonium yang tersisihkan dari K1 adalah 745.2 gram (35.2% massa ion ammonium tersisihkan). Sementara itu, massa ion ammonium yang berpindah menuju K2 adalah 686.8 gram (32.4% massa ion didapatkan). Terdapat selisih kehilangan ion ammonium sebesar 58.4 gram. Hal ini dapat disebabkan pengambilan sampel pada kurang homogen.

Selanjutnya, dilakukan perbandingan pengaruh ketiga variasi pH pada variasi kuat arus 0.1A. Pada variasi pH 5, terjadi potensi *recovery* ion ammonium menuju K2 terjadi sebesar 476.5 gram. Pada variasi pH 7, massa ion ammonium yang dapat *recovery* adalah sebesar 95.3 gram. Sementara itu, pada variasi pH 9 massa ion ammonium yang *recovery* adalah sebesar 686.8 gram. Dengan membandingkan ketiga variasi pH pada variasi kuat arus 0.1A, *recovery* ion ammonium terbesar terjadi pada variasi pH 9.



Grafik 4.6 Recovery Ion Ammonium K2 Pada Variasi Kuat Arus 0.15A

Pada pH 5 *feed*, massa ion ammonium yang tersisihkan dari K1 adalah 465.2 gram (23.5% massa ion ammonium tersisihkan). Sementara itu, massa ion ammonium yang berpindah menuju K2 adalah 411.4 gram (20.8% massa ion didapatkan). Terdapat selisih kehilangan ion ammonium sebesar 53.8 gram. Hal ini mungkin diakibatkan pengambilan sampel yang kurang homogen.

Pada pH *feed* 7, massa ion ammonium yang tersisihkan dari K1 adalah 542.9 gram (25.2% massa ion ammonium tersisihkan). Namun, massa ion ammonium yang berpindah menuju K2 hanya sebesar 494.7 gram (22.9% massa ion didapatkan). Terdapat selisih kehilangan ion ammonium sebesar 48.2 gram. Hal ini mungkin diakibatkan pengambilan sampel yang kurang homogen.

Pada pH *feed* 9, massa ion ammonium yang tersisihkan dari K1 adalah 1240.4 gram (40.3% massa ion ammonium tersisihkan). Sementara itu, massa ion ammonium yang berpindah menuju K2 adalah 984.2 gram (31.9% massa ion didapatkan).

Terdapat selisih kehilangan ion ammonium sebesar 256.2 gram. Hal ini dapat disebabkan pengambilan sampel pada kurang homogen. Selain itu, kehilangan ion ammonium yang cukup besar juga mungkin disebabkan oleh perubahan spesies ion ammonium menjadi ammonia selama proses elektrodialisis berlangsung. Air limbah K1 mengalami perubahan pH dari 12.49 menjadi 12.21. Pada pH 12.21, spesies ion ammonium yang terbentuk sebagian besar adalah NH_3 yang terlepas sebagai gas (Sawyer *et al.*, 2003). Sementara konsentrat K2 mengalami perubahan pH dari 10.81 menjadi 10.15. Pada pH 10.15, sebesar $\pm 20\%$ spesies ion ammonium terbentuk sementara sebesar $\pm 80\%$ spesies ammonia terbentuk (Qiang dan Adams, 2004). Hal ini memungkinkan terjadi kehilangan ion ammonium yang terlepas sebagai ammonia bebas sehingga terjadi kehilangan ammonium selama proses elektrodialisis.

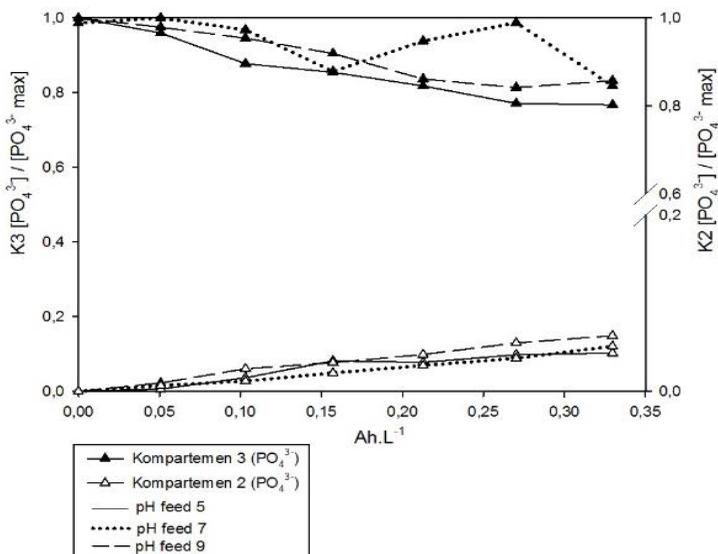
Selanjutnya, dilakukan perbandingan pengaruh ketiga variasi pH pada variasi kuat arus 0.15A. Pada variasi pH 5, terjadi potensi *recovery* ion ammonium menuju K2 terjadi sebesar 411.4 gram. Pada variasi pH 7, massa ion ammonium yang dapat *recovery* adalah sebesar 494.7 gram. Sementara itu, pada variasi pH 9 massa ion ammonium yang *recovery* adalah sebesar 984.2 gram. Dengan membandingkan ketiga variasi pH pada variasi kuat arus 0.15A, *recovery* ion ammonium terbesar terjadi pada variasi pH 9.

Perpindahan massa ion ammonium menuju K2 umumnya terjadi pada proses yang sama pada seluruh variasi pH *feed*. Hal ini diakibatkan tidak ada ion ammonium yang bergerak dari K3 menuju K2. Oleh karena itu, perpindahan massa ion ammonium yang terjadi hanya dipengaruhi oleh kuat arus yang dialirkan pada reaktor elektrodialisis.

Pada pH *feed* 5, massa ion ammonium yang berpindah menuju K2 dengan kuat arus 0.05A, 0.1A, dan 0.15A berturut – turut adalah 937.8 gram, 476.5 gram, dan 411.4 gram. Kenaikan kuat arus pada variasi pH ini menunjukkan penurunan massa ion yang berpindah. Sementara itu, pada pH *feed* 7, massa ion ammonium yang berpindah menuju K2 dengan kuat arus 0.05A, 0.1A, dan 0.15A berturut – turut adalah 408.8 gram, 95.3 gram, dan 494.7 gram. Kuat arus yang semakin tinggi menunjukkan kenaikan massa ion yang berpindah. Hal yang sama terjadi pada

variasi pH *feed* 9. Pada pH *feed* 9, massa ion ammonium yang berpindah menuju K2 dengan kuat arus 0.05A, 0.1A, dan 0.15A berturut – turut adalah 571.9 gram, 686.8 gram, dan 984.2 gram. Hal ini menunjukkan bahwa proses elektrodialisis dengan kuat arus yang semakin tinggi akan menghasilkan perpindahan massa ion ammonium menuju konsentrat semakin besar.

Selain perpindahan ion ammonium, proses perpindahan ion fosfat juga terjadi. Perpindahan ini terjadi dari K3 menuju K2. Parameter uji fosfat adalah parameter utama lainnya dalam penelitian ini. Perpindahan ion fosfat berdasarkan variasi kuat arus dan pH tanki *feed* dapat dilihat pada Grafik 4.7 sampai Grafik 4.9.



Grafik 4.7 Recovery Ion Fosfat K2 Pada Variasi Kuat Arus 0.05A

Pada pH 5 *feed*, massa ion fosfat yang tersihkan dari K3 adalah 3136.2 gram (23.3% massa ion fosfat tersihkan). Namun, massa ion fosfat yang berpindah menuju K2 hanya sebesar 585.8 gram (4.3% massa ion didapatkan).

Terdapat selisih kehilangan ion fosfat sebesar 2550.4 gram. Air limbah K3 cenderung stabil pada pH 5. Spesies ion yang terbentuk di K3 didominasi oleh spesies ion $H_2PO_4^-$ sebesar $\pm 98\%$ dan spesies ion HPO_4^{2-} sebesar $\pm 2\%$. (Abidi *et al.*, 2011).

Sementara itu, konsentrasi K2 mengalami perubahan pH dari 10.9 menjadi 10. Spesies ion yang terbentuk pada K2 awalnya terdiri atas spesies ion HPO_4^{2-} yaitu sebesar $\pm 95\%$ dan spesies ion PO_4^{3-} sebesar $\pm 5\%$. Namun, akibat terjadi penurunan pH maka spesies ion berubah menjadi HPO_4^{2-} sebesar $\pm 100\%$ (Abidi *et al.*, 2011). Hal ini menunjukkan terdapat kemungkinan terjadi konversi ke persenyawaan lain sehingga tidak terukur sebagai ion PO_4^{3-} .

Pada pH *feed* 7, massa ion fosfat yang tersisihkan dari K3 adalah 1592.3 gram (14.2% massa ion fosfat tersisihkan). Namun, massa ion fosfat yang berpindah menuju K2 hanya sebesar 707.8 gram (6.3% massa ion didapatkan).

Terdapat selisih kehilangan ion fosfat sebesar 884.5 gram. Air limbah K3 cenderung stabil pada pH 7. Pada pH ini, spesies ion yang terbentuk adalah $\pm 50\%$ spesies ion H_2PO_4^- dan $\pm 50\%$ spesies ion HPO_4^{2-} (Abidi *et al.*, 2011). Sementara itu, konsentrasi K2 mengalami perubahan pH dari 10.8 menjadi 10. Spesies ion yang terbentuk pada K2 awalnya terdiri atas spesies ion HPO_4^{2-} yaitu sebesar $\pm 95\%$ dan spesies ion PO_4^{3-} sebesar $\pm 5\%$. Namun, akibat terjadi penurunan pH maka spesies ion berubah menjadi HPO_4^{2-} sebesar $\pm 100\%$ (Abidi *et al.*, 2011). Hal ini menunjukkan terdapat kemungkinan terjadi konversi ke persenyawaan lain sehingga tidak terukur sebagai ion PO_4^{3-} .

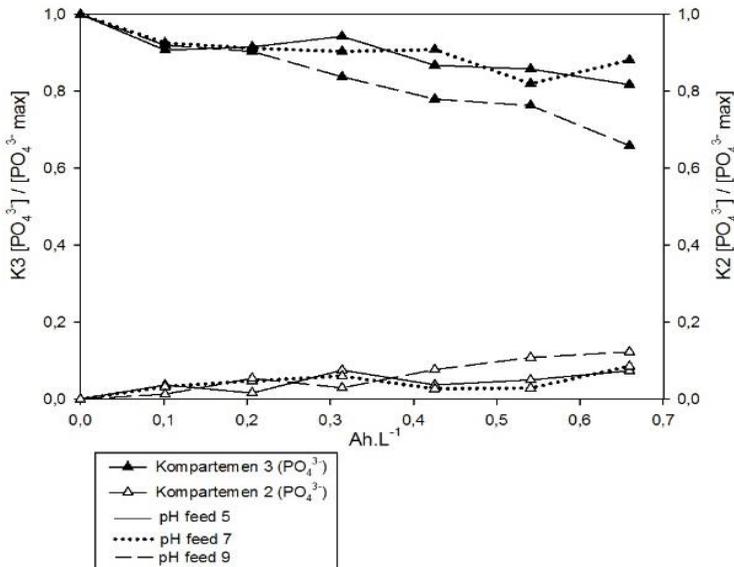
Pada pH *feed* 9, massa ion fosfat yang tersisihkan dari K3 adalah 1381.7 gram (14.4% massa ion fosfat tersisihkan). Namun, massa ion fosfat yang berpindah menuju K2 hanya sebesar 496.5 gram (5.2% massa ion didapatkan).

Terdapat selisih kehilangan ion fosfat sebesar 885.2 gram. Air limbah K3 mengalami penurunan pH dari 9 menjadi 8.7. Pada pH ini, spesies ion yang terbentuk adalah $\pm 92\%$ spesies ion HPO_4^{2-} dan $\pm 8\%$ spesies ion H_2PO_4^- (Abidi *et al.*, 2011). Sementara itu, konsentrasi K2 mengalami perubahan pH dari 10.9 menjadi 10.1. Spesies ion yang terbentuk pada K2 awalnya terdiri atas spesies ion HPO_4^{2-} yaitu sebesar $\pm 95\%$ dan spesies ion PO_4^{3-} sebesar $\pm 5\%$. Namun, akibat terjadi penurunan pH maka spesies ion berubah menjadi HPO_4^{2-} sebesar $\pm 99\%$ dan spesies ion PO_4^{3-} sebesar $\pm 1\%$. (Abidi *et al.*, 2011). Hal ini menunjukkan terdapat kemungkinan terjadi konversi ke persenyawaan lain sehingga tidak terukur sebagai ion PO_4^{3-} .

Selanjutnya, dilakukan perbandingan pengaruh ketiga variasi pH pada variasi kuat arus 0.05A. Pada variasi pH 5, terjadi potensi *recovery* ion fosfat menuju K2 terjadi sebesar 585.8 gram. Pada variasi pH 7, massa ion fosfat yang dapat ter-*recovery* adalah sebesar 707.8 gram. Sementara itu, pada variasi pH 9 massa ion fosfat yang ter-*recovery* adalah sebesar 496.5 gram. Dengan membandingkan ketiga variasi pH pada variasi kuat arus 0.05A, *recovery* ion fosfat terbesar terjadi pada variasi pH 7.

Berdasarkan Grafik 4.8., pada pH 5 *feed*, massa ion fosfat yang tersisihkan dari K3 adalah 1758.6 gram (18.2% massa ion fosfat tersisihkan). Namun, massa ion fosfat yang berpindah menuju K2 hanya sebesar 707.9 gram (7.3% massa ion didapatkan).

Terdapat selisih kehilangan ion fosfat sebesar 1050.7 gram. Air limbah K3 konstan pada pH 5. Pada pH tersebut, spesies ion yang terbentuk di K3 adalah spesies ion H_2PO_4^- sebesar $\pm 100\%$ (Abidi *et al.*, 2011). Sementara itu, konsentrat K2 mengalami perubahan pH dari 9.5 menjadi 8.2. Spesies ion yang terbentuk pada K2 awalnya terdiri atas spesies ion HPO_4^{2-} yaitu sebesar $\pm 100\%$. Namun, akibat terjadi penurunan pH maka spesies ion berubah menjadi HPO_4^{2-} sebesar $\pm 80\%$ dan spesies ion H_2PO_4^- sebesar 20% (Abidi *et al.*, 2011). Hal ini menunjukkan terdapat kemungkinan terjadi konversi ke persenyawaan lain sehingga tidak terukur sebagai ion PO_4^{3-} .



Grafik 4.8 Recovery Ion Fosfat K2 Pada Variasi Kuat Arus 0.1 A

Pada pH *feed* 7, massa ion fosfat yang tersisihkan dari K3 adalah 1442.5 gram (11.9% massa ion fosfat tersisihkan). Sementara itu, massa ion fosfat yang berpindah menuju K2 sebesar 1034.2 gram (8.5% massa ion didapatkan).

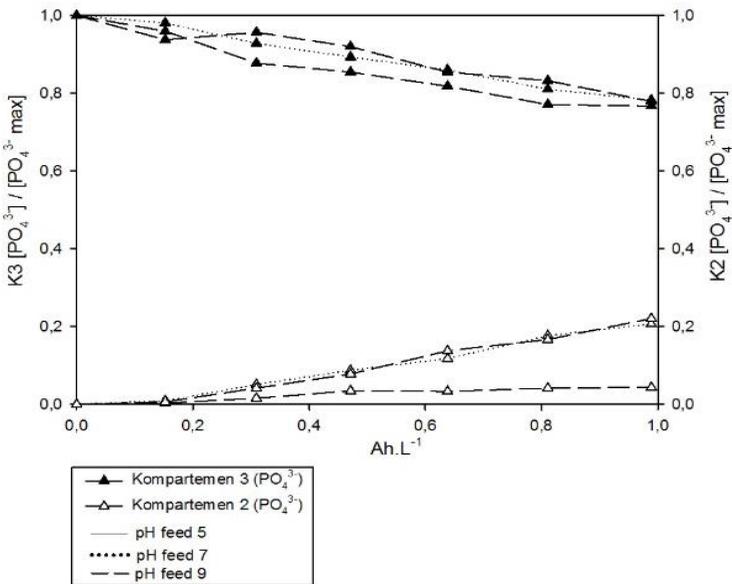
Terdapat selisih kehilangan ion fosfat sebesar 408.3 gram. Air limbah K3 cenderung stabil pada pH 7. Pada pH ini, spesies ion yang terbentuk adalah $\pm 50\%$ spesies ion H_2PO_4^- dan $\pm 50\%$ spesies ion HPO_4^{2-} (Abidi *et al.*, 2011). Sementara itu, konsentrasi K2 mengalami perubahan pH dari 9.6 menjadi 9. Spesies ion yang terbentuk pada K2 awalnya terdiri atas spesies ion HPO_4^{2-} yaitu sebesar $\pm 100\%$. Namun, akibat terjadi penurunan pH maka spesies ion berubah menjadi HPO_4^{2-} sebesar $\pm 96\%$ dan spesies ion H_2PO_4^- sebesar 4% (Abidi *et al.*, 2011). Hal ini menunjukkan terdapat kemungkinan terjadi konversi ke persenyawaan lain sehingga tidak terukur sebagai ion PO_4^{3-} .

Pada pH *feed* 9, massa ion fosfat yang tersisihkan dari K3 adalah 2381.3 gram (34.1% massa ion fosfat tersisihkan). Namun,

massa ion fosfat yang berpindah menuju K2 hanya sebesar 855.9 gram (12.3% massa ion didapatkan).

Terdapat selisih kehilangan ion fosfat sebesar 1525.4 gram. Air limbah K3 mengalami penurunan pH dari 9 menjadi 8.39. Pada mulanya, spesies ion yang terbentuk adalah $\pm 95\%$ spesies ion HPO_4^{2-} dan $\pm 5\%$ spesies ion H_2PO_4^- . Namun, setelah terjadi penurunan pH, spesies ion berubah menjadi $\pm 90\%$ spesies ion HPO_4^{2-} dan $\pm 10\%$ spesies ion H_2PO_4^- . (Abidi *et al.*, 2011). Sementara itu, konsentrat K2 mengalami perubahan pH dari 10.82 menjadi 10.24. Spesies ion yang terbentuk pada K2 awalnya terdiri atas spesies ion HPO_4^{2-} yaitu sebesar $\pm 92\%$ dan spesies ion PO_4^{3-} sebesar $\pm 8\%$. Namun, akibat terjadi penurunan pH maka spesies ion berubah menjadi HPO_4^{2-} sebesar $\pm 98\%$ dan spesies ion PO_4^{3-} sebesar $\pm 2\%$. (Abidi *et al.*, 2011). Hal ini menunjukkan terdapat kemungkinan terjadi konversi ke persenyawaan lain sehingga tidak terukur sebagai ion PO_4^{3-} .

Selanjutnya, dilakukan perbandingan pengaruh ketiga variasi pH pada variasi kuat arus 0.1A. Pada variasi pH 5, terjadi potensi *recovery* ion fosfat menuju K2 terjadi sebesar 707.9 gram. Pada variasi pH 7, massa ion fosfat yang dapat ter-*recovery* adalah sebesar 1034.2 gram. Sementara itu, pada variasi pH 9 massa ion fosfat yang ter-*recovery* adalah sebesar 855.9 gram. Dengan membandingkan ketiga variasi pH pada variasi kuat arus 0.1A, *recovery* ion fosfat terbesar terjadi pada variasi pH 7.



Grafik 4.9 Recovery Ion Fosfat K2 Pada Variasi Kuat Arus 0.15A

Pada pH 5 *feed*, massa ion fosfat yang tersisihkan dari K3 adalah 1261.4 gram (22.1% massa ion fosfat tersisihkan). Sementara itu, massa ion fosfat yang berpindah menuju K2 adalah sebesar 1258.3 gram (22% massa ion didapatkan). Selisih kehilangan ion fosfat yang terjadi sangat kecil yaitu sebesar 3.1 gram.

Pada pH *feed* 7, massa ion fosfat yang tersisihkan dari K3 adalah 1439.4 gram (21.7% massa ion fosfat tersisihkan). Sementara itu, massa ion fosfat yang berpindah menuju K2 sebesar 1369.8 gram (20.7% massa ion didapatkan).

Terdapat selisih kehilangan ion fosfat sebesar 69.6 gram. Air limbah K3 cenderung stabil pada pH 7. Pada pH ini, spesies ion yang terbentuk adalah $\pm 50\%$ spesies ion H_2PO_4^- dan $\pm 50\%$ spesies ion HPO_4^{2-} (Abidi *et al.*, 2011). Sementara itu, konsentrasi K2 mengalami perubahan pH dari 10.96 menjadi 10.37. Spesies

ion yang terbentuk pada K2 awalnya terdiri atas spesies ion HPO_4^{2-} yaitu sebesar $\pm 90\%$ dan spesies ion PO_4^{3-} sebesar $\pm 10\%$. Namun, akibat terjadi penurunan pH maka spesies ion berubah menjadi HPO_4^{2-} sebesar $\pm 96\%$ dan spesies ion PO_4^{3-} sebesar $\pm 4\%$ (Abidi *et al.*, 2011). Hal ini menunjukkan terdapat kemungkinan terjadi konversi ke persenyawaan lain sehingga tidak terukur sebagai ion PO_4^{3-} .

Pada pH *feed* 9, massa ion fosfat yang tersisihkan dari K3 adalah 3136.2 gram (23.3% massa ion fosfat tersisihkan). Namun, massa ion fosfat yang berpindah menuju K2 hanya sebesar 1618.1 gram (12% massa ion didapatkan).

Terdapat selisih kehilangan ion fosfat sebesar 1518.1 gram. Air limbah K3 mengalami penurunan pH dari 9 menjadi 8.64. Pada mulanya, spesies ion yang terbentuk adalah $\pm 98\%$ spesies ion HPO_4^{2-} dan $\pm 2\%$ spesies ion H_2PO_4^- . Namun, setelah terjadi penurunan pH, spesies ion berubah menjadi $\pm 93\%$ spesies ion HPO_4^{2-} dan $\pm 7\%$ spesies ion H_2PO_4^- . (Abidi *et al.*, 2011). Sementara itu, konsentrasi K2 mengalami perubahan pH dari 10.81 menjadi 10.15. Spesies ion yang terbentuk pada K2 awalnya terdiri atas spesies ion HPO_4^{2-} yaitu sebesar $\pm 92\%$ dan spesies ion PO_4^{3-} sebesar $\pm 8\%$. Namun, akibat terjadi penurunan pH maka spesies ion berubah menjadi HPO_4^{2-} sebesar $\pm 98\%$ dan spesies ion PO_4^{3-} sebesar $\pm 2\%$. (Abidi *et al.*, 2011). Hal ini menunjukkan terdapat kemungkinan terjadi konversi ke persenyawaan lain sehingga tidak terukur sebagai ion PO_4^{3-} .

Selanjutnya, dilakukan perbandingan pengaruh ketiga variasi pH pada variasi kuat arus 0.15A. Pada variasi pH 5, terjadi potensi *recovery* ion fosfat menuju K2 terjadi sebesar 1258.3 gram. Pada variasi pH 7, massa ion fosfat yang dapat ter-*recovery* adalah sebesar 1369.8 gram. Sementara itu, pada variasi pH 9 massa ion fosfat yang ter-*recovery* adalah sebesar 1618.1 gram. Dengan membandingkan ketiga variasi pH pada variasi kuat arus 0.15A, *recovery* ion fosfat terbesar terjadi pada variasi pH 9.

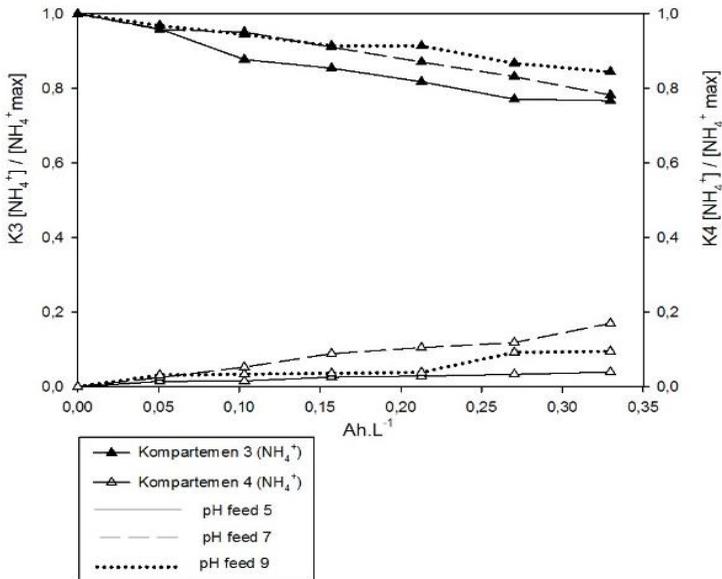
Perpindahan massa ion fosfat menuju K2 dipengaruhi oleh nilai pH pada *feed*. Hal ini diakibatkan spesies ion yang berbeda akan berpindah dari K3 menuju K2 berdasarkan pH *feed* K3. Pada ketiga variasi kuat arus, pH *feed* dengan perpindahan massa fosfat tertinggi mayoritas terjadi saat air limbah K3 dialiri oleh *feed* dengan pH 7. Pada pH ini, spesies ion yang terbentuk adalah

$\pm 50\%$ spesies ion H_2PO_4^- dan $\pm 50\%$ spesies ion HPO_4^{2-} (Abidi *et al.*, 2011). Sehingga, mobilitas ion H_2PO_4^- dan ion HPO_4^{2-} yang terjadi cukup tinggi yaitu berturut – turut 0.87 cm/jam/volt dan 0.88 cm/jam/volt (Engelke dan Strain, 1954).

Selain nilai pH, perpindahan massa ion fosfat juga dipengaruhi oleh kuat arus. Pada pH *feed* 5, massa ion fosfat yang berpindah menuju K2 dengan kuat arus 0.05A, 0.1A, dan 0.15A berturut – turut adalah 585.8 gram, 707.9 gram, dan 1258.3 gram. Pada pH *feed* 7, massa ion fosfat yang berpindah menuju K2 dengan kuat arus 0.05A, 0.1A, dan 0.15A berturut – turut adalah 707.8 gram, 1034.2 gram, dan 1369.8 gram. Sedangkan pada pH *feed* 9, massa ion fosfat yang berpindah menuju K2 dengan kuat arus 0.05A, 0.1A, dan 0.15A berturut – turut adalah 496.5 gram, 855.9 gram, dan 1618.1 gram. Pada seluruh variasi pH menunjukkan bahwa proses elektrodialisis dengan kuat arus yang semakin tinggi akan menghasilkan perpindahan massa ion fosfat menuju konsentrat semakin besar.

4.2.2 Recovery Ion Ammonium dan Ion Fosfat pada Kompartemen K4

Selain menuju K2, proses perpindahan kation ammonium dan anion fosfat juga terjadi pada konsentrat K4. Parameter uji ammonium adalah salah satu parameter utama dalam penelitian ini. Perpindahan ion *ammonium* dari kompartemen K3 menuju kompartemen K4 berdasarkan variasi kuat arus dan pH tanki *feed* dapat dilihat pada Grafik 4.10 sampai Grafik 4.12.



Grafik 4.10 Recovery Ion Ammonium K4 Pada Variasi Kuat Arus 0.05A

Pada pH 5 *feed*, massa ion ammonium yang tersisihkan dari K3 adalah 1158.6 gram (26.3% massa ion ammonium tersisihkan). Sementara itu, massa ion ammonium yang berpindah menuju K4 adalah 836.8 gram (19% massa ion didapatkan).

Terdapat selisih kehilangan ion ammonium sebesar 321.8 gram. Air limbah K3 cenderung stabil pada pH 5. Spesies ion NH_4^+ yang terbentuk pada pH 5 adalah 100% ion NH_4^+ (Qiang dan Adams, 2004). Sementara konsentrasi K4 mengalami perubahan pH dari 7.2 menjadi 4. Pada pH 7.2, sebesar $\pm 99.2\%$ spesies ion NH_4^+ terbentuk sementara sebesar $\pm 0.8\%$ spesies NH_3 terbentuk. Namun, akibat terjadi perubahan pH maka spesies ion berubah menjadi 100% NH_4^+ (Qiang dan Adams, 2004). Hal ini memungkinkan terjadi kehilangan ion ammonium yang terlepas sebagai ammonia bebas pada awal proses sehingga terjadi kehilangan ammonium.

Pada pH *feed* 7, massa ion ammonium yang tersisihkan dari K3 adalah 1029.5 gram (21.7% massa ion ammonium

tersisihkan). Sementara itu, massa ion ammonium yang berpindah menuju K4 adalah 803.9 gram (16.9% massa ion didapatkan).

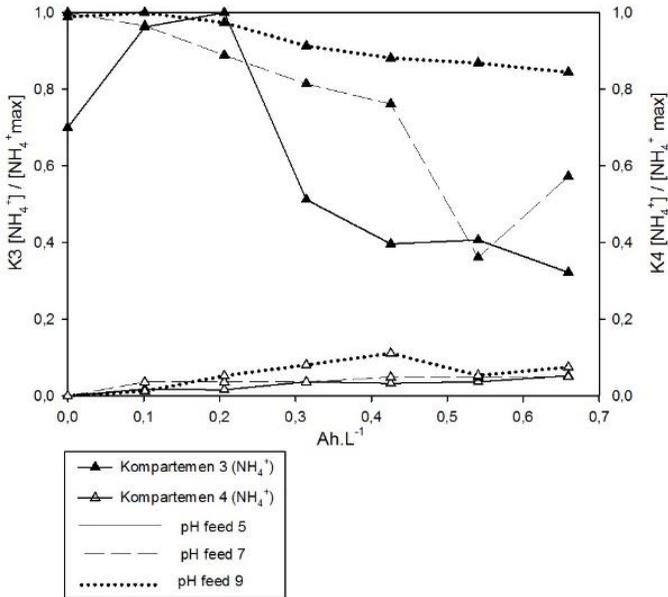
Terdapat selisih kehilangan ion ammonium sebesar 225.6 gram. Air limbah K3 cenderung stabil pada pH 7. Pada pH 7, spesies ion NH_4^+ yang terbentuk adalah $\pm 99.2\%$ spesies ion NH_4^+ dan $\pm 0.8\%$ spesies NH_3 (Qiang dan Adams, 2004). Sementara konsentrasi K4 mengalami perubahan pH dari 7.3 menjadi 3.8. Pada pH 7.3, sebesar $\pm 99.2\%$ spesies ion ammonium terbentuk sementara sebesar $\pm 0.8\%$ spesies ammonia terbentuk. Namun, akibat terjadi perubahan pH maka spesies ion berubah menjadi $100\% \text{NH}_4^+$. (Qiang dan Adams, 2004). Hal ini memungkinkan terjadi kehilangan ion ammonium yang terlepas sebagai ammonia bebas pada K3 sehingga terjadi kehilangan ammonium.

Pada pH *feed* 9, massa ion ammonium yang tersisihkan dari K3 adalah 705.4 gram (15.5% massa ion ammonium tersisihkan). Sementara itu, massa ion ammonium yang berpindah menuju K4 adalah 429.8 gram (9.5% massa ion didapatkan).

Terdapat selisih kehilangan ion ammonium sebesar 275.7 gram. Air limbah K3 mengalami perubahan pH dari 9 menjadi 8.7. Pada pH 9, spesies ion ammonium yang terbentuk adalah $\pm 70\%$ spesies ion NH_4^+ dan $\pm 30\%$ spesies ion NH_3 . Namun pada saat pH turun menjadi 8.7, spesies ion ammonium yang terbentuk adalah $\pm 85\%$ spesies ion NH_4^+ dan $\pm 15\%$ spesies ion NH_3 . Sementara konsentrasi K4 mengalami perubahan pH dari 8.1 menjadi 4. Pada pH 8.1, sebesar $\pm 90\%$ spesies ion ammonium terbentuk dan sebesar $\pm 10\%$ spesies ammonia terbentuk (Qiang dan Adams, 2004). Setelah terjadi penurunan pH, spesies ion berubah menjadi $\pm 100\% \text{NH}_4^+$. Hal ini memungkinkan terjadi kehilangan ion ammonium yang terlepas sebagai ammonia bebas pada K3 sehingga terjadi kehilangan ammonium selama proses elektrodialisis.

Selanjutnya, dilakukan perbandingan pengaruh ketiga variasi pH pada variasi kuat arus 0.05A. Pada variasi pH 5, terjadi potensi *recovery* ion ammonium menuju K4 terjadi sebesar 836.8 gram. Pada variasi pH 7, massa ion ammonium yang dapat *recovery* adalah sebesar 803.9 gram. Sementara itu, pada variasi pH 9 massa ion ammonium yang *recovery* adalah sebesar 429.8 gram. Dengan membandingkan ketiga variasi pH pada

variasi kuat arus 0.05A, *recovery* ion ammonium terbesar terjadi pada variasi pH 5.



Grafik 4.11 Recovery Ion Ammonium K4 Pada Variasi Kuat Arus 0.1A

Pada pH 5 *feed*, massa ion ammonium yang tersisihkan dari K3 adalah 2496.7 gram (53.9% massa ion ammonium tersisihkan). Sementara itu, massa ion ammonium yang berpindah menuju K4 adalah 347 gram (7.5% massa ion didapatkan).

Terdapat selisih kehilangan ion ammonium sebesar 2149.7 gram. Air limbah K3 cenderung stabil pada pH 5. Pada pH 5 spesies ion NH_4^+ yang terbentuk adalah 100% ion NH_4^+ (Qiang dan Adams, 2004). Sementara konsentrat K4 mengalami perubahan pH dari 7.1 menjadi 3.9. Pada pH 7.1, sebesar $\pm 99.2\%$ spesies ion NH_4^+ terbentuk sementara sebesar $\pm 0.8\%$ spesies NH_3 terbentuk. Namun, akibat terjadi perubahan pH maka spesies ion berubah menjadi 100% NH_4^+ (Qiang dan Adams, 2004). Hal ini memungkinkan terjadi kehilangan ion ammonium yang terlepas sebagai ammonia bebas pada awal proses di K4 sehingga terjadi

kehilangan ammonium. Selain itu, kehilangan ammonium juga mungkin terjadi akibat pengambilan sampel yang tidak homogen.

Pada pH *feed* 7, massa ion ammonium yang tersisihkan dari K3 adalah 1629.5 gram (42.7% massa ion ammonium tersisihkan). Sementara itu, massa ion ammonium yang berpindah menuju K4 adalah 190.1 gram (4.9% massa ion didapatkan).

Terdapat selisih kehilangan ion ammonium sebesar 1439.4 gram. Air limbah K3 cenderung stabil pada pH 7. Pada pH 7, spesies ion NH_4^+ yang terbentuk adalah $\pm 99.2\%$ spesies ion NH_4^+ dan $\pm 0.8\%$ spesies NH_3 (Qiang dan Adams, 2004). Sementara konsentrat K4 mengalami perubahan pH dari 7.2 menjadi 4. Pada pH 7.2, sebesar $\pm 99.2\%$ spesies ion ammonium terbentuk sementara sebesar $\pm 0.8\%$ spesies ammonia terbentuk. Namun, akibat terjadi perubahan pH maka spesies ion berubah menjadi 100% NH_4^+ . (Qiang dan Adams, 2004). Hal ini memungkinkan terjadi kehilangan ion ammonium yang terlepas sebagai ammonia bebas pada K3 sehingga terjadi kehilangan ammonium. Selain itu, kehilangan ammonium juga mungkin terjadi akibat pengambilan sampel yang tidak homogen.

Pada pH *feed* 9, massa ion ammonium yang tersisihkan dari K3 adalah 547.3 gram (14.6% massa ion ammonium tersisihkan). Sementara itu, massa ion ammonium yang berpindah menuju K4 adalah 283.4 gram (7.6% massa ion didapatkan).

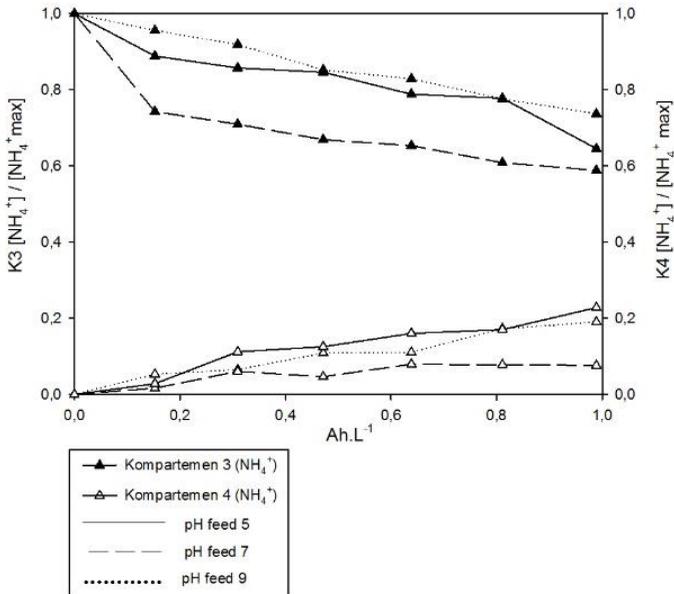
Terdapat selisih kehilangan ion ammonium sebesar 263.9 gram. Air limbah K3 mengalami perubahan pH dari 9 menjadi 8.39. Pada pH 9, spesies ion ammonium yang terbentuk adalah $\pm 70\%$ spesies ion NH_4^+ dan $\pm 30\%$ spesies ion NH_3 . Namun pada saat pH turun menjadi 8.39, spesies ion ammonium yang terbentuk adalah $\pm 89\%$ spesies ion NH_4^+ dan $\pm 11\%$ spesies ion NH_3 . Sementara konsentrat K4 mengalami perubahan pH dari 7.56 menjadi 3.97. Pada pH 7.56, sebesar $\pm 93\%$ spesies ion ammonium terbentuk dan sebesar $\pm 7\%$ spesies ammonia terbentuk (Qiang dan Adams, 2004). Setelah terjadi penurunan pH, spesies ion berubah menjadi $\pm 100\%$ NH_4^+ . Hal ini memungkinkan terjadi kehilangan ion ammonium yang terlepas sebagai ammonia bebas sehingga terjadi kehilangan ammonium selama proses elektrodialisis.

Selanjutnya, dilakukan perbandingan pengaruh ketiga variasi pH pada variasi kuat arus 0.1A. Pada variasi pH 5, terjadi potensi *recovery* ion ammonium menuju K4 terjadi sebesar 347

gram. Pada variasi pH 7, massa ion ammonium yang dapat ter-*recovery* adalah sebesar 190.1 gram. Sementara itu, pada variasi pH 9 massa ion ammonium yang ter-*recovery* adalah sebesar 283.4 gram. Dengan membandingkan ketiga variasi pH pada variasi kuat arus 0.1A, *recovery* ion ammonium terbesar terjadi pada variasi pH 5.

Berdasarkan Grafik 4.12, pada pH 5 *feed*, massa ion ammonium yang tersisihkan dari K3 adalah 1246.6 gram (35.4% massa ion ammonium tersisihkan). Sementara itu, massa ion ammonium yang berpindah menuju K4 adalah 801.3 gram (22.8% massa ion didapatkan).

Terdapat selisih kehilangan ion ammonium sebesar 445.3 gram. Air limbah K3 cenderung stabil pada pH 5. Pada pH 5 spesies ion NH_4^+ yang terbentuk adalah 100% ion NH_4^+ (Qiang dan Adams, 2004). Sementara konsentrat K4 mengalami perubahan pH dari 7.3 menjadi 4.9. Pada pH 7.3, sebesar $\pm 99.3\%$ spesies ion NH_4^+ terbentuk sementara sebesar $\pm 0.7\%$ spesies NH_3 terbentuk. Namun, akibat terjadi perubahan pH maka spesies ion berubah menjadi 100% NH_4^+ (Qiang dan Adams, 2004). Hal ini memungkinkan terjadi kehilangan ion ammonium yang terlepas sebagai ammonia bebas pada awal proses di K4 sehingga terjadi kehilangan ammonium.



Grafik 4.12 Recovery Ion Ammonium K4 Pada Variasi Kuat Arus 0.15A

Pada pH *feed* 7, massa ion ammonium yang tersisihkan dari K3 adalah 1965.4 gram (41.1% massa ion ammonium tersisihkan). Sementara itu, massa ion ammonium yang berpindah menuju K4 adalah 363.3 gram (7.6% massa ion didapatkan).

Terdapat selisih kehilangan ion ammonium sebesar 1602.1 gram. Air limbah K3 mengalami perubahan pH dari 7 menjadi 6.91. Pada pH 6.91 hingga 7, spesies ion NH_4^+ yang terbentuk adalah $\pm 99.2\%$ spesies ion NH_4^+ dan $\pm 0.8\%$ spesies NH_3 (Qiang dan Adams, 2004). Sementara konsentrasi K4 mengalami perubahan pH dari 6.71 menjadi 4.53. Pada pH 6.71, sebesar $\pm 100\%$ spesies ion NH_4^+ terbentuk. Perubahan pH tetap mempertahankan spesies ion pada $100\% \text{NH}_4^+$. (Qiang dan Adams, 2004). Hal ini memungkinkan terjadi kehilangan ion ammonium yang terlepas sebagai ammonia bebas pada K3 sehingga terjadi kehilangan ammonium. Selain itu, kehilangan

ammonium juga mungkin terjadi akibat pengambilan sampel yang tidak homogen.

Pada pH *feed* 9, massa ion ammonium yang tersisihkan dari K3 adalah 1158.6 gram (26.3% massa ion ammonium tersisihkan). Sementara itu, massa ion ammonium yang berpindah menuju K4 adalah 425.1 gram (9.7% massa ion didapatkan).

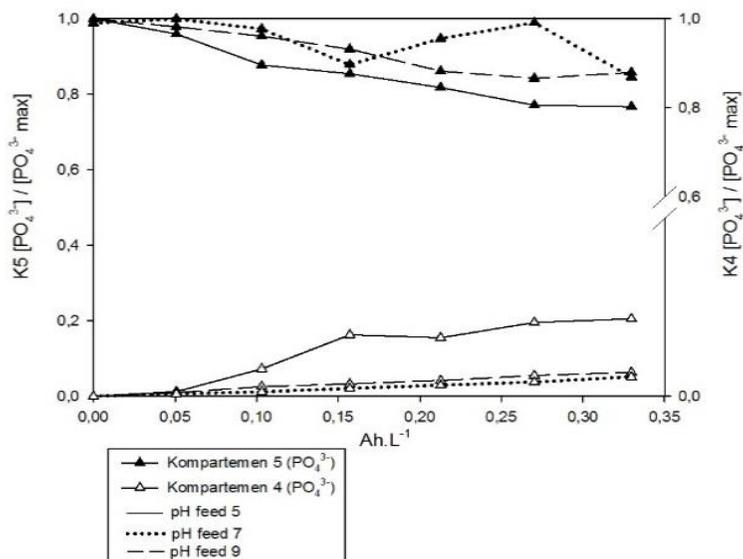
Terdapat selisih kehilangan ion ammonium sebesar 733.5 gram. Air limbah K3 mengalami perubahan pH dari 9.07 menjadi 8.64. Pada pH 9.07, spesies ion ammonium yang terbentuk adalah $\pm 73\%$ spesies ion NH_4^+ dan $\pm 27\%$ spesies ion NH_3 . Namun pada saat pH turun menjadi 8.64, spesies ion ammonium yang terbentuk adalah $\pm 84\%$ spesies ion NH_4^+ dan 16% spesies ion NH_3 (Qiang dan Adams, 2004). Sementara konsentrat K4 mengalami perubahan pH dari 7,23 menjadi 4.26. Pada pH 7.23, sebesar $\pm 92\%$ spesies ion ammonium terbentuk dan sebesar $\pm 8\%$ spesies ammonia terbentuk (Qiang dan Adams, 2004). Setelah terjadi penurunan pH, spesies ion berubah menjadi $\pm 100\% \text{NH}_4^+$. Hal ini memungkinkan terjadi kehilangan ion ammonium yang terlepas sebagai ammonia bebas sehingga terjadi kehilangan ammonium selama proses elektrodialisis.

Selanjutnya, dilakukan perbandingan pengaruh ketiga variasi pH pada variasi kuat arus 0.1A. Pada variasi pH 5, terjadi potensi *recovery* ion ammonium menuju K4 terjadi sebesar 801.3 gram. Pada variasi pH 7, massa ion ammonium yang dapat *recovery* adalah sebesar 363.3 gram. Sementara itu, pada variasi pH 9 massa ion ammonium yang *recovery* adalah sebesar 425.1 gram. Dengan membandingkan ketiga variasi pH pada variasi kuat arus 0.15A, *recovery* ion ammonium terbesar terjadi pada variasi pH 5.

Perpindahan massa ion ammonium menuju K4 dipengaruhi oleh nilai pH pada *feed*. Hal ini diakibatkan spesies ion yang berbeda akan berpindah dari K3 menuju K4 berdasarkan pH *feed* K3. Pada ketiga variasi kuat arus, pH *feed* dengan perpindahan massa ammonium tertinggi terjadi saat air limbah K3 dialiri oleh *feed* dengan pH 5. Pada pH ini, spesies ion yang terbentuk adalah $\pm 100\%$ spesies ion NH_4^+ (Qiang dan Adams, 2004).

Selain perpindahan ion ammonium, proses perpindahan ion fosfat juga terjadi. Perpindahan ini terjadi dari K5 menuju K4.

Parameter uji fosfat adalah parameter utama lainnya dalam penelitian ini. Perpindahan ion fosfat berdasarkan variasi kuat arus dan pH tanki *feed* dapat dilihat pada Grafik 4.13 sampai Grafik 4.15.



Grafik 4.13 Recovery Ion Fosfat K4 Pada Variasi Kuat Arus 0.05A

Pada pH 5 *feed*, massa ion fosfat yang tersisihkan dari K5 adalah 1762.9 gram (30.5% massa ion fosfat tersisihkan). Namun, massa ion fosfat yang berpindah menuju K4 hanya sebesar 226.5 gram (3.9% massa ion didapatkan).

Terdapat selisih kehilangan ion fosfat sebesar 1526.4 gram. Air limbah K5 mengalami perubahan pH dari 2.5 menjadi 3.1. Pada mulanya, spesies ion yang terbentuk di K5 didominasi oleh spesies ion H_2PO_4^- sebesar $\pm 60\%$ dan spesies ion HPO_4^{2-} sebesar $\pm 30\%$. Namun, setelah terjadi kenaikan pH maka spesies ion berubah menjadi $\pm 85\%$ spesies ion H_2PO_4^- dan $\pm 15\%$ spesies ion HPO_4^{2-} (Abidi *et al.*, 2011). Sementara itu, konsentrasi K4 mengalami perubahan pH dari 7.2 menjadi 4. Spesies ion yang terbentuk pada K4 awalnya terdiri atas spesies ion HPO_4^{2-} sebesar $\pm 50\%$ dan spesies ion H_2PO_4^- $\pm 50\%$. Namun, akibat terjadi

penurunan pH maka spesies ion berubah menjadi H_2PO_4^- sebesar $\pm 100\%$ (Abidi *et al.*, 2011). Hal ini menunjukkan terdapat kemungkinan terjadi konversi ke persenyawaan lain sehingga tidak terukur sebagai ion PO_4^{3-} . Selain itu, pengambilan sampel yang tidak homogen dapat menyebabkan kehilangan fosfat.

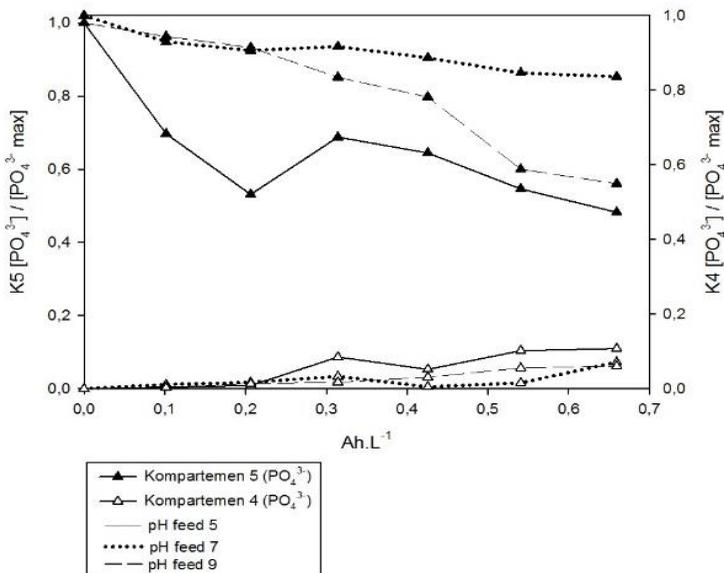
Pada pH *feed* 7, massa ion fosfat yang tersisihkan dari K5 adalah 1168.6 gram (20.7% massa ion fosfat tersisihkan). Namun, massa ion fosfat yang berpindah menuju K4 hanya sebesar 143,7 gram (2.5% massa ion didapatkan).

Terdapat selisih kehilangan ion fosfat sebesar 1024.9 gram. Air limbah K5 mengalami perubahan pH dari 2.2 menjadi 2.4. Spesies ion yang terbentuk di K5 didominasi oleh spesies ion H_2PO_4^- sebesar $\pm 55\%$ dan spesies ion HPO_4^{2-} sebesar $\pm 45\%$ (Abidi *et al.*, 2011). Sementara itu, konsentrat K4 mengalami perubahan pH dari 7.3 menjadi 3.8. Spesies ion yang terbentuk pada K4 awalnya terdiri atas spesies ion HPO_4^{2-} sebesar $\pm 48\%$ dan spesies ion H_2PO_4^- $\pm 52\%$. Namun, akibat terjadi penurunan pH maka spesies ion berubah menjadi H_2PO_4^- sebesar $\pm 98\%$ dan spesies ion HPO_4^{2-} sebesar $\pm 2\%$ (Abidi *et al.*, 2011). Hal ini menunjukkan terdapat kemungkinan terjadi konversi ke persenyawaan lain sehingga tidak terukur sebagai ion PO_4^{3-} . Selain itu, pengambilan sampel yang tidak homogen dapat menyebabkan kehilangan fosfat.

Pada pH *feed* 9, massa ion fosfat yang tersisihkan dari K5 adalah 274.5 gram (5.1% massa ion fosfat tersisihkan). Sementara itu, massa ion fosfat yang berpindah menuju K4 sebesar 108.9 gram (2% massa ion didapatkan).

Terdapat selisih kehilangan ion fosfat sebesar 165.6 gram. Air limbah K5 mengalami perubahan pH dari 2.2 menjadi 2.5. Spesies ion yang terbentuk di K5 didominasi oleh spesies ion H_2PO_4^- sebesar $\pm 55\%$ dan spesies ion HPO_4^{2-} sebesar $\pm 45\%$ (Abidi *et al.*, 2011). Sementara itu, konsentrat K4 mengalami perubahan pH dari 8.1 menjadi 4. Spesies ion yang terbentuk pada K4 awalnya terdiri atas spesies ion HPO_4^{2-} sebesar $\pm 85\%$ dan spesies ion H_2PO_4^- $\pm 15\%$. Namun, akibat terjadi penurunan pH maka spesies ion berubah menjadi H_2PO_4^- sebesar $\pm 98\%$ dan spesies ion HPO_4^{2-} sebesar $\pm 2\%$ (Abidi *et al.*, 2011). Hal ini menunjukkan terdapat kemungkinan terjadi konversi ke persenyawaan lain sehingga tidak terukur sebagai ion PO_4^{3-} .

Selanjutnya, dilakukan perbandingan pengaruh ketiga variasi pH pada variasi kuat arus 0.05A. Pada variasi pH 5, terjadi potensi *recovery* ion fosfat menuju K4 terjadi sebesar 226.5 gram. Pada variasi pH 7, massa ion fosfat yang dapat ter-*recovery* adalah sebesar 143,7 gram. Sementara itu, pada variasi pH 9 massa ion fosfat yang ter-*recovery* adalah sebesar 108.9 gram. Dengan membandingkan ketiga variasi pH pada variasi kuat arus 0.05A, *recovery* ion fosfat terbesar terjadi pada variasi pH 5.



Grafik 4.14 Recovery Ion Fosfat K4 Pada Variasi Kuat Arus 0.1A

Pada pH 5 *feed*, massa ion fosfat yang tersisihkan dari K5 adalah 2348.9 gram (51.8% massa ion fosfat tersisihkan). Namun, massa ion fosfat yang berpindah menuju K4 hanya sebesar 498.4 gram (10.9% massa ion didapatkan).

Terdapat selisih kehilangan ion fosfat sebesar 2847.3 gram. Air limbah K5 mengalami perubahan pH dari 2.5 menjadi 3.2. Pada mulanya, spesies ion yang terbentuk di K5 didominasi oleh spesies ion H_2PO_4^- sebesar $\pm 60\%$ dan spesies ion HPO_4^{2-} sebesar $\pm 30\%$. Namun, setelah terjadi kenaikan pH maka spesies ion berubah menjadi $\pm 85\%$ spesies ion H_2PO_4^- dan $\pm 15\%$ spesies

ion HPO_4^{2-} (Abidi *et al.*, 2011). Sementara itu, konsentrat K4 mengalami perubahan pH dari 7.1 menjadi 3.9. Spesies ion yang terbentuk pada K4 awalnya terdiri atas spesies ion HPO_4^{2-} sebesar $\pm 50\%$ dan spesies ion H_2PO_4^- $\pm 50\%$. Namun, akibat terjadi penurunan pH maka spesies ion berubah menjadi H_2PO_4^- sebesar $\pm 100\%$ (Abidi *et al.*, 2011). Hal ini menunjukkan terdapat kemungkinan terjadi konversi ke persenyawaan lain sehingga tidak terukur sebagai ion PO_4^{3-} . Selain itu, pengambilan sampel yang tidak homogen dapat menyebabkan kehilangan fosfat.

Pada pH *feed* 7, massa ion fosfat yang tersisihkan dari K5 adalah 663.1 gram (16.4% massa ion fosfat tersisihkan). Namun, massa ion fosfat yang berpindah menuju K4 hanya sebesar 337.3 gram (8.3% massa ion didapatkan).

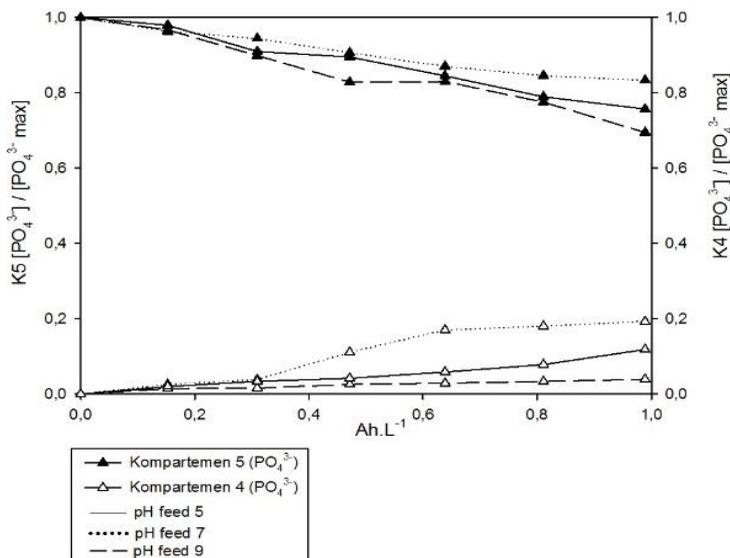
Terdapat selisih kehilangan ion fosfat sebesar 325.8 gram. Air limbah K5 mengalami perubahan pH dari 2.5 menjadi 3.1. Pada mulanya, spesies ion yang terbentuk di K5 didominasi oleh spesies ion H_2PO_4^- sebesar $\pm 60\%$ dan spesies ion HPO_4^{2-} sebesar $\pm 30\%$. Namun, setelah terjadi kenaikan pH maka spesies ion berubah menjadi $\pm 85\%$ spesies ion H_2PO_4^- dan $\pm 15\%$ spesies ion HPO_4^{2-} (Abidi *et al.*, 2011). Sementara itu, konsentrat K4 mengalami perubahan pH dari 7.2 menjadi 4. Spesies ion yang terbentuk pada K4 awalnya terdiri atas spesies ion HPO_4^{2-} sebesar $\pm 48\%$ dan spesies ion H_2PO_4^- $\pm 52\%$. Namun, akibat terjadi penurunan pH maka spesies ion berubah menjadi H_2PO_4^- sebesar $\pm 98\%$ dan spesies ion HPO_4^{2-} sebesar $\pm 2\%$ (Abidi *et al.*, 2011). Hal ini menunjukkan terdapat kemungkinan terjadi konversi ke persenyawaan lain sehingga tidak terukur sebagai ion PO_4^{3-} .

Pada pH *feed* 9, massa ion fosfat yang tersisihkan dari K5 adalah 1637.8 gram (43.9% massa ion fosfat tersisihkan). Namun, massa ion fosfat yang berpindah menuju K4 hanya sebesar 203.8 gram (6.2% massa ion didapatkan).

Terdapat selisih kehilangan ion fosfat sebesar 1434 gram. Air limbah K5 mengalami perubahan pH dari 2.21 menjadi 2.82. Pada mulanya, spesies ion yang terbentuk di K5 didominasi oleh spesies ion H_2PO_4^- sebesar $\pm 55\%$ dan spesies ion HPO_4^{2-} sebesar $\pm 45\%$. Namun, setelah terjadi kenaikan pH maka spesies ion berubah menjadi $\pm 70\%$ spesies ion H_2PO_4^- dan $\pm 30\%$ spesies ion HPO_4^{2-} (Abidi *et al.*, 2011). Sementara itu, konsentrat K4 mengalami perubahan pH dari 7.56 menjadi 3.97. Spesies ion

yang terbentuk pada K4 awalnya terdiri atas spesies ion HPO_4^{2-} sebesar $\pm 85\%$ dan spesies ion H_2PO_4^- $\pm 15\%$. Namun, akibat terjadi penurunan pH maka spesies ion berubah menjadi H_2PO_4^- sebesar $\pm 98\%$ dan spesies ion HPO_4^{2-} sebesar $\pm 2\%$ (Abidi *et al.*, 2011). Hal ini menunjukkan terdapat kemungkinan terjadi konversi ke persenyawaan lain sehingga tidak terukur sebagai ion PO_4^{3-} . Selain itu, pengambilan sampel yang tidak homogen dapat menyebabkan kehilangan fosfat.

Selanjutnya, dilakukan perbandingan pengaruh ketiga variasi pH pada variasi kuat arus 0.1A. Pada variasi pH 5, terjadi potensi *recovery* ion fosfat menuju K4 terjadi sebesar 498.4 gram. Pada variasi pH 7, massa ion fosfat yang dapat ter-*recovery* adalah sebesar 337.3 gram. Sementara itu, pada variasi pH 9 massa ion fosfat yang ter-*recovery* adalah sebesar 203.8 gram. Dengan membandingkan ketiga variasi pH pada variasi kuat arus 0.1A, *recovery* ion fosfat terbesar terjadi pada variasi pH 5.



Grafik 4.15 Recovery Ion Fosfat K4 Pada Variasi Kuat Arus 0.15A

Pada pH 5 *feed*, massa ion fosfat yang tersisihkan dari K5 adalah 782.8 gram (24.2% massa ion fosfat tersisihkan). Namun,

massa ion fosfat yang berpindah menuju K4 hanya sebesar 381.1 gram (11.8% massa ion didapatkan).

Terdapat selisih kehilangan ion fosfat sebesar 401.7 gram. Air limbah K5 mengalami perubahan pH dari 2.4 menjadi 3.3. Pada mulanya, spesies ion yang terbentuk di K5 didominasi oleh spesies ion H_2PO_4^- sebesar $\pm 60\%$ dan spesies ion HPO_4^{2-} sebesar $\pm 30\%$. Namun, setelah terjadi kenaikan pH maka spesies ion berubah menjadi $\pm 85\%$ spesies ion H_2PO_4^- dan $\pm 15\%$ spesies ion HPO_4^{2-} (Abidi *et al.*, 2011). Sementara itu, konsentrat K4 mengalami perubahan pH dari 7.3 menjadi 4.9. Spesies ion yang terbentuk pada K4 awalnya terdiri atas spesies ion HPO_4^{2-} sebesar $\pm 50\%$ dan spesies ion H_2PO_4^- $\pm 50\%$. Namun, akibat terjadi penurunan pH maka spesies ion berubah menjadi H_2PO_4^- sebesar $\pm 100\%$ (Abidi *et al.*, 2011). Hal ini menunjukkan terdapat kemungkinan terjadi konversi ke persenyawaan lain sehingga tidak terukur sebagai ion PO_4^{3-} .

Pada pH *feed* 7, massa ion fosfat yang tersisihkan dari K5 adalah 595.8 gram (16.7% massa ion fosfat tersisihkan). Namun, massa ion fosfat yang berpindah menuju K4 hanya sebesar 470.7 gram (13.2% massa ion didapatkan).

Terdapat selisih kehilangan ion fosfat sebesar 125.4 gram. Air limbah K5 mengalami perubahan pH dari 2.6 menjadi 3.3. Pada mulanya, spesies ion yang terbentuk di K5 didominasi oleh spesies ion H_2PO_4^- sebesar $\pm 60\%$ dan spesies ion HPO_4^{2-} sebesar $\pm 30\%$. Namun, setelah terjadi kenaikan pH maka spesies ion berubah menjadi $\pm 85\%$ spesies ion H_2PO_4^- dan $\pm 15\%$ spesies ion HPO_4^{2-} (Abidi *et al.*, 2011). Sementara itu, konsentrat K4 mengalami perubahan pH dari 6.71 menjadi 4.53. Spesies ion yang terbentuk pada K4 awalnya terdiri atas spesies ion HPO_4^{2-} sebesar $\pm 35\%$ dan spesies ion H_2PO_4^- $\pm 65\%$. Namun, akibat terjadi penurunan pH maka spesies ion berubah menjadi H_2PO_4^- sebesar ± 100 (Abidi *et al.*, 2011). Hal ini menunjukkan terdapat kemungkinan terjadi konversi ke persenyawaan lain sehingga tidak terukur sebagai ion PO_4^{3-} .

Pada pH *feed* 9, massa ion fosfat yang tersisihkan dari K5 adalah 1762.9 gram (30.5% massa ion fosfat tersisihkan). Namun, massa ion fosfat yang berpindah menuju K4 hanya sebesar 705.6 gram (12.2% massa ion didapatkan).

Terdapat selisih kehilangan ion fosfat sebesar 1057.3 gram. Air limbah K5 mengalami perubahan pH dari 2.19 menjadi 2.84. Pada mulanya, spesies ion yang terbentuk di K5 didominasi oleh spesies ion H_2PO_4^- sebesar $\pm 55\%$ dan spesies ion HPO_4^{2-} sebesar $\pm 45\%$. Namun, setelah terjadi kenaikan pH maka spesies ion berubah menjadi $\pm 70\%$ spesies ion H_2PO_4^- dan $\pm 30\%$ spesies ion HPO_4^{2-} (Abidi *et al.*, 2011). Sementara itu, konsentrasi K4 mengalami perubahan pH dari 7.23 menjadi 4.26. Spesies ion yang terbentuk pada K4 awalnya terdiri atas spesies ion HPO_4^{2-} sebesar $\pm 50\%$ dan spesies ion H_2PO_4^- $\pm 50\%$. Namun, akibat terjadi penurunan pH maka spesies ion berubah menjadi H_2PO_4^- sebesar ± 100 (Abidi *et al.*, 2011). Hal ini menunjukkan terdapat kemungkinan terjadi konversi ke persenyawaan lain sehingga tidak terukur sebagai ion PO_4^{3-} . Selain itu, pengambilan sampel yang tidak homogen dapat menyebabkan kehilangan fosfat.

Selanjutnya, dilakukan perbandingan pengaruh ketiga variasi pH pada variasi kuat arus 0.15A. Pada variasi pH 5, terjadi potensi *recovery* ion fosfat menuju K4 terjadi sebesar 381.1 gram. Pada variasi pH 7, massa ion fosfat yang dapat *ter-recovery* adalah sebesar 470.7 gram. Sementara itu, pada variasi pH 9 massa ion fosfat yang *ter-recovery* adalah sebesar 705.6 gram. Dengan membandingkan ketiga variasi pH pada variasi kuat arus 0.15A, *recovery* ion fosfat terbesar terjadi pada variasi pH 9.

Perpindahan massa ion fosfat menuju K4 umumnya terjadi pada proses yang sama pada seluruh variasi pH *feed*. Hal ini diakibatkan tidak ada ion fosfat yang bergerak dari K3 menuju K4. Oleh karena itu, perpindahan massa ion fosfat yang terjadi hanya dipengaruhi oleh kuat arus yang dialirkan pada reaktor elektrodialisis.

Pada pH *feed* 5, massa ion fosfat yang berpindah menuju K4 dengan kuat arus 0.05A, 0.1A, dan 0.15A berturut – turut adalah 226.5 gram, 498.4 gram, dan 381.1 gram. Kenaikan kuat arus pada variasi pH ini menunjukkan kenaikan massa ion yang berpindah. Sementara itu, pada pH *feed* 7, massa ion fosfat yang berpindah menuju K4 dengan kuat arus 0.05A, 0.1A, dan 0.15A berturut – turut adalah 143.7 gram, 337.3 gram, dan 470.7 gram. Kuat arus yang semakin tinggi menunjukkan kenaikan massa ion yang berpindah. Hal yang sama terjadi pada variasi pH *feed* 9. Pada pH *feed* 9, massa ion fosfat yang berpindah menuju

K4 dengan kuat arus 0.05A, 0.1A, dan 0.15A berturut – turut adalah 108.9 gram, 230.8 gram, dan 705.6 gram. Hal ini menunjukkan bahwa proses elektrodialisis dengan kuat arus yang semakin tinggi akan menghasilkan perpindahan massa ion fosfat menuju konsentrat semakin besar.

4.2.3 Kompetisi Ion Fluor dan Ion Fosfat

Proses elektrodialisis diharapkan dapat menghasilkan produk dengan massa ion fosfat yang tinggi namun dengan massa ion fluor yang rendah. Namun, sebagai ion yang bermuatan negatif (anion), kedua ion ini berkompetisi untuk melewati membran AEM menuju konsentrat. Perpindahan ion fluor dan fosfat melalui AEM dapat dihitung dengan menggunakan rumus (4.1) berikut :

$$Transfer\ Ion\ (\%) = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100\% \dots\dots\dots(4.1)$$

dimana :

C_0 = massa awal ion pada *feed* (gr)

C_t = massa ion pada *feed* saat t (gr)

Perbandingan % transfer ion pada seluruh uji dari K3 menuju K2 dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Perbandingan % Transfer Ion Fosfat dan Fluor

Kuat Arus (A)	pH	% massa PO_4^{3-}	% massa F^-
0,05	5	23,27	38,28
0,1		18,25	77,30
0,15		22,08	35,66
0,05	7	14,20	69,07
0,1		11,91	64,33
0,15		21,74	44,29
0,05	9	14,41	70,85
0,1		34,11	38,28
0,15		23,27	38,28

Kemampuan transfer ion fluor jauh lebih besar 2 hingga 5 kali lipat dibandingkan transfer ion fosfat pada seluruh variasi pH

dan variasi kuat arus. Kemampuan transfer ion fluor tertinggi mencapai 77.3% (1171 mg/L) dari K3 menuju K2 pada variasi kuat arus 0.1A dan pH *feed* 5. Sementara itu, kemampuan transfer ion fosfat tertinggi hanya mencapai 34.11% (1691 mg/L) dari K3 menuju K2 pada variasi kuat arus 0.1A dan pH *feed* 9.

Kemampuan transfer ion tidak hanya dipengaruhi oleh kuat arus listrik, namun juga dipengaruhi oleh karakteristik ion, konsentrasi awal, larutan elektrolit, dan pH pada *feed* (Bagastyo *et al.*, 2017). Ion monovalen memiliki jari – jari yang lebih kecil dibandingkan dengan ion bivalen, sehingga ion tersebut dapat berpindah melalui pori – pori membran dan tidak terganggu oleh hambatan pada membran (Miyoshi, 1997). Selain karakteristik ion, nilai pH juga mempengaruhi kemampuan transfer ion. Menurut Ergun *et al* (2008), mobilitas ion fluor memiliki mobilitas yang tertinggi pada pH 6 dan memiliki mobilitas terendah pada pH 9. Sebagai contoh, pada variasi kuat arus 0.1A, kemampuan transfer ion fluor pada pH 5, 7, dan 9 berturut – turut adalah 77.3%, 64.33%, dan 38.28%. Hal ini menunjukkan tren yang mirip dengan Grafik 2.1.

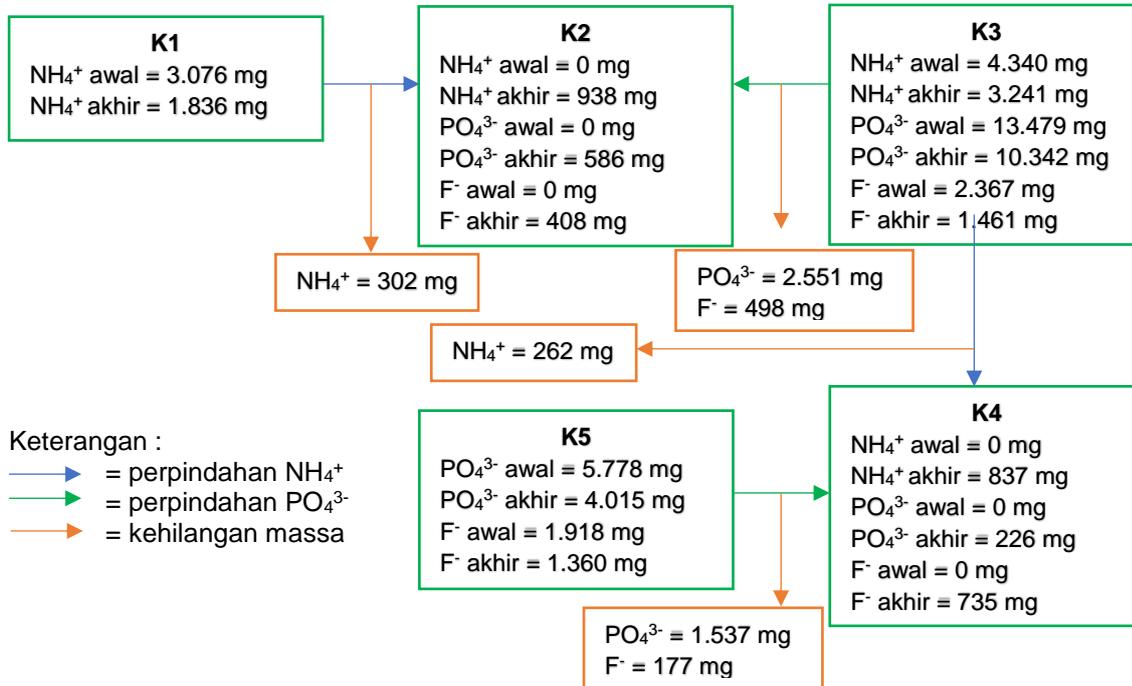
Dengan memperhatikan kemampuan transfer ion fluor yang lebih tinggi dibandingkan kemampuan transfer ion fosfat, maka lebih dianjurkan untuk memilih kompartemen K3 sebagai kompartemen produk. Pada kompartemen ini, kemampuan transfer ion fosfat kecil, sehingga konsentrasi ion fosfat yang didapatkan lebih besar dibandingkan kompartemen lainnya. Di sisi lain, kemampuan transfer ion fluor sangat tinggi, sehingga kompartemen ini mengandung konsentrasi ion fluor yang lebih sedikit dibandingkan kompartemen lainnya.

4.2.4 Kesetimbangan Massa

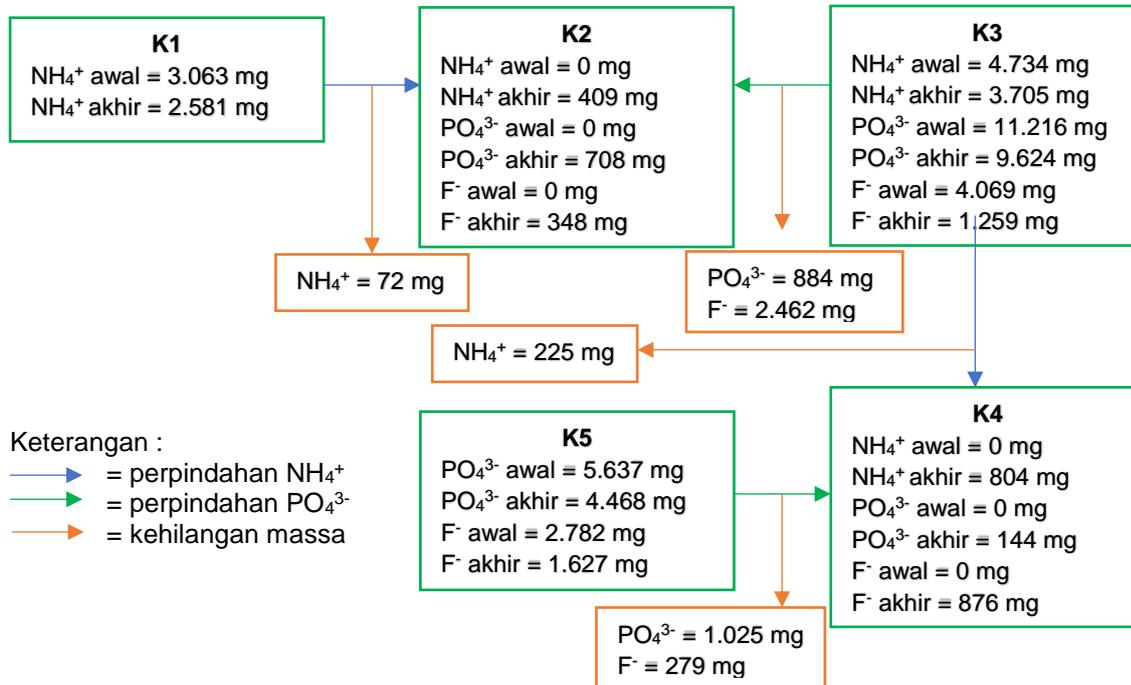
Pembahasan parameter ammonium, fosfat, dan fluor pada sub bab sebelumnya menunjukkan bahwa konsentrasi parameter yang tersisihkan dan yang tersisa pada *feed* tidak seimbang. Hal ini dapat diakibatkan oleh beberapa hal antara lain perubahan spesies ion yang menyebabkan ion tidak terbaca sebagai parameter uji, maupun adanya ion – ion yang berubah fase menjadi presipitat selama proses elektrodialisis.

Kesetimbangan massa menunjukkan perpindahan ion dari kompartemen satu ke kompartemen. Kesetimbangan massa pada

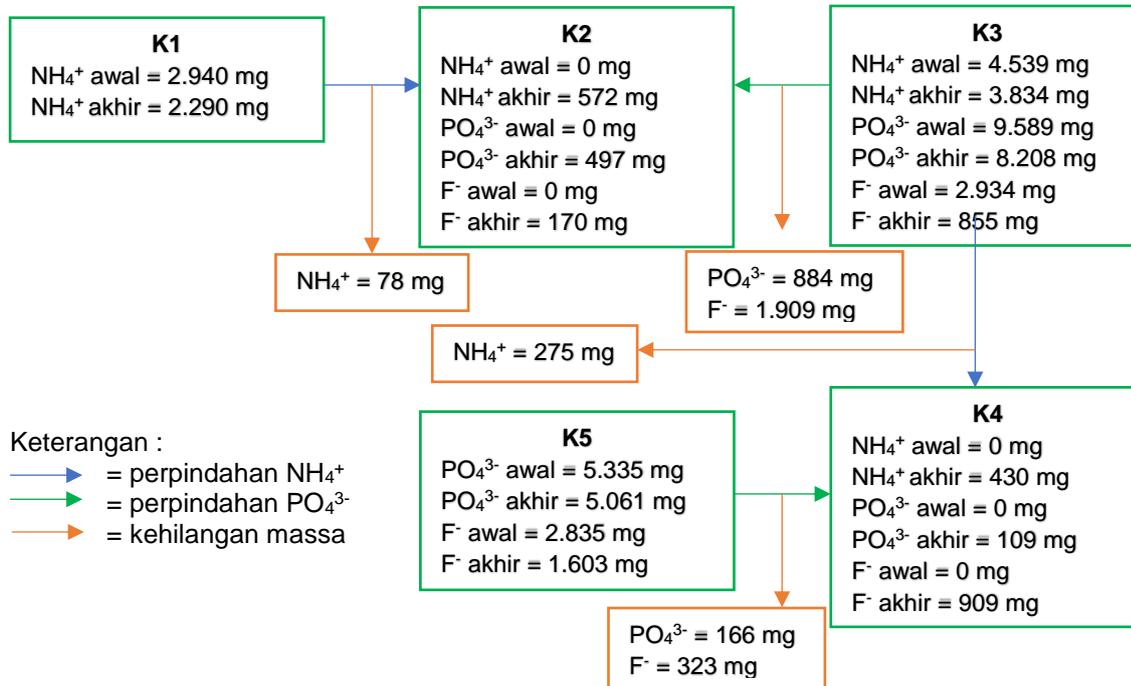
setiap kompartemen di setiap perlakuan dapat dilihat pada Gambar 4.2. hingga Gambar 4.10.



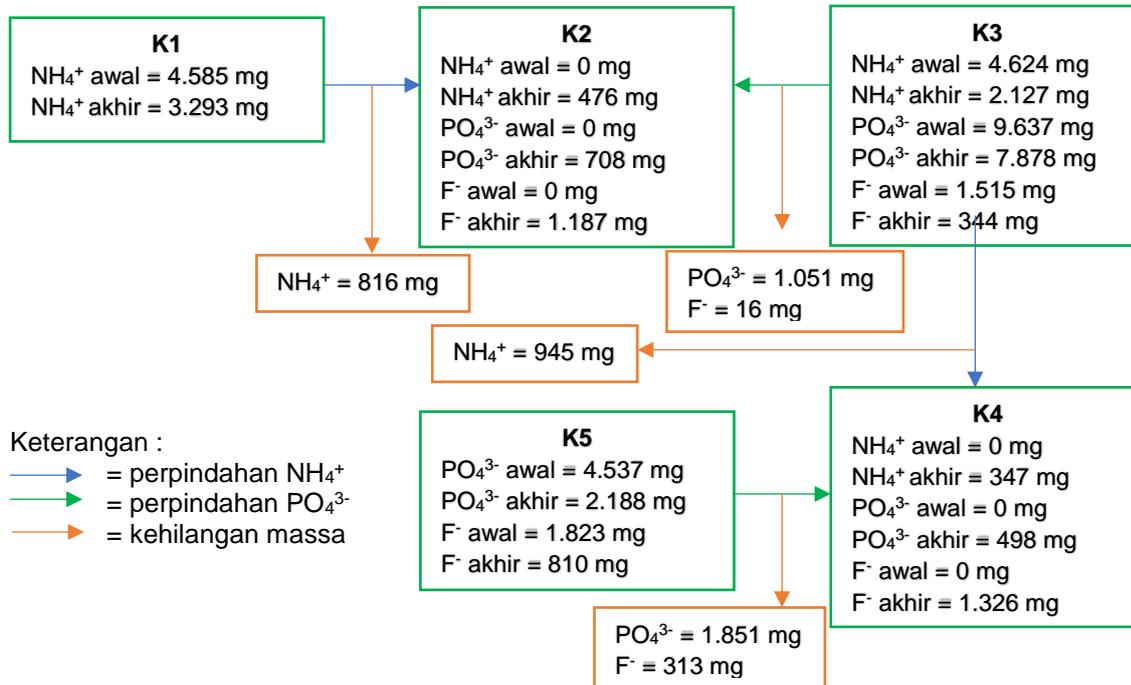
Gambar 4.2 Kesetimbangan Massa pada Variasi pH feed 5 dan Kuat Arus 0.05A



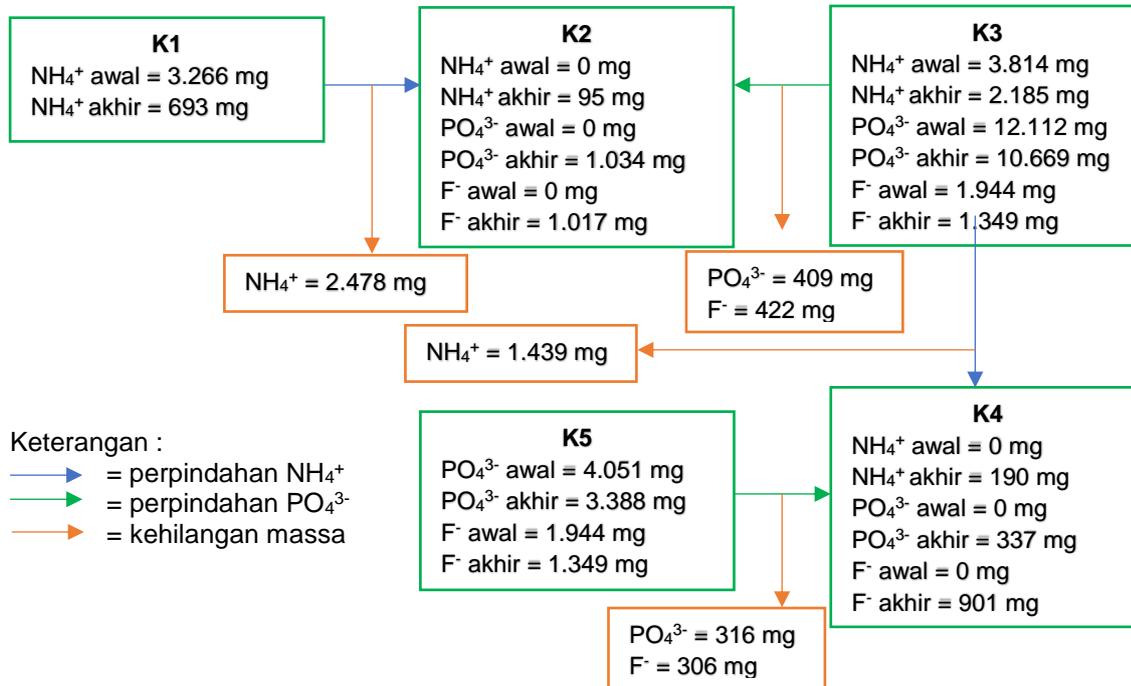
Gambar 4.3 Kesetimbangan Massa pada Variasi pH feed 7 dan Kuat Arus 0.05A



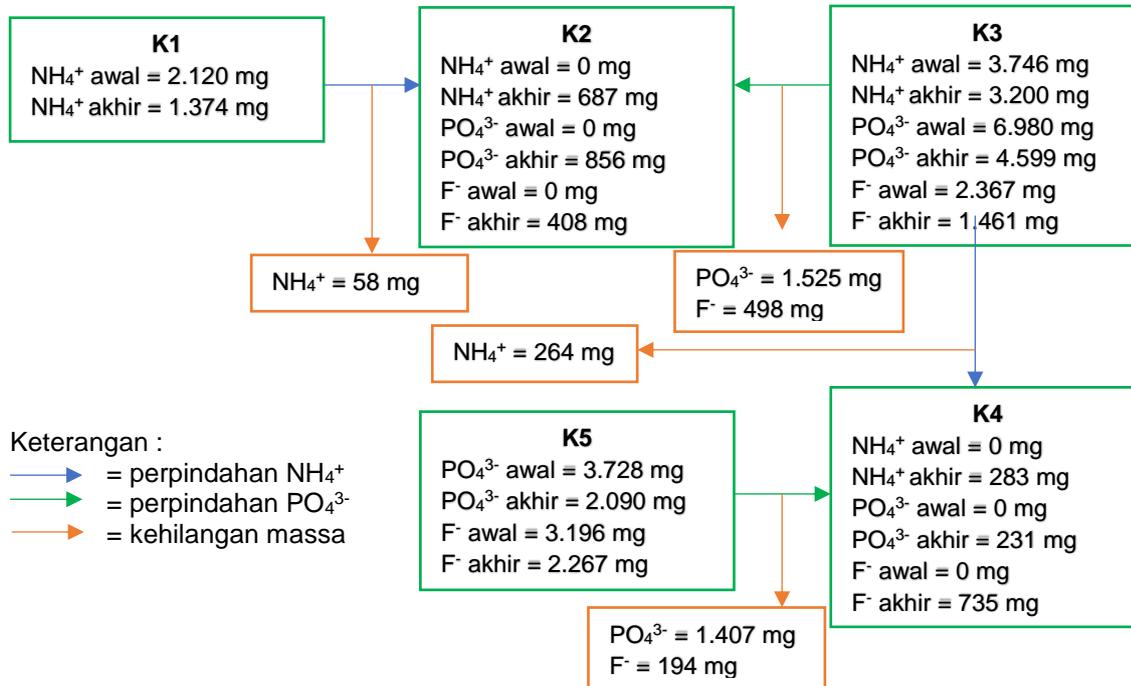
Gambar 4.4 Kesetimbangan Massa pada Variasi pH feed 9 dan Kuat Arus 0.05A



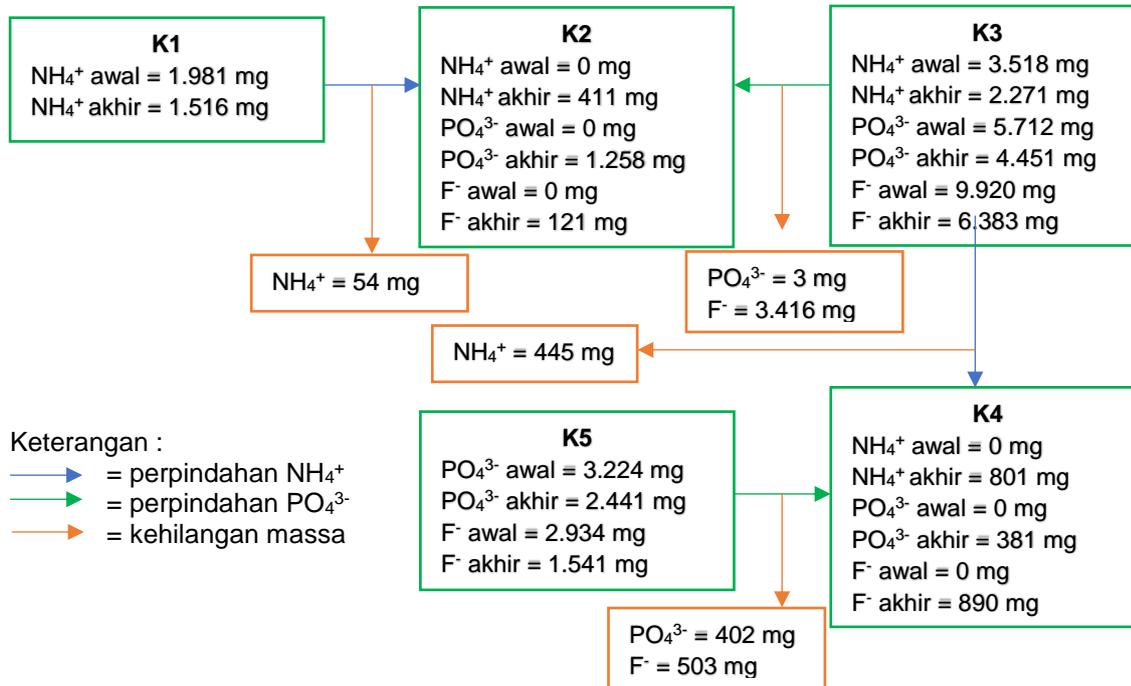
Gambar 4.5 Kesetimbangan Massa pada Variasi pH *feed* 5 dan Kuat Arus 0.1A



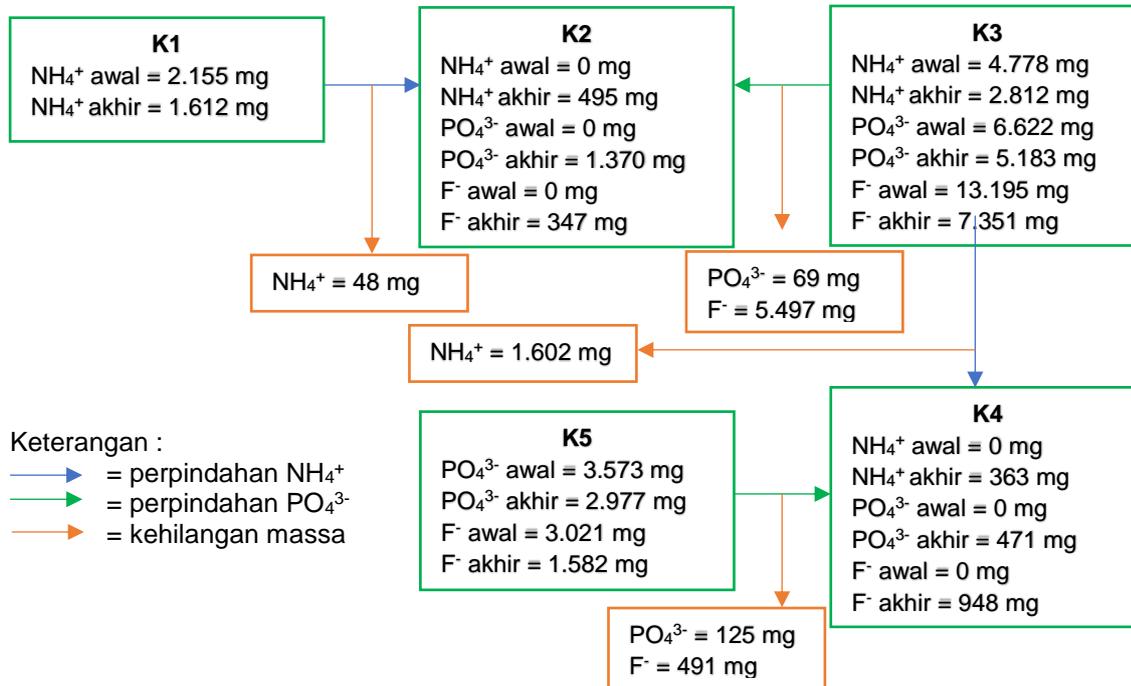
Gambar 4.6 Kesetimbangan Massa pada Variasi pH feed 7 dan Kuat Arus 0.1A



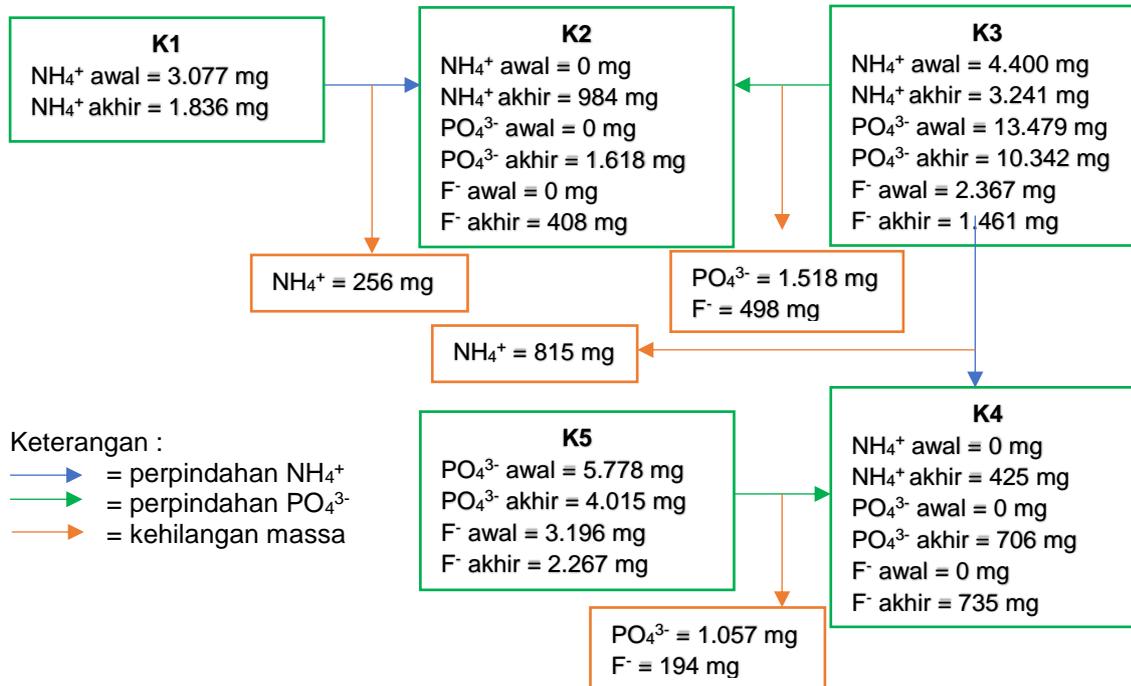
Gambar 4.7 Kesetimbangan Massa pada Variasi pH feed 9 dan Kuat Arus 0.1A



Gambar 4.8 Kesetimbangan Massa pada Variasi pH feed 5 dan Kuat Arus 0.15A



Gambar 4.9 Kesetimbangan Massa pada Variasi pH feed 7 dan Kuat Arus 0.15A



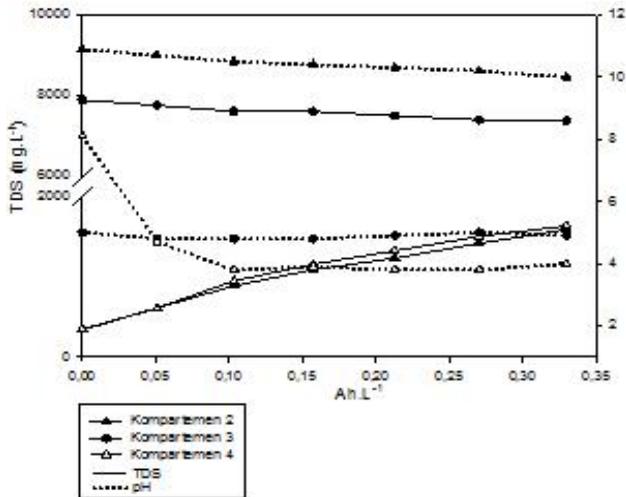
Gambar 4.10 Kesetimbangan Massa pada Variasi pH *feed* 9 dan Kuat Arus 0.15A

4.2.5 Perubahan TDS dan pH

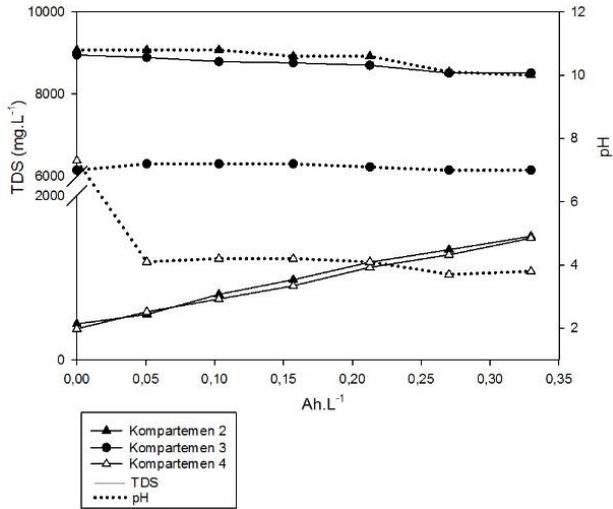
TDS menunjukkan konsentrasi ion terlarut pada air limbah. Ion – ion tersebut mempengaruhi kemampuan larutan untuk menghantarkan listrik. Oleh karena itu, nilai konduktivitas dapat dinyatakan dalam TDS. Dengan mengetahui nilai TDS, maka dapat diketahui apakah proses elektrodialisis berlangsung yang ditandai dengan perpindahan ion dari kompartemen pengencer menuju kompartemen konsentrat.

Nilai pH juga merupakan salah satu parameter penting dalam penelitian ini. Nilai pH dapat mempengaruhi spesies ion yang terbentuk dalam larutan. Spesies ion tersebut kemudian mempengaruhi mobilitas ion dan pembacaan ion yang diinginkan.

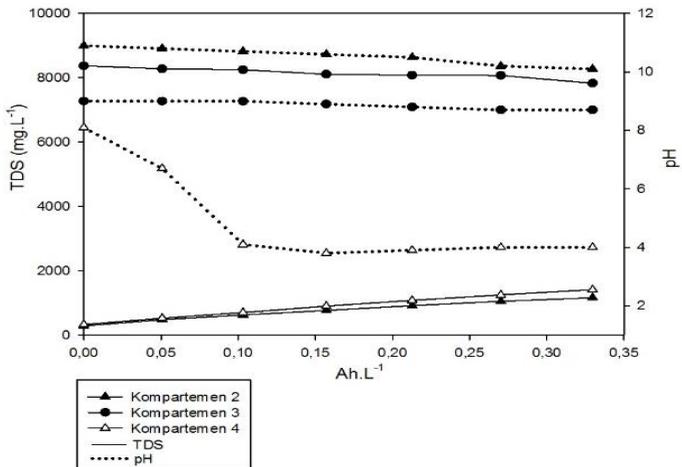
Kompartemen yang diamati penyisihan TDS dan perubahan pH adalah K2, K3, dan K4. Ketiga kompartemen tersebut adalah kompartemen utama dimana terjadi perpindahan ion dari *feed* ke produk. Perubahan TDS dan pH pada setiap percobaan tertera pada Grafik 4.16 hingga Grafik 4.24.



Grafik 4.16 Perubahan TDS dan pH Pada *Feed* pH 5 dan Kuat Arus 0.05A

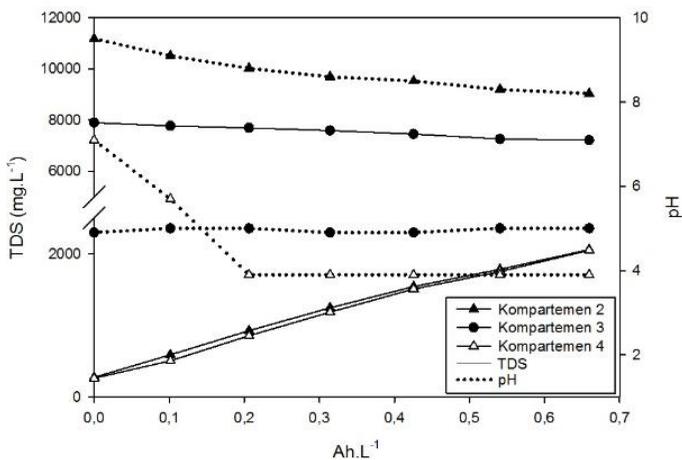


Grafik 4.17 Perubahan TDS dan pH Pada *Feed* pH 7 dan Kuat Arus 0.05A

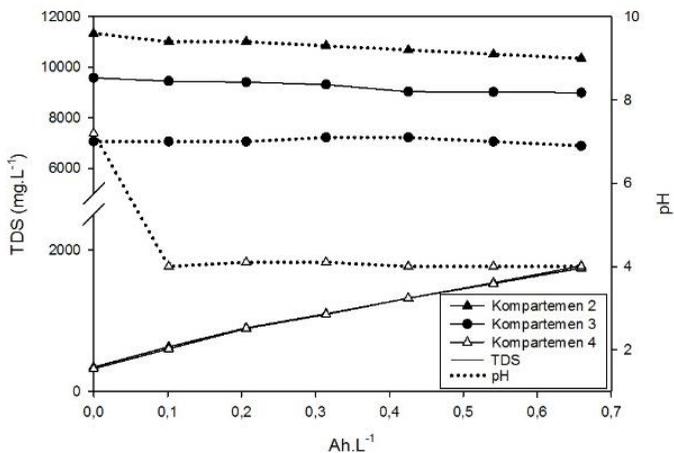


Grafik 4.18 Perubahan TDS dan pH Pada *Feed* pH 9 dan Kuat Arus 0.05A

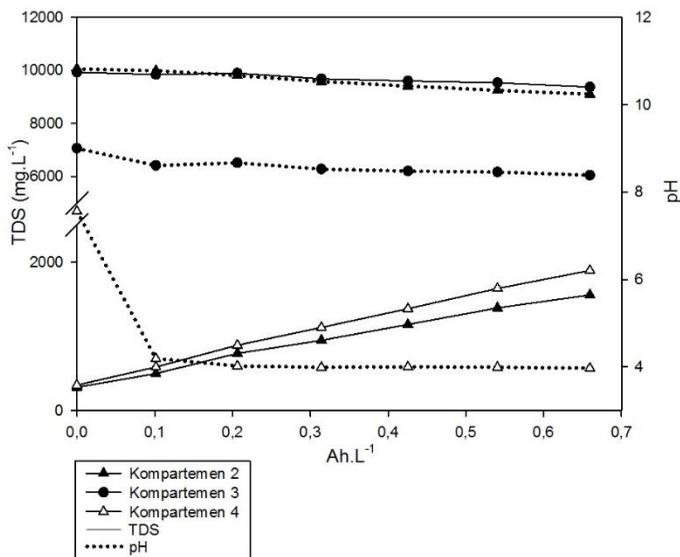
Selama proses elektrodialisis, masing – masing kompartemen mengalami kondisi pH yang berbeda – beda. Nilai pH pada K3 cenderung stabil. Namun, terjadi perubahan nilai pH pada K2 dan K4. Penurunan nilai pH pada K2 dimungkinkan terjadi akibat perpindahan ion H^+ dari K1 menuju K2 melalui CEM. Ion H^+ yang terbentuk pada K1 sebagai produk pada anoda (Mulder, 1996). Akibat terjadi perpindahan ion H^+ , terjadi penurunan nilai pH pada K2. Penurunan nilai pH juga terjadi di K4. Spesies ion yang terbentuk di K5 pada rentang pH 2.2 – 3.1 adalah $\pm 40\%$ spesies ion H_3PO_4 dan $\pm 60\%$ spesies ion $H_2PO_4^-$. Spesies ion H_3PO_4 bersifat asam dan dapat menurunkan nilai pH (Bagastyo, *et al.*, 2017). Hal ini mungkin menyebabkan terjadinya penurunan pH yang cukup besar pada K4.



Grafik 4.19 Perubahan TDS dan pH Pada Feed pH 5 dan Kuat Arus 0.1A

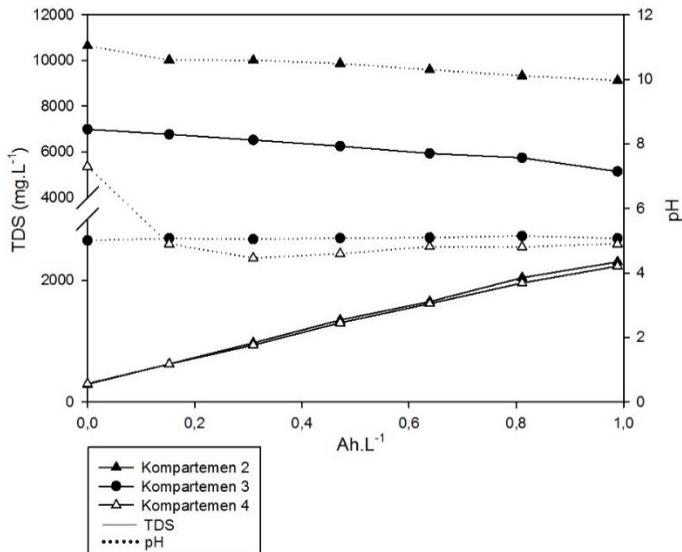


Grafik 4.20 Perubahan TDS dan pH Pada *Feed* pH 7 dan Kuat Arus 0.1A

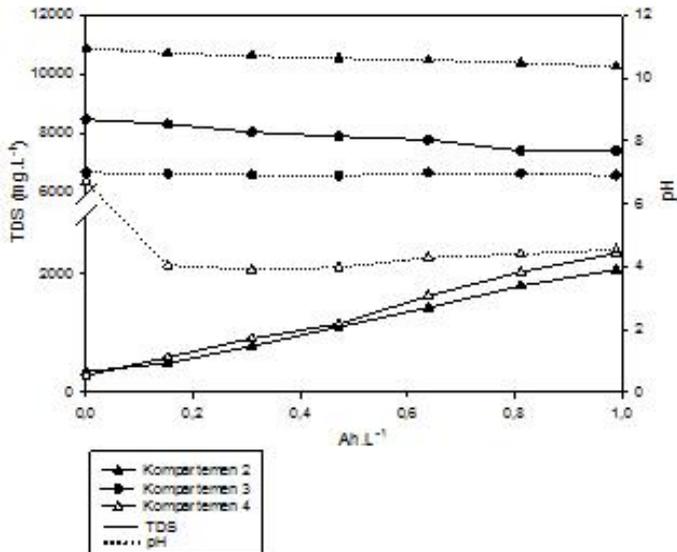


Grafik 4.21 Perubahan TDS dan pH Pada *Feed* pH 9 dan Kuat Arus 0.1A

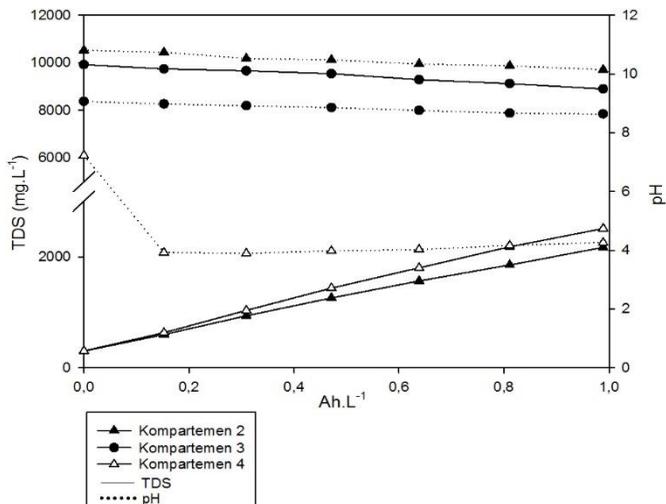
Sama halnya dengan variasi kuat arus 0.05A, pada variasi ini masing – masing kompartemen mengalami kondisi pH yang berbeda – beda. Nilai pH pada K3 cenderung stabil. Namun, terjadi perubahan nilai pH pada K2 dan K4. Penurunan nilai pH pada K2 dimungkinkan terjadi akibat perpindahan ion H⁺ dari K1 menuju K2 melalui CEM. Ion H⁺ yang terbentuk pada K1 sebagai produk pada anoda (Mulder, 1996). Akibat terjadi perpindahan ion H⁺, terjadi penurunan nilai pH pada K2. Penurunan nilai pH juga terjadi di K4. Spesies ion yang terbentuk di K5 pada rentang pH 2.2 – 2.82 adalah ±40% spesies ion H₃PO₄ dan ±60% spesies ion H₂PO₄⁻. Spesies ion H₃PO₄ bersifat asam dan dapat menurunkan nilai pH (Bagastyo, *et al.*, 2017). Hal ini mungkin menyebabkan terjadinya penurunan pH yang cukup besar pada K4.



Grafik 4.22 Perubahan TDS dan pH Pada Feed pH 5 dan Kuat Arus 0.15A



Grafik 4.23 Perubahan TDS dan pH Pada Feed pH 7 dan Kuat Arus 0.15A



Grafik 4.24 Perubahan TDS dan pH Pada Feed pH 7 dan Kuat Arus 0.15A

Selama proses elektrodialisis, masing – masing kompartemen mengalami kondisi pH yang berbeda – beda. Nilai pH pada K3 cenderung stabil. Namun, terjadi perubahan nilai pH pada K2 dan K4. Penurunan nilai pH pada K2 dimungkinkan terjadi akibat perpindahan ion H^+ dari K1 menuju K2 melalui CEM. Ion H^+ yang terbentuk pada K1 sebagai produk pada anoda (Mulder, 1996). Akibat terjadi perpindahan ion H^+ , terjadi penurunan nilai pH pada K2. Penurunan nilai pH juga terjadi di K4. Spesies ion yang terbentuk di K5 pada rentang pH 2.2 – 2.82 adalah $\pm 40\%$ spesies ion H_3PO_4 dan $\pm 60\%$ spesies ion $H_2PO_4^-$. Spesies ion H_3PO_4 bersifat asam dan dapat menurunkan nilai pH (Bagastyo, *et al.*, 2017). Hal ini mungkin menyebabkan terjadinya penurunan pH yang cukup besar pada K4.

Selain nilai pH, nilai TDS juga mengalami perubahan selama proses elektrodialisis. Peningkatan nilai TDS pada variasi kuat arus 0.05A di K2 dan K4 hanya mencapai 1162 mg/L sampai 1625 mg/L. sementara itu, peningkatan nilai TDS pada variasi kuat arus 0.1A di K2 dan K4 lebih besar yaitu mencapai 1558 mg/L sampai 2060 mg/L. Peningkatan nilai TDS terbesar terjadi pada variasi kuat arus 0.15A di K2 dan K4 yaitu mencapai 2070 mg/L hingga 2510 mg/L. Sehingga, nilai kuat arus yang lebih tinggi dapat meningkatkan perpindahan TDS menuju konsentrat.

4.2.6 Pemilihan Kompartemen Produk

Pada penelitian ini, proses perpindahan ion ammonium, fosfat, dan fluoride terjadi pada kelima kompartemen. Namun, hasil proses elektrodialisis yang berpotensi untuk digunakan sebagai produk dan diolah untuk membentuk *struvite* adalah hasil dari K2, K3, dan K4. Untuk melakukan pemilihan kompartemen terdapat beberapa pertimbangan, antara lain sebagai berikut :

1. Keberadaan ion Ag^+
2. Konsentrasi ion F^- pada produk tidak lebih dari 600 mg/L (Ryu *et al.*, 2008)
3. Perbandingan rasio molar $[NH_4^+]:[PO_4^{3-}]$ pada produk sebesar 1:1 (Fitriana, 2016)

Selama proses elektrodialisis, terjadi peluruhan perak (Ag^+) pada K1. Rata – rata berat Ag^+ yang meluruh setiap kali *running* selama 6 jam adalah 2,25 gram. Ag^+ yang meluruh dikhawatirkan akan berpindah menuju K2 melalui CEM diantara K1

dan K2. Oleh karena itu, K2 tidak dipilih sebagai kompartemen produk untuk menghindari kontaminasi ion Ag^+ pada produk yang akan digunakan sebagai *feed* dalam proses pembentukan *struvite*.

Kompartemen produk yang berpotensi untuk digunakan sebagai *feed* untuk pembentukan *struvite* tersisa K3 dan K4. Selanjutnya, pemilihan kompartemen dilakukan berdasarkan konsentrasi ion F^- yang ada pada produk. Produk pada kompartemen dengan konsentrasi ion F^- kurang dari 600 mg/L terdapat pada K3 variasi pH *feed* 5 dengan kuat arus 0,1A dan pada K3 variasi pH *feed* 7 pada kuat arus 0,1A. Konsentrasi ion F^- pada kedua variasi tersebut berturut – turut adalah 344 mg/L dan 486 mg/L.

Setelah menentukan K3 sebagai kompartemen produk yang akan digunakan sebagai *feed* proses pembentukan *struvite*, dilakukan perbandingan rasio molar pada produk kedua variasi tersebut. Rasio molar $[\text{NH}_4^+]:[\text{PO}_4^{3-}]$ yang diinginkan adalah sebesar 1:1 (Fitriana, 2016). Perbandingan rasio molar $[\text{NH}_4^+]:[\text{PO}_4^{3-}]$ pada variasi pH *feed* 5 dengan kuat arus 0,1A adalah 1,4:1. Sedangkan perbandingan rasio molar $[\text{NH}_4^+]:[\text{PO}_4^{3-}]$ pada variasi pH *feed* 7 dengan kuat arus 0,1A adalah 1,2:1. Konsentrasi ion NH_4^+ pada variasi pH *feed* 5 dengan kuat arus 0,1A lebih besar daripada variasi pH *feed* 7 dengan kuat arus 0,1A. Konsentrasi ion NH_4^+ keduanya berturut – turut adalah 2325 mg/L dan 1995 mg/L. Sedangkan konsentrasi ion PO_4^{3-} pada variasi pH *feed* 5 dengan kuat arus 0,1A lebih kecil daripada variasi pH *feed* 7 dengan kuat arus 0,1A. Konsentrasi ion PO_4^{3-} keduanya berturut – turut adalah 8610 mg/L dan 8948 mg/L. Sehingga pemilihan variasi yang efektif pada proses elektrodialisis ini dilakukan dengan mempertimbangkan konsumsi energi spesifik proses.

4.2.7 Konsumsi Energi Spesifik Proses

Menurut Anglada *et al.* (2009), perhitungan konsumsi energi spesifik proses (W) berkaitan dengan muatan listrik spesifik (Q) dan tegangan listrik tertentu (V). Perhitungan kebutuhan energi spesifik bertujuan untuk menjadi pertimbangan dalam memilih nilai arus efektif. Perhitungan kebutuhan energi spesifik proses dilakukan pada uji yang telah dipilih pada sub bab 4.3.5 dengan membandingkan massa ion NH_4^+ dan PO_4^{3-} yang ter-*recovery* serta massa ion F^- yang tersisihkan pada K3 per energi spesifik

proses. Tabel 4.3 di bawah ini merupakan perhitungan konsumsi energi pada parameter PO_4^{3-} :

Tabel 4.3 Perhitungan Konsumsi Energi Spesifik Parameter PO_4^{3-}

Variasi	Konsumsi Energi Spesifik (Wh/L)	Massa Terecovery (gram/L)	Massa Terecovery / Konsumsi Energi (gram/wh)
pH <i>feed</i> 5 ; Kuat Arus 0,1A	9,00	8,61	0,96
pH <i>feed</i> 7 ; Kuat Arus 0,1A	8,88	8,95	1,01

Berdasarkan perhitungan pada Tabel 4.2, diketahui bahwa konsumsi energi spesifik pada variasi pH *feed* 5 dengan kuat arus 0,1A lebih kecil dibandingkan variasi pH *feed* 7 dengan kuat arus yang sama. Tabel 4.4 dibawah ini merupakan perhitungan konsumsi energi spesifik untuk parameter NH_4^+ .

Tabel 4.4 Perhitungan Konsumsi Energi Spesifik Parameter NH_4^+

Variasi	Konsumsi Energi Spesifik (Wh/L)	Massa Terecovery (gram/L)	Massa Terecovery / Konsumsi Energi (gram/wh)
pH <i>feed</i> 5 ; Kuat Arus 0,1A	9,00	2,32	0,26
pH <i>feed</i> 7 ; Kuat Arus 0,1A	8,88	2,00	0,22

Berdasarkan perhitungan pada Tabel 4.3, diketahui bahwa konsumsi energi spesifik pada variasi pH *feed* 5 dengan kuat arus 0,1A lebih besar dibandingkan variasi pH *feed* 7 dengan kuat arus yang sama. Tabel 4.5 dibawah ini merupakan perhitungan konsumsi energi spesifik untuk parameter F^- .

Tabel 4.5 Perhitungan Konsumsi Energi Spesifik Parameter F^-

Variasi	Konsumsi Energi Spesifik (Wh/L)	Massa Tersisihkan (gram/L)	Massa Tersisihkan / Konsumsi Energi (gram/wh)
pH <i>feed</i> 5 ; Kuat Arus 0,1A	9,00	2,28	0,25
pH <i>feed</i> 7 ; Kuat Arus 0,1A	8,88	1,22	0,14

Berdasarkan perhitungan pada Tabel 4.4, diketahui bahwa konsumsi energi spesifik pada variasi pH *feed* 5 dengan kuat arus 0,1A lebih besar dibandingkan variasi pH *feed* 7 dengan kuat arus yang sama. Dengan membandingkan konsumsi energi spesifik yang dibutuhkan untuk *recovery* ion NH_4^+ dan PO_4^{3-} serta menyisihkan ion F^- maka dapat disimpulkan bahwa variasi pH *feed* 5 dengan kuat arus 0,1A memiliki konsumsi energi spesifik yang lebih optimum dibandingkan dengan variasi pH *feed* 7.

4.2.8 Prediksi Pembentukan *Scaling* (Kerak) pada Membran

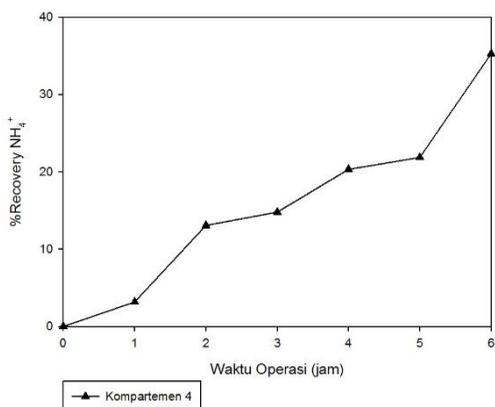
Air limbah inlet *Point L* PT Petrokimia Gresik memiliki nilai pH yang sangat fluktuatif. Nilai pH air limbah sangat dipengaruhi oleh pabrik yang beroperasi. Apabila Pabrik Ammonium sedang beroperasi, maka pH air limbah cenderung tinggi. Di sisi lain, apabila Pabrik Fosfat sedang beroperasi, maka pH air limbah cenderung rendah. Pemilihan variasi variabel pH air limbah inlet *Point L* dengan nilai 5, 7, dan 9 pada penelitian ini didasarkan atas nilai pH air limbah yang fluktuatif. Namun pH sangat mempengaruhi spesies ion yang ada pada air limbah dan dikhawatirkan akan membentuk presipitat atau endapan. Presipitat atau endapan inilah yang dikhawatirkan memiliki potensi untuk menyebabkan *fouling* pada membran akibat terbentuknya *scaling* (kerak). Selain itu, endapan yang terbaca sebagai *Total Suspended Solids* (TSS) dapat mengganggu perpindahan ion. Oleh karena itu, dilakukan analisis TSS pada produk K2 dan K4 di variasi pH 5, 7, dan 9 dengan kuat arus 0,15A untuk mengetahui konsentrasi TSS yang terbentuk. Analisis dilakukan hanya pada kuat arus 0,15A sebab pada kuat arus ini diduga terjadi mobilitas ion tertinggi. Tabel 4.6 menunjukkan konsentrasi TSS yang terbentuk pada K2 dan K4.

Tabel 4.6 Konsentrasi TSS (mg/L) yang Terbentuk Pada Setiap Variasi pH di K2 dan K4

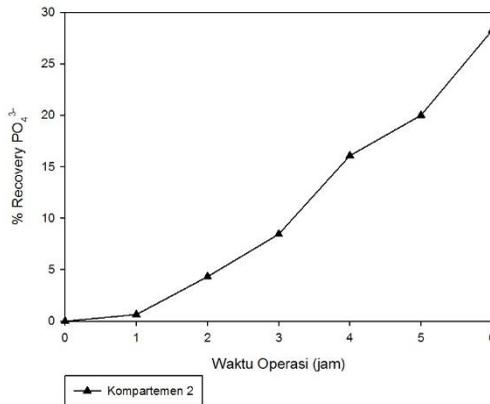
Kompartemen	Ph		
	5	7	9
2	4,19	1,60	80,25
4	2,24	0,24	11,03

Berdasarkan Tabel 4.6, konsentrasi TSS tertinggi terjadi pada variasi pH *feed* 9 pada kedua kompartemen. Sedangkan proses elektrodialisis dengan pH *feed* 7 memiliki konsentrasi TSS terendah pada kedua kompartemen.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pH optimum untuk mencegah terjadinya pembentukan kerak. Namun, selama 6 jam waktu operasi proses elektrodialisis, belum terjadi pembentukan membran pada kerak dan %*Recovery* yang didapatkan oleh K2 dan K4 masih sangat kecil. Membran dimungkinkan mengalami *fouling* saat terjadi %*Recovery* yang tinggi. Oleh karena itu, dilakukan perhitungan waktu operasi pada saat terjadi %*Recovery* sebesar 100%. Pada saat %*Recovery* sebesar 100% diduga terjadi pembentukan kerak pada membran, namun untuk memastikan waktu operasi saat terjadi pembentukan kerak dibutuhkan percobaan terlebih dahulu. %*Recovery* pada variasi pH *feed* 5 dapat dilihat pada Grafik 4.25 dan Grafik 4.26.



Grafik 4.25 %*Recovery* Ion Ammonium pada pH *feed* 5



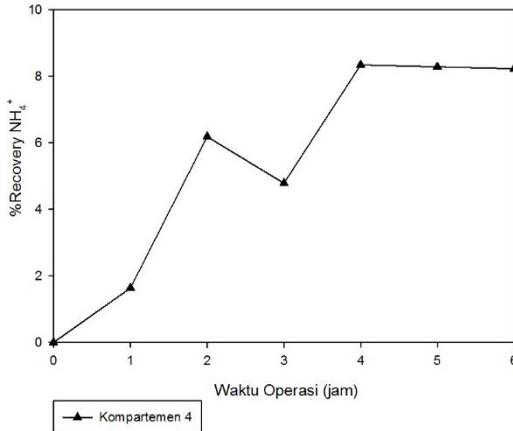
Grafik 4.26 %Recovery Ion Fosfat pada pH feed 5

Selama 6 jam waktu operasi elektrodialisis, %R yang dapat dicapai untuk melakukan *recovery* ion ammonium dan fosfat berturut turut adalah 24,7% dan 23,8%. Nilai %R ini tergolong masih rendah sehingga dengan menggunakan persamaan regresi dapat diperkirakan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai %R sebesar 100% pada kedua ion. Perhitungan waktu operasi yang dibutuhkan untuk mencapai 100% *recovery* ion ammonium dan fosfat terlampir. Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 100% *recovery* ion ammonium dan ion fosfat berturut – turut adalah 30,14 jam dan 24,74 jam.

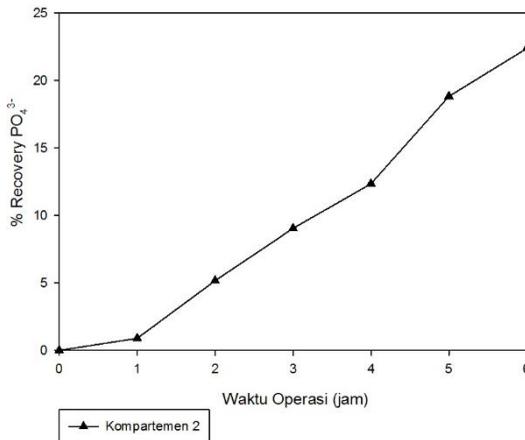
Akibat waktu operasi yang meningkat maka diduga akan terjadi peningkatan konsentrasi TSS secara linear. Prediksi TSS yang terbentuk pada K2 dan K4 dilakukan berdasarkan data TSS terbentuk selama 6 jam pada Tabel 4.8. Perhitungan prediksi TSS yang terbentuk setiap jam terlampir. TSS yang terbentuk setelah 30,14 jam pada K2 dan K4 berturut – turut adalah 21,34 gram dan 11,40 gram. Sehingga total TSS yang terbentuk pada kedua produk adalah 32,74 gram.

Pada variasi pH *feed* 7, %*Recovery* yang didapat untuk melakukan *recovery* ion ammonium dan fosfat juga masih sangat

kecil. %*Recovery* pada variasi pH *feed* 7 dapat dilihat pada Grafik 4.27 dan Grafik 4.28.



Grafik 4.27 %*Recovery* Ion Ammonium pada pH *feed* 7



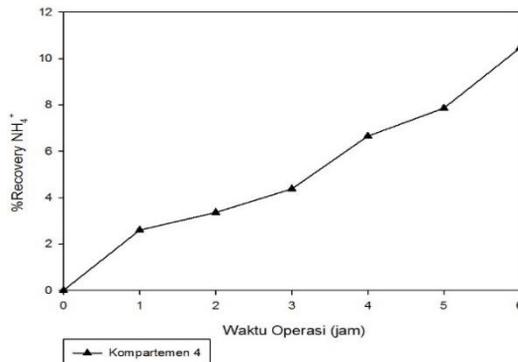
Grafik 4.28 %*Recovery* Ion Fosfat pada pH *feed* 7

Selama 6 jam waktu operasi elektrodialisis, %R yang dapat dicapai untuk melakukan *recovery* ion ammonium dan fosfat berturut turut adalah 8,2% dan 22,4%. Nilai %R ini tergolong masih

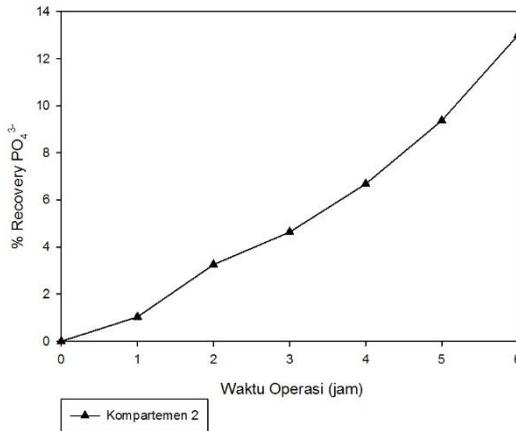
sangat rendah sehingga dengan menggunakan persamaan regresi dapat diperkirakan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai %R sebesar 100% pada kedua ion. Perhitungan waktu operasi yang dibutuhkan untuk mencapai 100% *recovery* ion ammonium dan fosfat terlampir. Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 100% *recovery* ion ammonium dan ion fosfat berturut – turut adalah 69 jam dan 25,91 jam.

Akibat waktu operasi yang meningkat maka diduga akan terjadi peningkatan konsentrasi TSS secara linear. Prediksi TSS yang terbentuk pada K2 dan K4 dilakukan berdasarkan data TSS terbentuk selama 6 jam pada Tabel 4.8. Perhitungan prediksi TSS yang terbentuk setiap jam terlampir. TSS yang terbentuk setelah 69 jam pada K2 dan K4 berturut – turut adalah 18,68 gram dan 2,75 gram. Sehingga total TSS yang terbentuk pada kedua produk adalah 21,42 gram.

Hal yang sama juga terjadi pada variasi pH *feed* 9. Pada variasi pH *feed* 9, %*Recovery* yang didapat untuk melakukan *recovery* ion ammonium dan fosfat juga masih sangat kecil. %*Recovery* pada variasi pH *feed* 9 dapat dilihat pada Grafik 4.29 dan Grafik 4.30.



Grafik 4.29 %Recovery Ion Ammonium pada pH *feed* 9



Grafik 4.30 %Recovery Ion Fosfat pada pH feed 9

Selama 6 jam waktu operasi elektrodialisis, %R yang dapat dicapai untuk melakukan *recovery* ion ammonium dan fosfat berturut turut adalah 10,5% dan 13,0%. Nilai %R ini tergolong masih sangat rendah sehingga dengan menggunakan persamaan regresi dapat diperkirakan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai %R sebesar 100% pada kedua ion. Perhitungan waktu operasi yang dibutuhkan untuk mencapai 100% *recovery* ion ammonium dan fosfat terlampir. Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 100% *recovery* ion ammonium dan ion fosfat berturut – turut adalah 61,84 jam dan 47,82 jam.

Akibat waktu operasi yang meningkat maka diduga akan terjadi peningkatan konsentrasi TSS secara linear. Prediksi TSS yang terbentuk pada K2 dan K4 dilakukan berdasarkan data TSS terbentuk selama 6 jam pada Tabel 4.8. Perhitungan prediksi TSS yang terbentuk setiap jam terlampir. TSS yang terbentuk setelah 61,84 jam pada K2 dan K4 berturut – turut adalah 839,58 gram dan 115,40 gram. Sehingga total TSS yang terbentuk pada kedua produk adalah 954,98 gram.

Setelah mengetahui prediksi berat TSS yang terbentuk apabila ingin mencapai %*Recovery* ion ammonium dan fosfat sebesar 100%, prediksi pH yang berpotensi menyebabkan

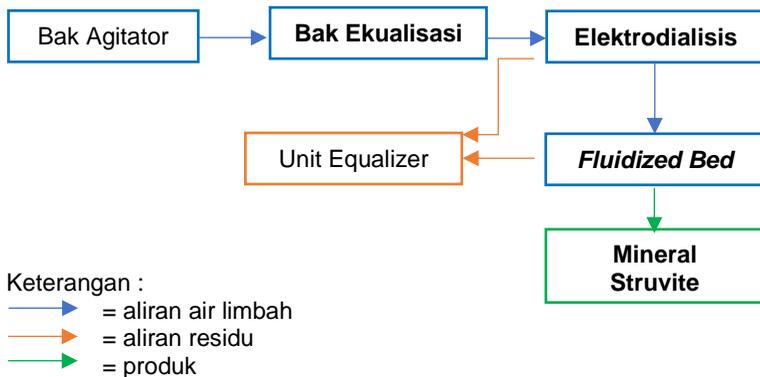
pembentukan *scaling* (kerak) dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi membran pada akhir proses. Pada pH *feed* sebesar 9, TSS yang terbentuk pada K2 dan K4 sangat besar yaitu sebesar 954,98 gram. Di sisi lain, pada pH *feed* 7 TSS yang terbentuk pada K2 dan K4 mencapai nilai paling rendah yaitu sebesar 21.42 gram.

4.2.9 Penerapan Metode Elektrodialisis

Untuk dapat menerapkan penelitian ini dalam skala lapangan, fluktuasi pada air limbah inlet *Point L* perlu diperhatikan. Pengambilan sampel air limbah pada penelitian ini dilakukan sebanyak 2 kali, namun pH air limbah kedua sampel sangat berbeda. Menurut Ayu dan Suci (2017), nilai pH air limbah tersebut mengalami fluktuatif berkisar 6.04 – 8.81. Pada saat pengambilan sampel, nilai pH pada air limbah yang diambil pertama adalah ± 7 , sementara nilai pH pada air limbah yang diambil kedua adalah ± 2 . Nilai pH pada air limbah yang diambil kedua sangat rendah karena pabrik yang beroperasi saat itu hanya Pabrik Fosfat saja. Oleh karena itu, peneliti mencampurkan kedua air limbah tersebut untuk mendapatkan nilai pH yang tidak terlalu rendah sehingga bahan kimia yang dibutuhkan untuk menyesuaikan pH tidak terlalu besar.

Pencampuran kedua sampel air limbah yang dilakukan pada penelitian ini merupakan simulasi dari bak equalisasi. Sebelum air limbah dialirkan menuju reaktor elektrodialisis, air limbah yang mengalir menuju inlet *Point L* ditampung terlebih dahulu menuju bak equalisasi dengan tujuan untuk menghomogenkan pH air limbah yang fluktuatif sehingga didapatkan pH yang tidak terlalu rendah. Penempatan bak equalisasi diletakkan setelah bak agitator yang sudah ada di pengolahan limbah cair PT Petrokimia Gresik. Bak agitator sebenarnya digunakan untuk menghomogenkan pH pada limbah cair. Namun, bak ini dibagi menjadi 4 bak dan tidak semua bak beroperasi secara bersamaan. Hal ini memungkinkan terjadi pencampuran yang tidak homogen pada seluruh air limbah yang dihasilkan. Sedangkan bak *equalizer* yang ada pada PT Petrokimia Gresik bertujuan untuk menetralkan pH pada air limbah dengan menambahkan NaOH hingga mencapai baku mutu. Penginjeksian NaOH ini dikhawatirkan mengakibatkan kenaikan pH yang tinggi

sehingga menyebabkan pengendapan fosfat. Setelah melalui reaktor elektrodialisis, produk yang dihasilkan pada K3 kemudian dialirkan menuju reaktor *fluidized bed* untuk menghasilkan mineral *struvite*. Residu yang dihasilkan oleh reaktor elektrodialisis pada K1, K2, K4, dan K5 serta residu yang dihasilkan oleh reaktor *fluidized bed* kemudian dialirkan menuju bak *equalizer* untuk menaikkan pH. Rencana pengaplikasian reaktor elektrodialisis pada PT Petrokimia Gresik tertera pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Rencana Aplikasi Reaktor Elektrodialisis di PT Petrokimia Gresik

Effluen yang dihasilkan dari reaktor elektrodialisis dan *fluidized bed* kemudian akan dialirkan menuju unit equalizer yang sudah ada di PT Petrokimia Gresik. Effluen dari reaktor elektrodialisis adalah effluen dari K1, K2, K4, dan K5. Pada unit equalizer, pH air limbah akan dinetralkan menjadi 6 – 9 sesuai dengan Baku Mutu Air Limbah bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya sesuai pada Pergub Jatim No. 72 Tahun 2013. Karena kandungan fosfat pada air limbah effluen reaktor elektrodialisis masih tinggi, maka pada unit equalizer akan dibubuhi dengan kapur untuk menjaga pH tetap netral dan mengendapkan garam – garam fosfat. Setelah diolah dengan unit equalizer, air limbah kemudian dialirkan menuju *Point L* untuk kemudian dialirkan menuju laut.

Mineral *struvite* yang dihasilkan sebagai produk dari proses *fluidized bed* sangat dipengaruhi oleh konsentrasi ion fluor

pada air limbah yang diolah. Apabila air limbah mengandung konsentrasi ion fluor lebih dari 600 mg/L, ion tersebut akan berikatan dengan ion Mg^{2+} dan membentuk MgF_2 (Ryu *et al.*, 2008). Hal ini menunjukkan bahwa kuantitas mineral *struvite* yang terbentuk akan berkurang. Selain itu, kualitas mineral *struvite* akan terganggu dengan adanya konsentrasi ion fluor yang tinggi. Menurut Huang *et al.* (2016), morfologi mineral *struvite* yang didapatkan pada konsentrasi ion fluor yang rendah adalah berbentuk kolom dengan permukaan halus. Sementara itu, bentuk kristal yang terbentuk dengan konsentrasi fluor sebesar 600 mg/L dan 1500 mg/L secara bertahap berubah menjadi balok tak beraturan dengan permukaan yang berikatan dengan partikel halus tak berbentuk. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan ion fluor dapat mempengaruhi proses nukleasi dan pertumbuhan mineral *struvite* sehingga menghasilkan produk dengan bentuk yang berbeda.

4.2.10 Perhitungan Efisiensi Proses Elektrodialisis dengan Hukum Faraday I

Hukum Faraday I menyatakan bahwa massa zat yang dihasilkan di elektroda berbanding lurus dengan jumlah listrik yang digunakan. Pada penelitian, massa zat yang dihasilkan dapat disetarakan dengan massa zat yang berpindah dari K3 menuju K2 maupun K4. Ion-ion yang berpindah dari K3 menuju K2 maupun K4 antara lain PO_4^{3-} , F^- , dan NH_4^+ .

Efisiensi proses elektrodialisis dapat dihitung dengan membandingkan massa ion yang berpindah menurut Hukum Faraday I dengan massa ion yang berpindah pada penelitian ini. Kompartemen yang digunakan sebagai produk sebagaimana dijelaskan pada sub bab 4.2.6 adalah kompartemen 3. Sehingga, ion yang diharapkan untuk berpindah dalam jumlah besar dari K3 adalah ion F^- saja, sementara ion PO_4^{3-} dan ion NH_4^+ diharapkan tetap di K3 dalam jumlah besar. Oleh karena itu, perhitungan efisiensi proses elektrodialisis hanya memperhitungkan perpindahan ion F^- dari K3 menuju K2 pada kuat arus 0,1A sebagai kuat arus efektif. Hasil perhitungan efisiensi proses elektrodialisis tertera pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Efisiensi Proses Elektrodialisis Pada Kuat Arus 0,1A

pH	I (A)	Massa Teoritis (gr)	Massa Penelitian (gr)	%efisiensi
5	0,1	0,43	1,19	279,04
7	0,1	0,43	0,93	218,33
9	0,1	0,43	0,37	87,68

Pada Hukum Faraday I, massa zat adalah massa zat yang terbentuk pada elektroda akibat proses oksidasi maupun presipitasi. Sementara itu, pada proses elektrodialisis massa yang didapatkan adalah massa yang berpindah melalui membran dan tidak mengalami proses oksidasi. Selain itu, Hukum Faraday I tidak memperhitungkan perubahan pH pada air limbah yang diolah, sedangkan pada proses elektrodialisis nilai pH sangat mempengaruhi mobilitas ion yang kemudian mempengaruhi jumlah ion yang berpindah. Oleh karena itu, perhitungan massa ion teoritis yang berpindah pada proses elektrodialisis tidak dapat dihitung dengan menggunakan rumus Hukum Faraday I.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Kuat arus 0.1A dipilih sebagai kuat arus efektif. Pada kuat arus 0.1A terjadi *recovery* ion ammonium dengan konsentrasi 2325 mg/L, *recovery* ion fosfat dengan konsentrasi 8610 mg/L, dan menyisihkan ion *fluor* hingga mencapai konsentrasi 344 mg/L.
2. Air limbah dengan pH awal 7 merupakan pH efektif untuk mencegah potensi pembentukan *scaling* (kerak) pada permukaan membran.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dalam pengolahan air limbah pupuk untuk penelitian selanjutnya agar mendapat hasil yang lebih baik adalah sebagai berikut :

1. Penelitian selanjutnya perlu melakukan pengadukan secara homogen dan kontinyu pada seluruh tangki kompartemen untuk mencegah kehilangan massa ion yang terjadi pada penelitian ini.
2. Penelitian selanjutnya perlu mengganti anoda perak yang digunakan pada penelitian ini menjadi elektroda *inert* lainnya seperti platina atau titanium. Penggunaan anoda perak pada penelitian ini masih menimbulkan peluruhan perak yang banyak dan menimbulkan kontaminasi ion Ag^+ pada kompartemen produk.
3. Penelitian selanjutnya perlu meneliti waktu operasi hingga membran terjadi *scaling*. Pada penelitian ini belum terjadi *scaling* pada membran sehingga hanya dapat dilakukan estimasi waktu operasi maksimum.
4. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan reaktor dengan jumlah kompartemen yang lebih dari 5 namun dengan ketebalan reaktor yang lebih tipis (misalnya 1 cm). Penelitian ini awalnya berencana untuk menggunakan reaktor dengan 7 kompartemen. Namun akibat tebal reaktor yang besar (2 cm) mengakibatkan

proses elektrodialisis menjadi tidak efisien karena membutuhkan tegangan listrik yang sangat tinggi untuk mencapai kuat arus yang diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidi, A., Gherraf, N., Ladjel, S., Rabiller-Baudry, M., Bouchami, T. 2011. *Effect of Operating Parameters on the Selectivity of Nanofiltration Phosphates Transfer Through A Nanomax-50 Membrane*. Arabian Journal of Chemistry 1-8.
- Anglada, A., Urtiaga, A., dan Oritz, I. 2009. *Contributions of Electrochemical Oxidation to Waste-water Treatment: Fundamentals and Review of Applications*. Society of Chemical Industry Vol. 84, hal. 1747 – 1755.
- Anonymous. 2018. *AMI-7001 Anion Exchange Membranes Technical Specifications*. Membranes International Inc. USA.
- Anonymous. 2018. *CMI-7000 Cation Exchange Membranes Technical Specifications*. Membranes International Inc. USA.
- Atkins, P. dan De Paula, J. 2006. *Atkins' Physical Chemistry*. New York : W.H. Freeman and Company
- Ayu, A. P. dan Suci, A. P. C. W. 2017. *Evaluasi Pengolahan Limbah Cair Pada Unit Equalizer di PT Petrokimia Gresik*. Surabaya : Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS.
- Bagastyo, A. Y., Anggrainy, A. D., Nindita, C. S., dan Warmadewanthi. 2017. *Electrodialytic Removal of Fluoride and Calcium Ions to Recover Phosphate from Fertilizer Industry Wastewater*. Sustainable Environment Research 27:230 – 337.
- Bernardes, A. M., Rodrigues, M. A. S. R., dan Ferreira, J. Z. 2014. *Electrodialysis and Water Reuse*. Brazil : Springer.
- Boyd, C. E., Tucker, C. S., Viriyatum, R. 2011. *Interpretation of pH, Acidity, and Alkalinity in Aquaculture and Fisheries*. North American Journal of Aquaculture 73:403 – 408.
- Brewster, E. T., Mehta, C.M., Radjenovic, J. dan Batstone, D. J. 2016. *A Mechanistic Model for Electrochemical Nutrient Recovery Systems*. Water Research 94:176-186
- Chen, G. H. 2004. *Electrochemicals Technologies in Wastewater Treatment*. Technol. 38 (1), 11 – 41.

- Engelke, J. L. dan Strain, H. H. 1954. *Electrical Mobility of Phosphate Ions in Paper Electrochromatography*. Analytical Chemistry Vol. 26 No. 12.
- Ergun, E., Tor, A., Cengeloglu, Y., dan Kocak, I. 2008. *Electrodialytic Removal of Fluoride From Water : Effect of Process Parameters and Accompanying Anions*. Separation and Purification Technology 64 (2008) 147 – 153.
- Fitriana, A. R. 2016. *Penurunan Ammonium dan Fosfat Pada Limbah Cair PT Petrokimia Gresik Unit Produksi I dan III*. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan ITS.
- Huang, H., Liu, J., Zhang, P., Zhang, D., dan Gao, F. 2016. *Investigation on The Simultaneous Removal of Fluoride, Ammonia Nitrogen and Phosphate from Semiconductor Wastewater Using Chemical Precipitation*. Chemical Engineering Journal.
- Kim, D., Kim, J., Ryu, H. D., dan Lee, S. I. 2009. *Effect of Mixing on Spontaneous Struvite Precipitation from Semiconductor Wastewater*. Bioresource Technology 100 (2009) 74 – 78.
- Mirfada, Z., Purnomo, A., dan Bagastyo, A. Y. 2014. *Pengaruh Tegangan dan Jumlah Kompartemen pada Desalinasi Air Payau Menggunakan Elektrodialisis*. Surabaya : Digital Library ITS.
- Miyoshi, H. 1997. *Diffusion Coefficients of Ions Through Ion Exchange Membranes for Donnan Dialysis Using Ions of The Same Valence*. Chemical Engineering Science 52:1087-1096.
- Mulder, M. 1996. *Basic Principles of Membrane Technology*. Belanda : Kluwer Academic Publishers Group.
- Nindita, C. S. 2016. *Penyisihan Ion Fosfat, Fluorida dan Kalsium pada Air Limbah Fosfat PT Petrokimia Gresik dengan Metode Elektrodialisis*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan ITS.
- Padaki, M., Murali, R. S., Abdullah, M., Misdan, N., Moslehyani, A., dan Kassim, M. 2015. *Membrane Technology Enhancement in Oil – Water Separation*. Desalination. 2015;357;197 – 207.

- Qiang, Z., Adams, C. 2004. *Determination of Monochloramine Formation Rate Constants with Stopped-Flow Spectrofluorimetry*. Environmental Science Technology 38:1435-1444.
- Riyanto. 2013. *Elektrokimia dan Aplikasinya*. Graha Ilmu : Yogyakarta.
- Ryu, H. D., Kim, D., dan Lee, S. I. 2008. *Application of Struvite Precipitation in Treating Ammonium Nitrogen from Semiconductor Wastewater*. Journal of Hazardous Materials 156 (2008), 163 – 169.
- Shaffer, L. H., dan Mintz, M. S. 1980. *Principle of Desalination Second Edition Part A : Electrodialysis*. Academic Press.
- Sluyters, J. H., Wijnen, M. D., dan Van Den Hul, H. J. 1961. *The Potential/pH Diagram of Silver in Aqueous Ammonium Salt Solution*. Electrochimica Acta 5:72-78.
- Strathmann, H. 2000. *Membrane Separations ; Electrodialysis*. Belanda : Academic Press, University Of Twente
- Wang, X., Wang, Y., Dua, Y., dan Feng, H. 2015. *Simultaneous Recovery of Ammonium and Phosphorus via The Intergration of Electrodialysis with Struvite Reactor*. Journal of Membrane Science.
- Wang, Y., Guo, X., Li, J., Yang, Y., Lei, Z., Zhang, Z. 2012. *Efficient Electrochemical Removal of Ammonia with Various Cathodes and Ti/RuO₂-Pt Anode*. Open Journal of Applied Sciences, 2, 241 – 247.
- Ward, A. J., Arola, K., Brewster, E. T., Mehta, C. M. 2018. *Nutrient Recovery from Wastewater Through Pilot Scale Electrodialysis*. Water Research 135:57-65.
- Wenten, I G., Khoiruddin, K., Hakim, A. N., dan Aryanti, P. T. P. 2012. *Teori Perpindahandalam Membran*. Bandung : Departemen Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung.
- Zhang, T., Jiang, R., dan Deng, Y. 2017. *Phosphorus Recovery by Struvite Crystallization from Livestock Wastewater and Reuse as Fertilizer : A Review*. Physico – Chemical Wastewater Treatment and Resource Recovery, Chapter 7, Hal. 135 – 152.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN A. PROSEDUR DAN ANALISIS LABORATORIUM

1. Prosedur Analisis Laboratorium

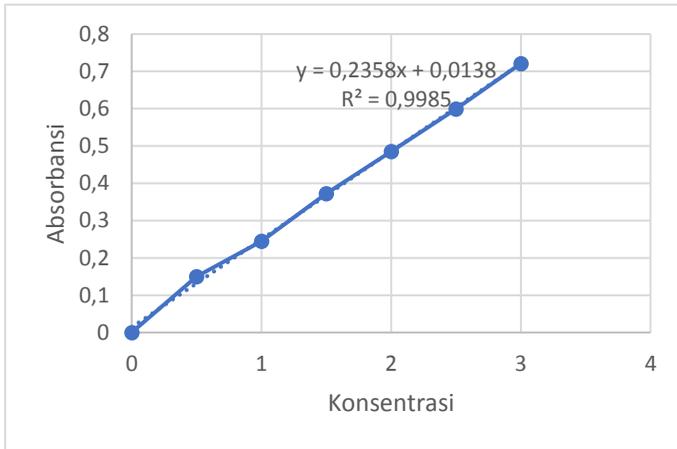
a. Analisis Fosfat dengan Metode *Stannous Chloride*

Bahan dan Alat :

- Larutan Ammonium Molybdate ($(\text{NH}_4)_6\text{MO}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
- Larutan Klorid timah (SnCl_2)
- Labu erlenmeyer 10 mL
- Spektrofotometer dengan panjang gelombang 700 nm dan kuvet
- Pipet ukur 10 mL
- Pipet tetes

Prosedur analisis :

1. Ambil sampel sebanyak 10 mL dan aquadest (sebagai blanko) sebanyak 10 mL.
2. Tambahkan 0,5 mL larutan Ammonium Molibdate
3. Tambahkan 1 tetes larutan klorid timah
4. Aduk dan biarkan selama 10 hingga 12 menit
5. Tuang larutan ke dalam kuvet
6. Baca pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 700 nm.
7. Konversi hasil bacaan pada spektrofotometer dengan kurva kalibrasi



Gambar LA.1 Kurva Kalibrasi Analisis Fosfat

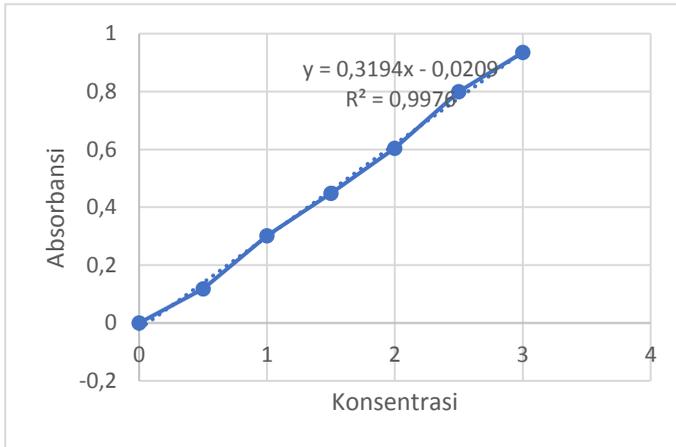
b. Analisis Ammonium dengan Metode Nessler

Bahan dan Alat :

- Larutan Nessler
- Larutan Garam Signet
- Spektrofotometer dengan panjang gelombang 390 nm dan kuvet
- Labu erlenmeyer 10 MI
- Pipet ukur 10 mL

Prosedur analisis :

1. Ambil sampel sebanyak 10 mL dan aquadest (sebagai blanko) sebanyak 10 mL.
2. Tambahkan 0,5 mL larutan Nessler
3. Tambahkan 0,6 mL larutan garam signet
4. Aduk dan biarkan selama 10 menit
5. Tuang larutan ke dalam kuvet
6. Baca pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 390 nm.
7. Konversi hasil bacaan pada spektrofotometer dengan kurva kalibrasi.



Gambar LA.2 Kurva Kalibrasi Analisis Ammonium

c. Analisis pH

Bahan dan alat :

- pH meter
- Aquadest
- Larutan KCl

Prosedur Percobaan :

1. Nyalakan pH meter
2. Ambil sampel secukupnya (kira – kira probes terendam sampel)
3. Celupkan silinder pH meter ke dalam sampel
4. Tunggu hingga angka pembacaan pH meter stabil
5. Bilas probes dengan aquadest setiap selesai penggunaan dan rendam dalam larutan KCl

d. Analisis Fluor

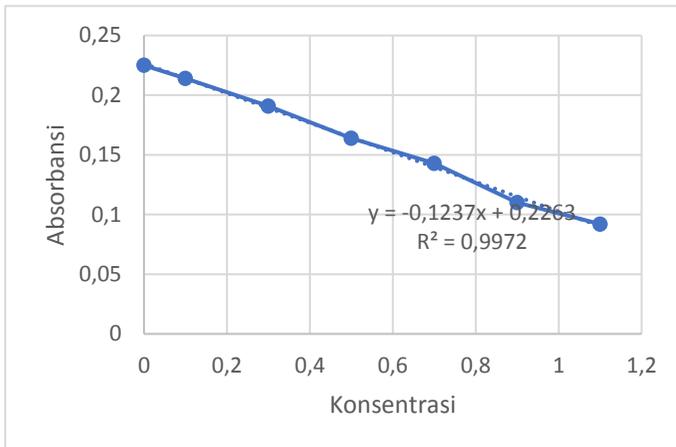
Bahan dan alat :

- Larutan asam zirconyl – SPADNS
- Larutan Reference Solution
- Spektrofotometer dengan panjang gelombang 590 nm dan kuvet
- Labu erlenmeyer 10 mL

- Pipet ukur 10 mL

Prosedur Percobaan :

1. Ambil sampel sebanyak 10 mL
2. Tambahkan 2 mL larutan asam zirconyl – SPADNS
3. Tuang larutan ke dalam kuvet
4. Baca pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 590 nm. Gunakan reference solution sebagai blanko
5. Konversi hasil bacaan pada spektrofotometer dengan kurva kalibrasi.



Gambar LA. 3 Kurva Kalibrasi Analisis Fluor

e. Analisis TDS

Bahan dan alat :

- Handy Lab LF11
- Aquades

Prosedur Percobaan :

1. Nyalakan Handy Lab LF11
2. Ambil sampel secukupnya (kira – kira probes terendam sampel)
3. Celupkan silinder Handy Lab LF11 ke dalam sampel
4. Tekan tombol “read”

5. Tunggu hingga angka pembacaan pH meter stabil
6. Bilas probes dengan aquadest setiap selesai penggunaan

“halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN B. DATA HASIL ANALISIS

Tabel LB.1 Hasil Analisis Parameter Fosfat Proses Elektrodialisis pada Variasi pH Feed 5

Menit Ke-	Q	PO ₄ ³⁻				
		K1 (Anoda)	K2 (Produk)	K3 (Feed)	K4 (Produk)	K5 (Katoda)
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
0,05 A						
0	0	0	0	11374	0	4876
60	0,05	0	30	11056	70	4777
120	0,10	0	179	10241	78	4498
180	0,16	0	408	10101	129	4200
240	0,21	0	394	9803	145	4264
300	0,27	0	503	9366	171	4037
360	0,33	0	535	9445	207	3667
0,1 A						
0	0	0	0	9589	0	4606
60	0,10	0	356	8829	20	3260
120	0,21	0	157	9047	40	2524

Menit Ke-	Q	PO ₄ ³⁻				
		K1 (Anoda)	K2 (Produk)	K3 (Feed)	K4 (Produk)	K5 (Katoda)
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
180	0,31	0	754	9465	418	3319
240	0,43	0	376	8848	259	3160
300	0,54	0	515	8888	517	2723
360	0,66	0	774	8610	557	2444
0,15 A						
0	0	0	0	4821	0	2721
60	0,15	0	29	4578	54	2699
120	0,31	0	204	4733	93	2540
180	0,47	0	389	4610	117	2532
240	0,64	0	698	4339	167	2422
300	0,81	0	857	4284	227	2293
360	0,99	0	1149	4065	348	2229

Tabel LB.2 Hasil Analisis Parameter Ammonium Proses Elektrodialisis pada Variasi pH Feed 5

Menit Ke-	Q	NH ₄ ⁺				
		K1 (Anoda)	K2 (Produk)	K3 (Feed)	K4 (Produk)	K5 (Katoda)
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
0,05 A						
0	0	3077	0	3713	0	0
60	0,05	2616	329	3595	200	0
120	0,10	2183	621	3501	247	0
180	0,16	2070	802	3289	418	0
240	0,21	2065	805	3242	432	0
300	0,27	2037	845	3078	684	0
360	0,33	2018	856	2960	764	0
0,1 A						
0	0	4585	0	4601	0	0
60	0,10	6113	83	6419	122	0
120	0,21	5289	488	6772	110	0
180	0,31	5078	478	3525	258	0
240	0,43	4348	250	2772	235	0

Menit Ke-	Q	NH ₄ ⁺				
		K1 (Anoda)	K2 (Produk)	K3 (Feed)	K4 (Produk)	K5 (Katoda)
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
300	0,54	4584	476	2889	268	0
360	0,66	3619	521	2325	388	0
0,15 A						
0	0	1981	0	2968	0	0
60	0,15	1894	212	2672	85	0
120	0,31	1858	238	2611	341	0
180	0,47	1844	245	2611	386	0
240	0,64	1731	306	2465	501	0
300	0,81	1675	361	2465	539	0
360	0,99	1665	376	2074	732	0

Tabel LB. 3 Hasil Analisis Parameter *Fluor* Proses Elektrodialisis pada Variasi pH *Feed* 5

Menit Ke-	Q	F ⁻				
		K1 (Anoda)	K2 (Produk)	K3 (Feed)	K4 (Produk)	K5 (Katoda)
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
0,05 A						
0	0	0	0	1997	0	1618
60	0,05	0	144	1850	137	1552
120	0,10	0	196	1739	244	1441
180	0,16	0	325	1481	325	1486
240	0,21	0	332	1702	509	1331
300	0,27	0	347	1371	605	1287
360	0,33	0	373	1334	671	1242
0,1 A						
0	0	0	0	1515	0	1823
60	0,10	0	810	591	293	1842
120	0,21	0	1947	1229	394	1790
180	0,31	0	962	644	1081	1489
240	0,43	0	982	320	1097	1128

Menit Ke-	Q	F ⁻				
		K1 (Anoda)	K2 (Produk)	K3 (Feed)	K4 (Produk)	K5 (Katoda)
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
300	0,54	0	1275	521	1214	249
360	0,66	0	1187	344	1326	810
0,15 A						
0	0	0	0	8371	0	2476
60	0,15	0	15	8003	147	2108
120	0,31	0	18	7192	468	1997
180	0,47	0	48	6971	612	1739
240	0,64	0	122	6898	777	1629
300	0,81	0	133	6566	789	1592
360	0,99	0	111	5829	822	1408

Tabel LB.4 Hasil Analisis Parameter Fosfat Proses Elektrodialisis pada Variasi pH Feed 7

Menit Ke-	Q	PO ₄ ³⁻				
		K1 (Anoda)	K2 (Produk)	K3 (Feed)	K4 (Produk)	K5 (Katoda)
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
0,05 A						
0	0	0	0	9465	0	4757
60	0,05	0	89	9385	8	4741
120	0,10	0	249	9266	22	4721
180	0,16	0	320	9047	46	4681
240	0,21	0	416	8590	95	4415
300	0,27	0	555	8510	113	4411
360	0,33	0	646	8789	131	4081
0,1 A						
0	0	K1	K2	K3	K4	K5
60	0,10	0	0	10221	0	3419
120	0,21	0	336	9584	80	3220
180	0,31	0	495	9564	99	3180
240	0,43	0	634	9604	159	3260

Menit Ke-	Q	PO ₄ ³⁻				
		K1 (Anoda)	K2 (Produk)	K3 (Feed)	K4 (Produk)	K5 (Katoda)
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
300	0,54	0	291	9783	58	3194
360	0,66	0	314	8948	97	3090
0,15 A						
0	0	0	0	5588	0	3015
60	0,15	0	50	5553	78	2941
120	0,31	0	288	5322	117	2921
180	0,47	0	505	5191	346	2842
240	0,64	0	690	5063	388	2764
300	0,81	0	1052	4837	409	2723
360	0,99	0	1251	4733	430	2719

Tabel LB. 5 Hasil Analisis Parameter *Ammonium* Proses Elektrodialisis pada Variasi pH Feed 7

Menit Ke-	Q	NH ₄ ⁺				
		K1 (Anoda)	K2 (Produk)	K3 (Feed)	K4 (Produk)	K5 (Katoda)
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
0,05 A						
0	0	3063	0	3995	0	0
60	0,05	3039	78	3878	99	0
120	0,10	3048	176	3901	214	0
180	0,16	3011	287	3784	367	0
240	0,21	2936	294	3666	440	0
300	0,27	2917	323	3548	504	0
360	0,33	2837	373	3384	734	0
0,1 A						
0	0	3266	0	3219	0	0
60	0,10	2984	12	3148	117	0
120	0,21	2372	38	2936	120	0
180	0,31	2301	45	2725	122	0
240	0,43	1100	16	2584	166	0

Menit Ke-	Q	NH ₄ ⁺				
		K1 (Anoda)	K2 (Produk)	K3 (Feed)	K4 (Produk)	K5 (Katoda)
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
300	0,54	879	19	1242	169	0
360	0,66	761	87	1995	174	0
0,15 A						
0	0	2155	0	4032	0	0
60	0,15	2068	104	3034	66	0
120	0,31	2110	184	2936	249	0
180	0,47	1995	353	2804	193	0
240	0,64	1957	355	2776	336	0
300	0,81	1861	374	2620	334	0
360	0,99	1771	452	2568	332	0

Tabel LB. 6 Hasil Analisis Parameter *Fluor* Hasil Proses Elektrodialisis pada Variasi pH *Feed* 7

Menit Ke-	Q	F ⁻				
		K1 (Anoda)	K2 (Produk)	K3 (Feed)	K4 (Produk)	K5 (Katoda)
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
0,05 A						
0	0	0	0	3434	0	2348
60	0,05	0	41	2329	38	2237
120	0,10	0	74	2144	377	2215
180	0,16	0	89	2071	620	2149
240	0,21	0	144	1592	841	1795
300	0,27	0	262	1629	786	1552
360	0,33	0	318	1150	800	1486
0,1 A						
0	0	0	0	1260	0	1640
60	0,10	0	44	965	302	1375
120	0,21	0	413	818	744	1265
180	0,31	0	597	892	486	1552
240	0,43	0	671	744	767	1335

Menit Ke-	Q	F ⁻				
		K1 (Anoda)	K2 (Produk)	K3 (Feed)	K4 (Produk)	K5 (Katoda)
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
300	0,54	0	744	634	800	1542
360	0,66	0	929	486	822	1232
0,15 A						
0	0	0	0	11135	0	2550
60	0,15	0	136	7708	228	2255
120	0,31	0	151	7634	608	1850
180	0,47	0	151	7561	733	1702
240	0,64	0	206	7229	862	1555
300	0,81	0	280	7045	862	1481
360	0,99	0	317	6713	866	1444

Tabel LB. 7 Hasil Analisis Parameter Fosfat Hasil Proses Elektrodialisis pada Variasi pH Feed 9

Menit Ke-	Q	PO ₄ ³⁻				
		K1 (Anoda)	K2 (Produk)	K3 (Feed)	K4 (Produk)	K5 (Katoda)
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
0,05 A						
0	0	0	0	8093	0	4502
60	0,05	0	54	8292	4	4121
120	0,10	0	97	8172	54	4140
180	0,16	0	177	7476	76	3230
240	0,21	0	253	8172	91	3544
300	0,27	0	328	8650	163	4013
360	0,33	0	453	7496	99	4622
0,1 A						
0	0	0	0	5891	0	3146
60	0,10	0	76	5489	10	3069
120	0,21	0	324	5461	44	3011
180	0,31	0	179	5131	58	2784
240	0,43	0	475	4840	103	2643

Menit Ke-	Q	PO ₄ ³⁻				
		K1 (Anoda)	K2 (Produk)	K3 (Feed)	K4 (Produk)	K5 (Katoda)
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
300	0,54	0	678	4801	189	2017
360	0,66	0	782	4200	211	1909
0,15 A						
0	0	0	0	11374	0	4876
60	0,15	0	117	11056	34	4777
120	0,31	0	370	10241	129	4498
180	0,47	0	527	10101	159	4200
240	0,64	0	760	9803	340	4264
300	0,81	0	1066	9366	507	4037
360	0,99	0	1478	9445	644	3667

Tabel LB. 8 Hasil Analisis Parameter *Ammonium* Hasil Proses Elektrodialisis pada Variasi pH 9

Menit Ke-	Q	NH ₄ ⁺				
		K1 (Anoda)	K2 (Produk)	K3 (Feed)	K4 (Produk)	K5 (Katoda)
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
0,05 A						
0	0	2940	0	3831	0	0
60	0,05	2917	14	3760	120	0
120	0,10	2870	134	3713	131	0
180	0,16	2799	414	3642	141	0
240	0,21	2808	466	3689	155	0
300	0,27	2540	506	3548	376	0
360	0,33	2517	522	3501	392	0
0,1 A						
0	0	2120	0	3161	0	0
60	0,10	2108	9	3237	40	0
120	0,21	2178	200	3194	172	0
180	0,31	1964	245	3034	268	0
240	0,43	1731	574	2968	374	0

Menit Ke-	Q	NH ₄ ⁺				
		K1 (Anoda)	K2 (Produk)	K3 (Feed)	K4 (Produk)	K5 (Katoda)
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
300	0,54	1487	589	2964	181	0
360	0,66	1510	627	2921	259	0
0,15 A						
0	0	3077	0	3713	0	0
60	0,15	2616	24	3595	96	0
120	0,31	2183	353	3501	125	0
180	0,47	2070	454	3289	162	0
240	0,64	2065	666	3242	247	0
300	0,81	2037	828	3078	292	0
360	0,99	2018	899	2960	388	0

Tabel LB. 9 Hasil Analisis Parameter *Fluor* Proses Elektrodialisis pada Variabel pH Feed 9

Menit Ke-	Q	F ⁻				
		K1 (Anoda)	K2 (Produk)	K3 (Feed)	K4 (Produk)	K5 (Katoda)
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
0,05 A						
0	0	0	0	2476	0	2392
60	0,05	0	41	1960	119	2215
120	0,10	0	49	1629	351	2060
180	0,16	0	89	1555	513	1707
240	0,21	0	115	1223	690	1552
300	0,27	0	130	818	837	1486
360	0,33	0	155	781	830	1464
0,1 A						
0	0	0	0	1997	0	2697
60	0,10	0	144	1850	137	2587
120	0,21	0	196	1739	244	2402
180	0,31	0	325	1481	325	2476
240	0,43	0	332	1702	509	2218

Menit Ke-	Q	F ⁻				
		K1 (Anoda)	K2 (Produk)	K3 (Feed)	K4 (Produk)	K5 (Katoda)
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
300	0,54	0	347	1371	605	2144
360	0,66	0	373	1334	671	2071
0,15 A						
0	0	0	0	8371	0	2476
60	0,15	0	15	8003	147	2108
120	0,31	0	18	7192	468	1997
180	0,47	0	48	6971	612	1739
240	0,64	0	122	6898	777	1629
300	0,81	0	133	6566	789	1592
360	0,99	0	111	5829	822	1408

Tabel LB.10 Hasil Analisis Parameter pH pada Variasi pH Feed 5

Menit Ke-	Q	PO ₄ ³⁻		
		K2 (Produk)	K3 (Feed)	K4 (Produk)
	Ah/L			
0,05 A				
0	0	10,90	5,00	7,20
60	0,05	10,70	4,80	4,00
120	0,10	10,50	4,80	4,10
180	0,16	10,40	4,80	4,10
240	0,21	10,30	4,90	4,00
300	0,27	10,20	5,00	4,00
360	0,33	10,00	4,90	4,00
0,1 A				
0	0	9,50	4,90	7,10
60	0,10	9,10	5,00	5,70
120	0,21	8,80	5,00	3,90
180	0,31	8,60	4,90	3,90
240	0,43	8,50	4,90	3,90

Menit Ke-	Q	PO ₄ ³⁻		
		K2 (Produk)	K3 (Feed)	K4 (Produk)
	Ah/L			
300	0,54	8,30	5,00	3,90
360	0,66	8,20	5,00	3,90
0,15 A				
0	0	11,04	5,00	7,30
60	0,15	10,60	5,07	4,90
120	0,31	10,59	5,04	4,46
180	0,47	10,49	5,08	4,59
240	0,64	10,30	5,09	4,81
300	0,81	10,11	5,14	4,80
360	0,99	9,97	5,07	4,90

Tabel LB.11 Hasil Analisis Parameter pH pada Variasi pH Feed 7

Menit Ke-	Q	PO ₄ ³⁻		
		K2 (Produk)	K3 (Feed)	K4 (Produk)
	Ah/L			
0,05 A				
0	0	10,80	7,00	7,30
60	0,05	10,80	7,20	4,10
120	0,10	10,80	7,20	4,20
180	0,16	10,60	7,20	4,20
240	0,21	10,60	7,10	4,10
300	0,27	10,10	7,00	3,70
360	0,33	10,00	7,00	3,80
0,1 A				
0	0	9,60	7,00	7,20
60	0,10	9,40	7,00	4,00
120	0,21	9,40	7,00	4,10
180	0,31	9,30	7,10	4,10
240	0,43	9,20	7,10	4,00

300	0,54	9,10	7,00	4,00
360	0,66	9,00	6,90	4,00
0,15 A				
0	0	10,96	7,00	6,71
60	0,15	10,80	6,96	4,04
120	0,31	10,71	6,92	3,90
180	0,47	10,63	6,90	3,97
240	0,64	10,58	6,99	4,28
300	0,81	10,49	6,97	4,40
360	0,99	10,37	6,91	4,53

Tabel LB.12 Hasil Analisis Parameter pH pada Variasi pH Feed 9

Menit Ke-	Q	PO ₄ ³⁻		
		K2 (Produk)	K3 (Feed)	K4 (Produk)
	Ah/L			
0,05 A				
0	0	10,90	9,00	8,10
60	0,05	10,80	9,00	5,70
120	0,10	10,70	9,00	4,10
180	0,16	10,60	8,90	3,80
240	0,21	10,50	8,80	3,90
300	0,27	10,20	8,70	4,00
360	0,33	10,10	8,70	4,00
0,1 A				
0	0	10,82	9,00	7,56
60	0,10	10,78	8,61	4,19
120	0,21	10,67	8,67	4,02
180	0,31	10,53	8,53	3,99
240	0,43	10,43	8,48	4,00

300	0,54	10,33	8,46	3,99
360	0,66	10,24	8,39	3,97
0,15 A				
0	0	10,81	9,07	7,23
60	0,15	10,74	8,98	3,92
120	0,31	10,53	8,92	3,89
180	0,47	10,48	8,86	3,97
240	0,64	10,34	8,76	4,02
300	0,81	10,28	8,67	4,16
360	0,99	10,15	8,64	4,26

Tabel LB.13 Hasil Analisis Parameter TDS pada Variasi pH Feed 5

Menit Ke-	Q	PO ₄ ³⁻		
		K2 (Produk)	K3 (Feed)	K4 (Produk)
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L
0,05 A				
0	0	336	7890	344
60	0,05	608	7760	607

Menit Ke-	Q	PO ₄ ³⁻		
		K2 (Produk)	K3 (Feed)	K4 (Produk)
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L
120	0,10	881	7610	945
180	0,16	1083	7610	1150
240	0,21	1225	7500	1317
300	0,27	1409	7400	1494
360	0,33	1580	7380	1625
0,1 A				
0	0	275	7900	262
60	0,10	590	7770	506
120	0,21	927	7690	856
180	0,31	1246	7590	1186
240	0,43	1543	7450	1509
300	0,54	1784	7260	1752
360	0,66	2060	7210	2050
0,15 A				

Menit Ke-	Q	PO ₄ ³⁻		
		K2 (Produk)	K3 (Feed)	K4 (Produk)
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L
0	0	292	6990	299
60	0,15	624	6770	622
120	0,31	970	6520	934
180	0,47	1345	6250	1301
240	0,64	1647	5140	1614
300	0,81	2040	5930	1954
360	0,99	2300	5740	2230

Tabel LB.14 Hasil Analisis Parameter TDS pada Variasi pH Feed 7

Menit Ke-	Q	PO ₄ ³⁻		
		K2 (Produk)	K3 (Feed)	K4 (Produk)
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L
0,05 A				
0	0	439	8950	379
60	0,05	555	8890	587

Menit Ke-	Q	PO ₄ ³⁻		
		K2 (Produk)	K3 (Feed)	K4 (Produk)
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L
120	0,10	799	8790	743
180	0,16	977	8760	903
240	0,21	1190	8700	1128
300	0,27	1343	8510	1281
360	0,33	1506	8510	1484
0,1 A				
0	0	343	9580	321
60	0,10	630	9450	602
120	0,21	898	9410	889
180	0,31	1097	9310	1088
240	0,43	1317	9030	1319
300	0,54	1536	9020	1524
360	0,66	1774	8990	1743
0,15 A				

Menit Ke-	Q	PO ₄ ³⁻		
		K2 (Produk)	K3 (Feed)	K4 (Produk)
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L
0	0	347	8490	285
60	0,15	495	8330	592
120	0,31	779	8060	911
180	0,47	1105	7910	1151
240	0,64	1429	7800	1627
300	0,81	1796	7430	2030
360	0,99	2070	7430	2340

Tabel LB.15 Hasil Analisis Parameter TDS pada Variasi pH Feed 9

Menit Ke-	Q	PO ₄ ³⁻		
		K2 (Produk)	K3 (Feed)	K4 (Produk)
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L
0,05 A				
0	0	287	8370	329
60	0,05	481	8280	526

Menit Ke-	Q	PO ₄ ³⁻		
		K2 (Produk)	K3 (Feed)	K4 (Produk)
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L
120	0,10	625	8250	702
180	0,16	768	8110	901
240	0,21	917	8080	1080
300	0,27	1051	8070	1252
360	0,33	1162	7830	1412
0,1 A				
0	0	313	9930	343
60	0,10	499	9840	587
120	0,21	770	9890	880
180	0,31	947	9680	1120
240	0,43	1160	9600	1372
300	0,54	1383	9530	1645
360	0,66	1558	9370	1887
0,15 A				

Menit Ke-	Q	PO ₄ ³⁻		
		K2 (Produk)	K3 (Feed)	K4 (Produk)
	Ah/L	mg/L	mg/L	mg/L
0	0	299	9740	302
60	0,15	598	9920	631
120	0,31	937	9660	1034
180	0,47	1258	9540	1435
240	0,64	1564	9290	1802
300	0,81	1854	9120	2180
360	0,99	2170	8900	2510

Tabel LB.16 Konsumsi Energi Spesifik *Recovery* Ion Fosfat di K3

Variasi	Tegangan Listrik (V)	Muatan Listrik Spesifik (Ah/L)	Konsumsi Energi Spesifik (Wh/L)	Massa Terecovery (gram/L)	Massa Terecovery / Konsumsi Energi (gram/Wh)
pH feed 5 ; Kuat Arus 0,05A	10,37	0,33	3,419	1,93	0,56
pH feed 7 ; Kuat Arus 0,05A	9,56	0,33	3,151	0,68	0,21
pH feed 9 ; Kuat Arus 0,05A	10,89	0,33	3,589	0,60	0,17
pH feed 5 ; Kuat Arus 0,1A	13,64	0,66	8,995	8,61	0,96
pH feed 7 ; Kuat Arus 0,1A	13,47	0,66	8,882	8,95	1,01
pH feed 9 ; Kuat Arus 0,1A	15,10	0,66	9,956	1,69	0,17
pH feed 9 ; Kuat Arus 0,15A	14,81	0,99	14,651	1,93	0,13

Tabel LB.17 Konsumsi Energi Spesifik *Recovery* Ion Ammonium di K3

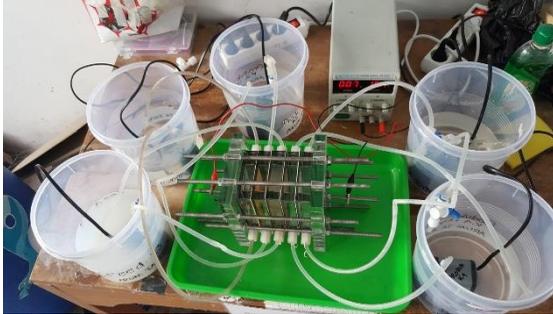
Variasi	Tegangan Listrik (V)	Muatan Listrik Spesifik (Ah/L)	Konsumsi Energi Spesifik (Wh/L)	Massa Terecovery (gram/L)	Massa Terecovery / Konsumsi Energi (gram/Wh)
pH feed 5 ; Kuat Arus 0,05A	10,37	0,33	3,419	0,75	0,22
pH feed 7 ; Kuat Arus 0,05A	9,56	0,33	3,151	0,61	0,19
pH feed 9 ; Kuat Arus 0,05A	10,89	0,33	3,589	0,33	0,09
pH feed 5 ; Kuat Arus 0,1A	13,64	0,66	8,995	2,32	0,26
pH feed 7 ; Kuat Arus 0,1A	13,47	0,66	8,882	2,00	0,22
pH feed 9 ; Kuat Arus 0,1A	15,10	0,66	9,956	0,24	0,02
pH feed 9 ; Kuat Arus 0,15A	14,81	0,99	14,651	0,75	0,05

Tabel LB.18 Konsumsi Energi Spesifik *Recovery* Ion Fluor di K3

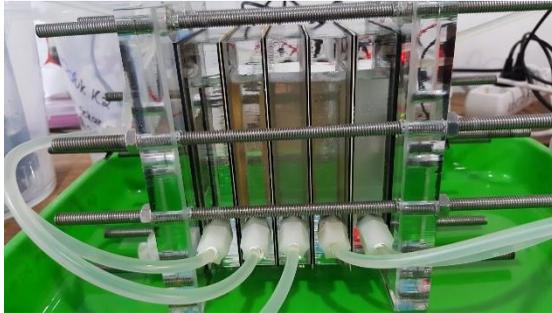
Variasi	Tegangan Listrik (V)	Muatan Listrik Spesifik (Ah/L)	Konsumsi Energi Spesifik (Wh/L)	Massa Tersisihkan (gram/L)	Massa Tersisihkan / Konsumsi Energi (gram/WH)
pH feed 5 ; Kuat Arus 0,05A	10,37	0,33	3,419	0,66	0,19
pH feed 7 ; Kuat Arus 0,05A	9,56	0,33	3,151	2,28	0,73
pH feed 9 ; Kuat Arus 0,05A	10,89	0,33	3,589	1,69	0,47
pH feed 5 ; Kuat Arus 0,1A	13,64	0,66	8,995	2,28	0,25
pH feed 7 ; Kuat Arus 0,1A	13,47	0,66	8,882	1,22	0,14

“halaman ini sengaja dikosongkan”

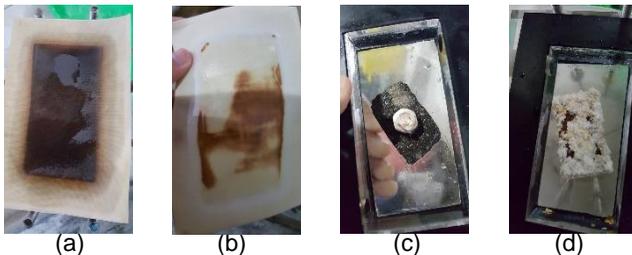
LAMPIRAN C. DOKUMENTASI PENELITIAN



Gambar LC.1 Reaktor Elektrodialisis Tampak Atas



Gambar LC.2 Reaktor Elektrodialisis Tampak Depan



Gambar LC.3 (a) Kondisi Membran pada K1 (b) Kondisi Membran pada K5 (c) Kondisi Perak setelah *running* (d) Kondisi *Stainless steel* setelah *running*



(a)



(b)

Gambar LC.4 (a) Air Limbah K2 dan K4 (b) Penimbangan Massa TSS pada Kompartemen K2 dan K4



(a)



(b)

Gambar LC.5 (a) Analisis Laboratorium (b) Quick Test

BIOGRAFI PENULIS



Galuh Sekar Arum dilahirkan di Balikpapan, Kalimantan Timur pada tanggal 14 Juli 1996. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDL YBBSU Balikpapan, SMPN 1 Balikpapan, dan SMAN 1 Balikpapan. Pada tahun 2014, penulis melanjutkan kuliah di Departemen Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Penulis pernah aktif sebagai anggota

Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) pada tahun 2015 – 2016 sebagai anggota Departemen Riset dan Teknologi. Penulis juga pernah aktif di organisasi tingkat kampus sebagai anggota ITS Model United Nations (MUN) Club pada tahun 2015 dan sebagai sekretaris jenderal ITS MUN Club pada tahun 2016. Penulis pernah menjadi asisten Laboratorium Teknik Analisis Pencemaran Lingkungan pada tahun 2016. Selain mengikuti organisasi dan kegiatan dalam kampus, penulis juga pernah mengikuti beberapa perlombaan yang diselenggarakan di tingkat internasional yaitu pemenang *Social Venture Challenge* (SVC) di Harvard University pada tahun 2016 dan pemenang ISWA – SWIS Winter Essay Competition pada tahun 2017. Pada tahun 2017, penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT Pertamina RU V Balikpapan di bidang pengolahan limbah cair. Bagi pembaca yang memiliki saran dan kritik maka bisa menghubungi penulis melalui email gsarum14@gmail.com .



KTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)

Periode: Genap 2017/2018

No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal Kamis 03-Mei-18

Nilai TOEFL 553

Pukul : 09.00-10.00 WIB

Lokasi : TL-101

Judul Recovery Ion Ammonium dan Fosfat dari Air Limbah PT Petrokimia Gresik dengan Proses Elektrodialisis

Nama Galuh Sekar Arum

Tanda Tangan

NRP. : 03211440000063

Topik Penelitian

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Seminar Kemajuan Tugas Akhir
*	Pembahasan ditambah → format pentas ✓
*	Abstrak → update ✓
*	Poin 1 → lokasi / daerah?
*	Perbandingan NH ₄ : PO ₄ ? → rasio motor untuk pembuatan Stator ✓
*	Karakteristik awal → senyawa, pembahasannya → disampaikan di laporan
*	Perbandingan variasi utk masing-masing komparasi.
*	Fluktuasi limbah → Baku equalisasi ⇒ <u>pembahasan aplikasi.</u>

Ae

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana

Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing

Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir
2. Tidak dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Arseto Yekti Bagastyo ST., MT., M.Phil., Ph.D



UTA-S1-TL-02 TUGAS AKHIR
Periode: Ganjil 2017/2018

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal Selasa, 03-Jul-18 Nilai TOEFL 553
Pukul : 08.00 - 10.00 WIB
Lokasi : TL-104
Judul Recovery Ion Ammonium dan Fosfat dari Air Limbah PT Petrokimia Gresik dengan Proses Elektrodialisis

Nama Galuh Sekar Arum
NRP. : 0321144000063
Topik : Penelitian

Tanda Tangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir
1	Abstrak & abstract cek lagi
2	Kambar & Tabel diujik pada teks dilaporan.
3	massa recovery per massa awal influen (boleh % recovery)
4	massa vs. energi. sesuai hukum Faraday \rightarrow ICE
5	gambar diperbesar (diperjelas) \rightarrow tantana tentang fosfat
6	Berat ekuivalen \rightarrow Σ idus.
7	haya lirik.
8	Biaya dipertimbangkan kembali \rightarrow Hilangkan saja
9	Penulisan angka (versi Indonesia) \rightarrow keevali abstract
10	Bandingkan dgn. Struvite precipitation (saat msh. ada F)

Ab 23/7
18

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Lulus Ujian Tugas Akhir
2. harus mengulang Ujian Tugas Akhir semester berikutnya
3. Tugas Akhir dinyatakan gagal atau harus mengganti Tugas Akhir (lebih dari 2 semester)

Dosen Pembimbing

Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., MPhil, PhD



FORMULIR PERBAIKAN LAPORAN TUGAS AKHIR

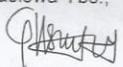
Nama : Galuh Sekar Arum
NRP : 0321144000003
Judul Tugas Akhir : Recovery Ion Ammonium dan Fosfat dari Air Limbah PT Petrokimia Gresik

No	Saran Perbaikan (sesuai Form UTA-02)	Tanggapan / Perbaikan (bila perlu, sebutkan halaman)
1.	Abstrak dan abstract cek lagi	Sudah dicek dan diperbaiki
2.	Gambar dan tabel dirujuk pada teks laporan	Sudah dirujuk ke laporan
3.	Massa recovery per massa awal influen (boleh % Recovery)	sudah diperbaiki
4.	Massa vs. energi sesuai hukum Faraday → ICE	sudah dihitung
5.	Gambar diperbesar → terutama tentang Fosfat	Gambar sudah diperbesar
6.	Berat ekuivalen → ϵ_{ion}	Sudah dihitung
7.	Harga listrik	sudah dihilangkan beserta perhitungan biaya
8.	Biaya dipertimbangkan kembali → hilangkan saja	sudah dihilangkan
9.	Penulisan angka versi Indonesia kecuali abstract	sudah diperbaiki
10.	bandingkan dengan struvite precipitation saat masih ada F (Kualitas & kuantitas struvite)	sudah ditambahkan

Dosen Pembimbing,

Mahasiswa Ybs.,


Arseto Yekti Bagasetyo, ST., MT.,
Mphil., Ph.D.


Galuh Sekar Arum



KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Galuh Gekar Arum
NRP : 03211440000063
Judul Tugas Akhir : Recovery Ion Ammonium dan Fosfat dari Air Limbah PT Petrokimia Gresik

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1.	20-02-2018	Jadwal pengerjaan tugas akhir Air limbah sebelum digunakan harus dicendapkan dan disaring dulu.	<u>Al</u>
2.	27-02-2018	Pengecekan reaktor : pemasangan, kelengkapan.	<u>Al</u>
3.	08-03-2018	Karakteristik awal air limbah Point L PT Petrokimia Gresik tidak sesuai dengan karakteristik pada umumnya karena sedang ada kunjungan pejabat. Maka harus sampling ulang.	<u>Al</u>
4.	23-03-2018	Karakteristik awal air limbah Point L PT Petrokimia Gresik sudah sesuai. Namun pH air limbah sangat asam (2,6) sehingga dicampur dengan sample sebelumnya. 80L air limbah baru + 20L air limbah sebelumnya. Pencampuran setelah disaring. Lakukan uji polarisasi.	<u>Al</u>
5.	28-03-2018	Hasil quick test dilaporkan besok. Quick test dengan mencoba anoda silver, katoda stainless steel vs. anoda stainless steel, katoda silver.	<u>Al</u>
6.	29-03-2018	Hasil quick test : diterapkan anoda silver dan katoda stainless steel.	<u>Al</u>
7.	30-03-2018	Hasil uji polarisasi = kuat arus tidak bertambah meskipun sudah diberi 9,0V. Kuat arus naik menjadi 0,02A setelah diberi 15V. Uji apabila sistem diberi 20V selama 2 menit, arus berapa? Uji apabila sistem diberi 30V selama 2 menit, arus berapa? Kompartemen dikurangi menjadi 5 kompartemen.	<u>Al</u>
8.	2-04-2018	Pesan silver kemurnian 100%. sebab pada K1 terbentuk $Cu(NO_3)_2$ Pada K2 diberi tambahan TDS 200 mg/L dengan NH_4OH K3 diberi tambahan TDS 200 mg/L dengan Na_2HPO_4 .	<u>Al</u>

Surabaya, 8 Juni 2018.....
Dosen Pembimbing

KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Galuh Sekar Arum
 NRP : 03211940000063
 Judul Tugas Akhir : Recovery Ion Ammonium dan Fosfat dari Air Limbah PT Petrokimia Gresik. 4*

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
9.	06-04-2018	Masih Running 1 dengan : Anoda : stainless steel Katoda : silver Terjadi keanehan, NH_4^+ pada K2 turun, harusnya naik PO_4^{3-} pada K3 naik, harusnya turun. Tetap dilanjutkan ke Running 2.	<i>Al</i>
10.	10-04-2018	Running selanjutnya menggunakan anoda silver, katoda stainless steel. Untuk potensi scaling, produk K2, K3, dan K4 pada variasi arus 0,15A di semua pH disaring lalu diuji TSS nya. Air limbah ammonium di K1 dinaikkan pH nya menjadi 12,5.	<i>Al</i>
11.	10-04-2018	Asistensi laporan kemajuan TA.	<i>Al</i>
12.	25-04-2018	Asistensi laporan kemajuan TA.	<i>Al</i>
13.	2-05-2018	Latihan presentasi, asistensi presentasi.	<i>Al</i>
14.	22-05-2018	Perbaikan laporan progress : 1) Update bab 1, 2, 3 2) Update gambar reaktor 3) Membuat skala prioritas dalam pemilihan kompartemen produk 4) Peta Point L.	<i>Al</i>
15.	30-05-2018	Estimasi prediksi fouling pada membran : 1) Waktu operasi jika $\%R$ 100% ? 2) TSS yg terbentuk setelah X jam ? Estimasi biaya penerapan ED skala lapangan.	<i>Al</i>
16.	05-06-2018	Mass balance K2, K3, dan K4. Pemilihan pH optimum dari TSS terendah.	<i>Al</i>

Surabaya,
 Dosen Pembimbing

Argeto Yekti Bagasyo, ST., MT., M.Phil.,
 Ph.D



KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Galuh sekar Arum
NRP : 0321144 0000063
Judul Tugas Akhir : Recovery Ion Ammonium dan Fosfat dari Air Limbah
 PT Petrokimia Gresik.

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
17.	06 - 06 - 2018	<p>- Asistensi abstrak :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Yg didapatkan bukan konsentrasi tapi massa ion. 2) Di abstrak tidak ada penjelasan 3) Abstrak harus langsung Fokus 4) Yg tinggi itu konsentrasi berapa, sebutkan. 5) Yg dikotak bisa jadi 1 kalimat. (diringkas) 6) Faktor yg mempengaruhi adalah —, —, —. 7) Reaktor elektrodialisis dgn bahan akrilik bukan reaktor akrilik. 8) Proses menghasilkan recovery 9) Di abstrak gak boleh ada alasan. <p>- Daftar pustaka 4.1, 3.1, - Untuk fluoride = setelah membahas recovery PO_4^{3-} bahas terhambat mobilitas PO_4^{3-} akibat perpindahan F^- - Kompetisi ion = PO_4^{3-} dan F^- mana yg lebih banyak % nya, misal 1gram PO_4^{3-} dapat 0,8 gr PO_4^{3-} massa 1 gr PO_4^{3-} 0,2 gr F^-</p> <p>buat siap untuk yg di Dibahas pada saat membahas kompartemen terpilih, kenapa running lain > 600 mg/L, karena berkompetisi dgn ion kalsium, atau karena pH.</p> <p>- Yg ditampilkan : 3 grafik → dibahas. (max) ammonium sendiri, fosfat sendiri.</p> <p>- Hindari pengulangan kalimat.</p> <p>- Langsung ke fokus pembahasan & lebih detail</p> <p>- Bab 3 jelaskan K1, K2, K3, K4, K5 isinya apa, dan sistem perpindahannya gimana (proses) Jadi di Bab 4 gausah dijelaskan lagi.</p> <p>- Pembahasan : pindahannya berapa, apa pengaruh Inya, PT nya pengaruhnya gimana. Tambah referensi: atau literatur yg mendukung, mobilitas, spesies ion.</p>	

- Kerapatan arus bukan rapat arus
- Konsisten desimal pakai . atau ,
 Ribuan pakai . atau, atau tidak.
- Recovery NH_4^+ dan PO_4^{3-} dalam gr

Surabaya, 8 Juni 2018
 Dosen Pembimbing

Arseto Uckh Bagastyo, ST., MT., M.Phil.,
 Ph.D.

