



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

33727/H/08



RSC
628.357
Ard
5-1
2008

TUGAS AKHIR - PL 1603

**STUDI PENURUNAN LOGAM BERAT TIMBAL (Pb^{2+})
DAN SENG (Zn^{2+}) DENGAN PENAMBAHAN $Ca(OH)_2$
[KALSIMUM HIDROKSIDA] DAN $CaCO_3$ [KALSIMUM
KARBONAT] PADA LIMBAH AKI BEKAS**

Okny Ardiani
NRP 3304 100 066

Dosen Pembimbing
Ipung Fitri Purwanti, ST. MT

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2008

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	7 - 8 - 2008
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	231664



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - PL 1603

**STUDY OF LEAD (Pb^{2+}) AND ZINK (Zn^{2+}) HEAVY
METAL PRESIPITATION USING CALSIUM
HYDROXIDE $Ca(OH)_2$ AND CALSIUM CARBONATE
 $CaCO_3$ AT EX ACCU WASTEWATER**

OKY ARDIANI
NRP 3304 100 066

Supervisor
Ipung Fitri Purwanti, ST. MT

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty Of Civil Engineering And Planning
Institute Of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2008

**STUDI PENURUNAN LOGAM BERAT TIMBAL
(Pb²⁺) DAN SENG (Zn²⁺) DENGAN PENAMBAHAN
Ca(OH)₂ [KALSIUM HIDROKSIDA]
DAN CaCO₃ [KALSIUM KARBONAT]
PADA LIMBAH AKI BEKAS**

Nama Mahasiswi : Oky Ardiani
NRP : 3304 100 066
Jurusan : Teknik Lingkungan FTSP-ITS
Dosen Pembimbing : Ipung Fitri Purwanti, ST.MT.

ABSTRAK

Salah satu sumber pencemaran timbal dan seng berasal dari pabrik aki yang ada di Kota Surabaya dengan konsentrasi Pb sebesar 87,94 mg/L dan Zn sebesar 63,06 mg/L. Pb dan Zn merupakan logam berat yang termasuk dalam golongan B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) jika kadar yang ada di perairan melebihi nilai ambang batas.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengurangan kadar logam timbal dan seng dengan penambahan larutan Ca(OH)₂ dan CaCO₃. Proses awal yang dilakukan adalah proses variasi penambahan larutan basa Ca(OH)₂ dan CaCO₃ pada sampel dengan variasi pH untuk Ca(OH)₂ 9; 9,5; 10; 10,5 dan 11 dan variasi dosis untuk CaCO₃ adalah 1 g/L; 2 g/L; 3g/L; 4 g/L dan 5g/L. Kemudian dilanjutkan dengan proses pengadukan cepat dengan variasi kecepatan 100 rpm dan 120 rpm selama 2 menit dan proses pengadukan lambat dengan kecepatan 30 rpm selama 10 menit. Selanjutnya dianalisis dengan AAS untuk mengetahui kandungan Pb dan Zn terlarut. Analisis COD dilakukan untuk mengetahui peran COD dalam pengendapan.

Hasil yang didapat adalah pengendapan Ca(OH)₂ terjadi pada pH 10,5 dengan efisiensi penyisihan Pb²⁺ 99,50%, dan Zn²⁺ dengan pH 10,5 sebesar 99,99%. Pengendapan CaCO₃ terjadi pada dosis 2 g/L dengan efisiensi penyisihan Pb²⁺ 24,31% dan efisiensi penyisihan Zn²⁺ pada dosis 4 g/L sebesar 28,12%. Penyisihan terbesar terjadi pada kecepatan 120 RPM. Pada proses pengendapan hidroksida, penyisihan zat organik yang ditunjukkan dari nilai maksimum COD sebesar 52,94% dapat mempertinggi persentase penyisihan logam berat. Namun pada proses pengendapan karbonat, penyisihan zat organik tidak dapat terjadi.

Kata kunci : Pb, Zn, Presipitasi, Ca(OH)₂ dan CaCO₃

STUDY OF LEAD (Pb^{2+}) AND ZINC (Zn^{2+}) HEAVY METAL PRECIPITATION USING CALCIUM HYDROXYDE $Ca(OH)_2$ AND CALCIUM CARBONAT $CaCO_3$ AT EX ACCU WASTEWATER

Student : Oky Ardiani
NRP : 3304 100 066
Department : Environmental Engineering FTSP-ITS
Supervisor : Ipung Fitri Purwanti, ST.MT.

ABSTRACT

One of the lead and zinc pollution source comes from ex accu factory in Surabaya city there heavy metals are very toxic, particularly if its concentration in water exceeds the threshold value. It is, therefore, the research was aimed.

The method was initiated by determination of lead and zinc concentration from the source. During the first experiment, the variation of $Ca(OH)_2$ and $CaCO_3$ addition into the sample was conducted at different pH value, ranging from 9,; 9,5; 10; 10,5 and 11 and $CaCO_3$ concentration of 1 g/L; 2 g/L; 3g/L; 4 g/L and 5 g/L. The next step was the flash mixing process with speed varies from 100 RPM and 120 RPM for 2 minutes and slow mixing process with 30 RPM for 10 minutes. The process was continued by using AAS and also COD analysis to investigate its role during the precipitation.

The precipitation result of $Ca(OH)_2$ occurred in the pH of 10,5 with the Pb^{2+} removal efficiency of 99,5% and Zn^{2+} 99,99%. The $CaCO_3$ precipitation took place in the dose of 2 g/L with the removal of Pb^{2+} 24,31% and Zn^{2+} on dose of 4g/L reach 28,12%. The maximum removal occurred in the mixing of 120 RPM. In hydroxide precipitation, the removal of organic material with efficiency up to 52,94% COD could contribute to the heavy metal removal. However, it was not the case during the carbonate precipitation.

Key words : Pb, Zn, Precipitation, $Ca(OH)_2$ and $CaCO_3$,

**STUDI PENURUNAN LOGAM BERAT TIMBAL (Pb^{2+})
DAN SENG (Zn^{2+}) DENGAN PENAMBAHAN $Ca(OH)_2$
[KALSIUM HIDROKSIDA] DAN $CaCO_3$ [KALSIUM
KARBONAT] PADA LIMBAH AKI BEKAS**

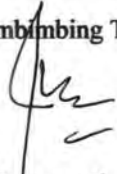
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

OKY ARDIANI
NRP. 3304 100 066

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Ipung Fitri Purwanti, ST. MT
NIP. 132 306 292



**SURABAYA
AGUSTUS, 2008**

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur atas segenap rahmat dan hidayah yang senantiasa diberikan oleh Allah SWT, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan laporan Tugas Akhir yang berjudul "Studi Penurunan Logam Berat Timbal (Pb^{2+}) dan Seng (Zn^{2+}) Dengan Penambahan $Ca(OH)_2$ [Kalsium Hidroksida] Dan $CaCO_3$ [Kalsium Karbonat] Pada Limbah Aki Bekas".

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi terhadap Tugas Akhir ini, diantaranya:

1. Ibu Ipung Fitri Puwanti, ST. MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan selama proses pengerjaan.
2. Ibu Prof. Ir. Dr. Yulinah T., MappSc. Ibu Harmin Sulisyning Titah, ST. MT, Bapak Ir. Hariwiko I., MEng dan Bapak Prof. Ir. H. Joni Hermana, MscES, PhD selaku dosen penguji atas saran yang telah diberikan.
3. Laboratorium PU Waru dan segenap rekan-rekan yang telah banyak membantu, terutama mas Wahyu.
4. Seluruh laboran dan karyawan Jurusan Teknik Lingkungan.
5. Keluarga yang telah memberikan semangat hingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan
6. Teman-teman yang telah memberikan semangat dan bantuan selama Tugas Akhir ini, mas Iman, Vita, Hanina, Tia, Ami, Ayu, Mona, Didi, Meme, eScE, Dian, Asrofi, Andri, Indra dan semua teman-teman yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Teima kasih dan semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat.

Surabaya, Juli 2008

Penyusun

DAFTAR ISI

Abstrak.....	i
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi.....	v
Daftar Gambar.....	viii
Daftar Tabel	x
Daftar Lampiran.....	xii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Dasar Pencemaran Air.....	5
2.1.1 Indikator Pencemaran Air.....	5
2.1.2 Komponen Pencemaran Air	6
2.2 Pengertian Dasar Limbah	6
2.3 Logam Berat.....	7
2.3.1 Sifat Toksisitas Logam Berat Di Lingkungan Perairan.....	8
2.3.2 Logam Berat Pb (Timbal).....	10
2.3.3 Logam Berat Zn (Seng).....	11
2.4 Pentingnya Pengolahan Limbah Pada Suatu Industri.....	12
2.5 Pengendapan (Presipitasi).....	13
2.5.1 Umum	13
2.5.2 Pengendapan Logam Berat.....	14
2.5.2.1 Pengendapan Logam Dengan Mengguna- kan Pengendapan Hidroksida	17
2.5.2.2 Pengendapan Logam Dengan Mengguna- kan Pengendapan Karbonat	20

2.6	Pproses Pengolahan Logam Berat	20
2.7	Koagulasi dan Flokulasi	
2.7.1	Koagulasi Partikel Koloid	21
2.7.2	Faktor Yang Mempengaruhi Koagulasi	21
2.8	Kelarutan	24
2.8.1	Kelarutan Senyawa	24
2.8.2	Kelarutan Logam Berat	25
2.9	Industri Aki.....	
2.9.1	Uraian Proses Industri	25
2.9.2	Limbah Yang Dihasilkan.....	26
2.10	Spektrofotometri Serapan Atom.....	27

BAB III METODE DAN BAHAN PENELITIAN

3.1	Umum.....	31
3.2	Variabel Penelitian	31
3.3	Kerangka Penelitian.....	32
3.4	Tempat dan Waktu Penelitian.....	33
3.5	Tahapan Penelitian.....	33
3.5.1	Ide Tugas Akhir.....	33
3.5.2	Studi Literatur.....	36
3.5.3	Persiapan Peralatan.....	36
3.5.4	Persiapan Bahan	38
3.5.5	Penelitian	39
3.5.6	Desain Proses Pengendapan	39
3.5.6.1	Operasional Secara Batch.....	39
3.5.6.2	Pemilihan Presipitan.....	40
3.5.6.3	pH	41
3.5.6.4	Jar Tes.....	41
3.5.7	Pelaksanaan Penelitian	42
3.5.8	Analisis AAS	45
3.5.9	Analisis Alkalinitas	45
3.5.10	Analisis COD.....	46
3.5.11	Analisis dan Pembahasan	46

3.5.12 Kesimpulan dan Saran	46
3.6 Penelitian Awal	46
3.6.1 Uji Konsentrasi Pb dan Zn Awal Limbah	46
3.6.2 Perhitungan Matematis Kebutuhan Dosis $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Untuk Menaikkan pH	47

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Limbah Cair Pabrik Aki Bekas	51
4.2 Analisis Pengendapan $\text{Ca}(\text{OH})_2$	52
4.2.1 Penyimpangan Penambahan Dosis $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Secara Matematis dan Aktual	52
4.2.2 Uji pH Awal dan pH Akhir Serta Analisis Fisik Selama Proses Pengendapan	54
4.2.3 Pengaruh pH Terhadap Penyisihan Logam	58
4.2.4 Analisis COD Pada Limbah	68
4.2.5 Pengaruh Penambahan $\text{Ca}(\text{OH})_2$	73
4.3 Analisis Pengendapan CaCO_3	75
4.3.1 Penelitian Awal	75
4.3.2 Pengaruh Dosis Presipitan CaCO_3 Terhadap pH Limbah	76
4.3.3 Penyisihan Logam Berat Pada Limbah	78
4.3.4 Analisis Pengaruh Kecepatan Terhadap Persentase Penyisihan Yang Dihasilkan	82
4.3.5 Analisis COD Pada Limbah	85
4.3.6 Pengendapan CaCO_3	89
4.4. Penerapan Di Lapangan	90

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	93
5.2 Saran	94
Daftar Pustaka	95
Lampiran	99

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pengaruh pH Terhadap Kelarutan Hirdroksida Logam	18
Gambar 2.2	Skema Daur Ulang Aki dan Cemarannya	28
Gambar 3.1	Kerangka Metodooogi Penelitian.....	34
Gambar 3.2	Bagan Alir Metodologi Penelitian Penyisihan Logam Berat Pb dan Zn Pada Limbah Buatan Dengan Pengendapan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan CaCO_3	35
Gambar 3.3	Sketsa Jar Tes.....	42
Gambar 4.1	Pengaruh Alkalinitas pH Limbah Pada Kecepatan 100 RPM.....	55
Gambar 4.2	Grafik Pengaruh Alkalinitas pH Limbah Pada Kecepatan 120 RPM.....	56
Gambar 4.3	Pengaruh pH Terhadap Persentase Penyisihan Logam Berat Pb Pada Kecepatan 100 RPM	59
Gambar 4.4	Pengaruh pH Terhadap Persentase Penyisihan Logam Berat Pb Pada Kecepatan 120 RPM	61
Gambar 4.5	Pengaruh pH Terhadap Persentase Penyisihan Logam Berat Zn Pada Kecepatan 100 RPM	62
Gambar 4.6	Pengaruh pH Terhadap Persentase Penyisihan Logam Berat Zn Pada Kecepatan 120 RPM	64
Gambar 4.7	Pengaruh Persentase Penyisihan Terhadap COD Limbah Asli Pada Kecepatan 100 RPM ...	69
Gambar 4.8	Pengaruh Persentase Penyisihan Terhadap COD Limbah Asli Pada Kecepatan 120 RPM ..	70
Gambar 4.9	Pengaruh Persentase Penyisihan Terhadap COD Limbah Buatan Pada Kecepatan 100 RPM	72
Gambar 4.10	Pengaruh Persentase Penyisihan Terhadap COD Limbah Buatan Pada Kecepatan 120 RPM	73
Gambar 4.11	Pengaruh Dosis CaCO_3 Terhadap Persentase Penyisihan Logam Berat Pb Pada Kecepatan	

	100 RPM	80
Gambar 4.12	Pengaruh Dosis CaCO_3 Terhadap Persentase Penyisihan Logam Berat Pb Pada Kecepatan 120 RPM	81
Gambar 4.13	Pengaruh Dosis CaCO_3 Terhadap Persentase Penyisihan Logam Berat Zn Pada Kecepatan 100 RPM	82
Gambar 4.14	Pengaruh Dosis CaCO_3 Terhadap Persentase Penyisihan Logam Berat Zn Pada Kecepatan 120 RPM	84
Gambar 4.15	Pengaruh Persentase Penyisihan Terhadap COD Limbah Asli Pada Kecepatan 100 RPM ...	85
Gambar 4.16	Pengaruh Persentase Penyisihan Terhadap COD Limbah Asli Pada Kecepatan 120 RPM ...	86
Gambar 4.17	Pengaruh Persentase Penyisihan Terhadap COD Limbah Buatan Pada Kecepatan 100 RPM	87
Gambar 4.18	Pengaruh Persentase Penyisihan Terhadap COD Limbah Buatan Pada Kecepatan 120 RPM	88
Gambar B.1	Kurva kalibrasi Timbal	100
Gambar B.2	Kurva Kalibrasi Seng	101

DAFTAR TABEL

Tabel	2.1	Contoh Reaksi Hdroksida dan Sulfida	15
Tabel	2.2	Beberapa Contoh Tipikal Pengendapan Dalam Hubungannya Dengan pH.....	15
Tabel	2.3	Kisaran Konsentrasi Untuk AAS	29
Tabel	3.1	Hasil Perhitungan Penambahan Dosis $\text{Ca}(\text{OH})_2$	49
Tabel	4.1	Karakteristik Limbah Pabrik Aki Bekas Kota X Untuk Bulan April 208	51
Tabel	4.2	Karakteristik Limbah Buatan	51
Tabel	4.3	Persentase Besar Penyimpangan Penambahan Presipitan Pada Limbah Asli.....	52
Tabel	4.4	Persentase Besar Penyimpangan Penambahan Presipitan Pada Limbah Buatan	53
Tabel	4.5	Hasil Pengamatan Terhadap pH Awal, pH Akhir dan Analisis Fisik Limbah Asli	54
Tabel	4.6	Hasil Pengamatan Terhadap pH Awal, pH Akhir dan Analisis Fisik Limbah Buatan.....	55
Tabel	4.7	Konsentrasi Akhir dan Persentase Penyi- sihan Logam Berat Pb Pada Kecepatan 100 RPM	59
Tabel	4.8	Konsentrasi Akhir dan Persentase Penyi- sihan Logam Berat Pb Pada Kecepatan 120 RPM	60
Tabel	4.9	Konsentrasi Akhir dan Persentase Penyi- sihan Logam Berat Zn Pada Kecepatan 100 RPM	62
Tabel	4.10	Konsentrasi Akhir dan Persentase Penyi- sihan Logam Berat Zn Pada Kecepatan 120 RPM	63
Tabel	4.11	Persentase Penyisihan Terbesar Pb dan Zn	65
Tabel	4.12	Analisis pH, Warna dan Endapan Secara Visual Pada Limbah Asli	77

Tabel	4.13	Analisis pH, Warna dan Endapan Secara Visual Pada Limbah Buatan.....	78
Tabel	4.14	Konsentrasi Akhir dan Persentase Penyisihan Logam Berat Pb Pada Kecepatan 100 RPM Dengan CaCO_3	79
Tabel	4.15	Konsentrasi Akhir dan Persentase Penyisihan Logam Berat Pb Pada Kecepatan 120 RPM Dengan CaCO_3	80
Tabel	4.16	Konsentrasi Akhir dan Persentase Penyisihan Logam Berat Zn Pada Kecepatan 100 RPM Dengan CaCO_3	82
Tabel	4.17	Konsentrasi Akhir dan Persentase Penyisihan Logam Berat Zn Pada Kecepatan 120 RPM Dengan CaCO_3	83
Tabel	B.1	Kalibrasi Timbal.....	106
Tabel	B.2	Kalibrasi Seng.....	107
Tabel	C.1	Konsentrasi Terlarut Pb.....	109
Tabel	C.2	Konsentrasi Terlarut Zn.....	111
Tabel	C.3	Konsentrasi Terlarut Pb Untuk CaCO_3	112
Tabel	C.4	Konsentrasi Terlarut Zn Untuk CaCO_3	113
Tabel	C.4	Hasil Analisa COD.....	114
Tabel	C.5	Perhitungan Ksp Pengendapan Timbal.....	117
Tabel	C.6	Perhitungan Ksp Pengendapan Seng.....	120

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A

A.1. Analisis pH meter dan standarisasi	99
A.2. Analisis alkalinitas	99
A.3. Analisis COD	100
A.4. Analisis AAS.....	101
A.4.1. Analisis logam timbal (Pb)	101
A.4.2. Analisis logam seng (Zn)	102
A.5. Prosedur Pembuatan Limbah Buatan	103

LAMPIRAN B	105
-------------------------	------------

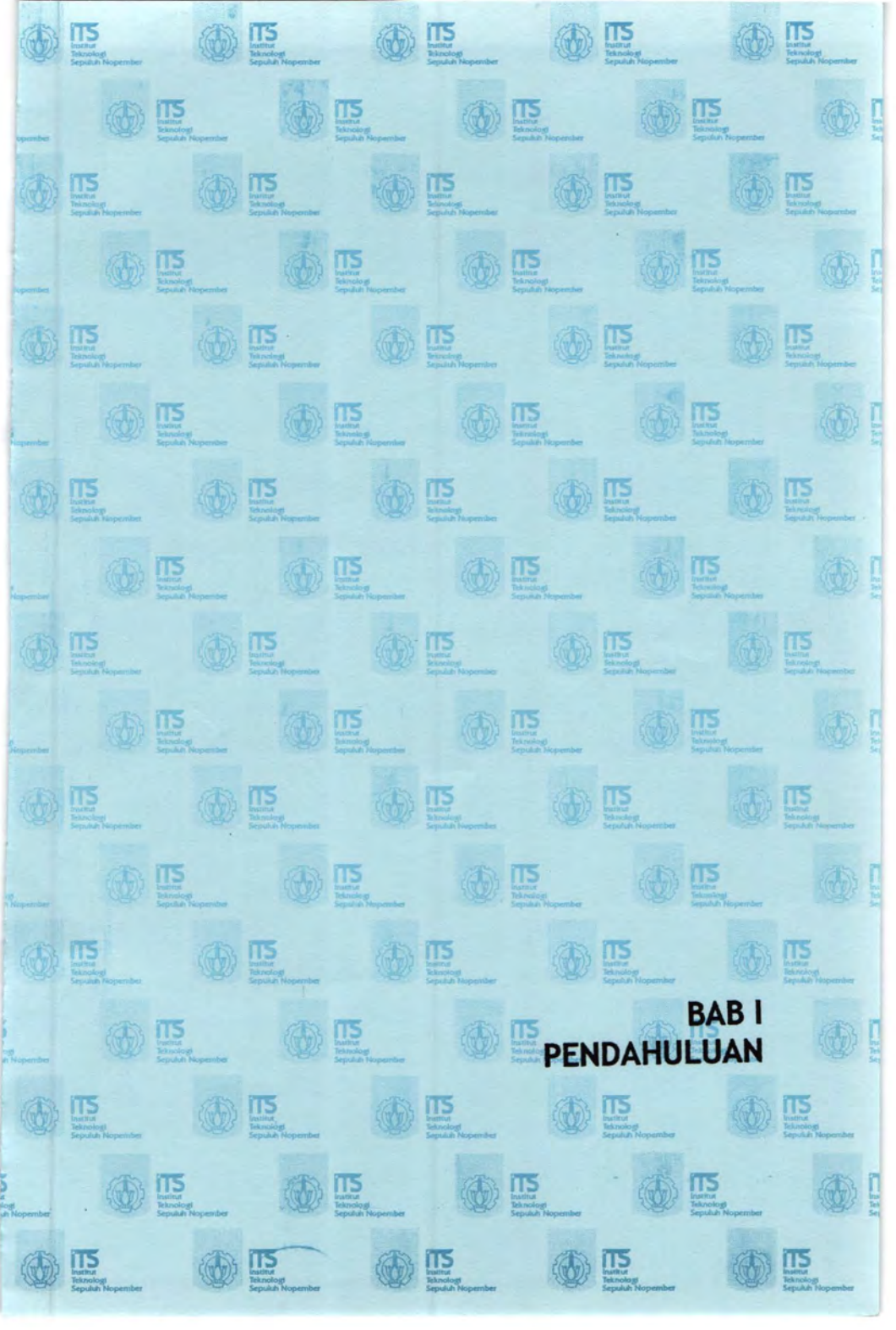
LAMPIRAN C

C.1. Hasil Spektrofotometri Serapan Atom	109
C.2. Hasil Analisis COD (<i>Chemical Oxidation Demand</i>)	114
C.3. Hasil Perhitungan Matematis Untuk Ksp.....	116

LAMPIRAN D

D.1. Gambar Timbangan Analitik.....	125
D.2. Gambar pH meter.....	125
D.3. Gambar Spatula.....	125
D.4. Gambar Propipet-Pipet Volumetrik-Pipet Tetes	125
D.5. Gambar Buret.....	125
D.6. Gambar Erlenmeyer	125
D.7. Gambar Alat Jar Tes.....	126
D.8. Gambar Vacuum Filter.....	126
D.9. Gambar Kertas Saring.....	126
D.10. Gambar Beaker Glass.....	126
D.11. Gambar Labu Ukur	126
D.12. Gambar Tabung.....	126
D.13. Gambar Kompor.....	126
D.14. Gambar AAS.....	127
D.15. Gambar Bubuk CaOH.....	127

D.16. Gambar Bubuk CaCO_3	127
D.17. Gambar Sampel Limbah Asli.....	127
D.18. Gambar Sampel Limbah Buatan	127
D.19. Gambar Jar Test Limbah Asli Dengan Ca(OH)_2 Kecepatan 100 RPM	128
D.20. Gambar Jar Test Limbah Asli Dengan Ca(OH)_2 Kecepatan 120 RPM.....	128
D.21. Gambar Jar Test Limbah Asli Dengan Ca(OH)_2 Kecepatan 30 RPM.....	128
D.22. Proses Sedimentasi Limbah Asli Dengan Ca(OH)_2	129
D.23. Gambar Jar Test Limbah Asli Dengan CaCO_3 Kecepatan 100 RPM	129
D.24. Gambar Jar Test Limbah Asli Dengan CaCO_3 Kecepatan 120 RPM.....	129
D.25. Gambar Jar Test Limbah Asli Dengan CaCO_3 Kecepatan 3 RPM	130
D.26. Proses Sedimentasi Limbah Asli Dengan Ca(OH)_2	130



BAB I PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan industri dan teknologi yang terjadi pada dasawarsa terakhir ini memberikan beragam keuntungan di sektor ekonomi baik untuk produsen maupun untuk masyarakat pengguna. Namun kemajuan yang terjadi tidak diimbangi dengan kesadaran atas kesehatan lingkungan. Ketidakseimbangan tersebut dapat dilihat dengan masih adanya buangan dari produk yang dihasilkan memiliki kadar yang melebihi ambang batas yang telah ditetapkan. Sehingga buangan produk tersebut merupakan pencemar bagi lingkungan sekitar.

Pencemaran yang sering terjadi adalah masuknya logam berat dalam kadar yang cukup tinggi ke dalam badan air akibat buangan dari industri. Logam berat yang memiliki kadar yang tinggi bersifat akumulatif terhadap lingkungan yang ada di perairan dan nantinya akan berpengaruh pada kesehatan manusia meskipun dalam jangka waktu yang cukup lama.

Salah satu penyebab timbulnya Pb dan Zn di perairan berasal dari keluaran atau buangan pabrik aki. Timbal dan seng yang digunakan dalam industri aki merupakan komponen utama pembentuk aki dan saat ini belum ada alternatif yang mampu menggantikannya. Konsentrasi yang tinggi menyebabkan kematian ikan pada lingkungan perairan dan tentunya menjadi indikator bahwa perairan dalam keadaan yang tidak baik untuk dikonsumsi. Buangan dari pabrik aki yang memiliki proses produksi yang minim pengolahan inilah yang menyebabkan kadar Pb di perairan meningkat hingga 2,59 mg/L begitu pula dengan konsentrasi Zn yang mencapai 0,58 mg/L (laporan dari Lab Uji Air PU Waru untuk perairan Kali di Pasuruan November 2007) atau jauh di atas nilai ambang batas yang telah ditetapkan oleh PP

No 82 Tahun 2001 dengan konsentrasi maksimum adalah 0,03 mg/L untuk timbal dan 0,05 mg/L untuk seng. Tingginya buangan limbah logam berat yang ada di perairan diakibatkan oleh besarnya limbah *pra-treatment* (sebelum pengolahan) yang dihasilkan. Salah satu sumber pencemaran timbal dan seng berasal dari pabrik aki yang ada di Kota Surabaya dengan konsentrasi limbah Pb yang dihasilkan sebesar 87,94 mg/L dan Zn sebesar 63,06 mg/L (Hasil Lab Uji Air PU Waru untuk bulan Maret 2008). Karena itu diperlukan penanganan pada sumber limbah agar *effluent* yang masuk ke badan air dalam konsentrasi yang aman atau sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan.

Adapun berbagai teknik yang dapat dipergunakan untuk mereduksi jumlah Pb^{2+} dan Zn^{2+} diantaranya adalah elektrolisis, membran RO, penggunaan mikroorganisme, ion exchange dan pengendapan (presipitasi). Teknologi yang dibutuhkan saat ini lebih menekankan pada kemudahan operasional dan perawatan dan pertimbangan biaya mengingat besarnya kadar Pb^{2+} dan Zn^{2+} yang melebihi baku mutu hanya terjadi pada musim tertentu.

Teknologi penanganan masalah limbah logam berat yang dirasa tepat dengan pertimbangan yang telah disebutkan diatas adalah teknik pengendapan (presipitasi). Metode ini pernah dilakukan oleh Wanpen Wirojanagud, Netnapid Tantemsapya dan Puck Tantriratna untuk mengendapkan logam berat timbal Pb^{2+} , kromium Cr^{3+} , kadmium Cd^{2+} dan merkuri Hg^{2+} pada pabrik kertas.

Dalam penelitian ini dipergunakan $Ca(OH)_2$ dan $CaCO_3$ sebagai reagen pengendap dan akan diperhitungkan besarnya penurunan Pb^{2+} dan Zn^{2+} pada limbah pabrik aki.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimanakah pengaruh presipitan Ca(OH)_2 dan CaCO_3 dalam proses pengendapan logam Pb^{2+} dan Zn^{2+} pada proses *batch*.
2. Bagaimanakah pengaruh variasi pH dan dosis pengendapan dalam proses pengendapan logam Pb^{2+} dan Zn^{2+} pada proses *batch*.
3. Bagaimanakah pengaruh variasi pengadukan cepat dalam proses pengendapan logam Pb^{2+} dan Zn^{2+} pada proses *batch*.
4. Bagaimanakah pengaruh COD (*Chemical Oxydation Demand*) dalam sifat kelarutan logam berat.

1.3. Ruang Lingkup

Penelitian ini dilakukan dengan batasan – batasan sebagai berikut:

1. Meneliti karakteristik Pb^{2+} dan Zn^{2+} dengan menggunakan limbah asli dari Pabrik Aki Kota Surabaya.
2. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium dengan sistem *batch*.
3. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan ITS dan Laboratorium Uji Air PU Waru-Sidoarjo.
4. Jenis logam berat yang diteliti adalah Pb (Timbal) dan Zn (Seng).
5. Bahan kimia yang digunakan adalah Ca(OH)_2 [kalsium hidroksida] dan CaCO_3 [kalsium karbonat].
6. Proses *batch* dilakukan dengan konsentrasi Pb terlarut 87,94 mg/L dan Zn terlarut 63,06 mg/L.
7. Analisis dilakukan secara duplo.
8. Variabel-variabel yang dipergunakan adalah :
 - Variabel limbah: Limbah buatan dan limbah asli
 - Variabel presipitan: Ca(OH)_2 dan CaCO_3
 - Variabel pH pengendapan dengan Ca(OH)_2 :

- 9; 9,5; 10 ; 10,5 dan 11.
- Variabel dosis pengendapan dengan CaCO_3 :
1 g/L ; 2 g/L ; 3 g/L ; 4 g/L dan 5 g/L
 - Variabel pengadukan cepat : 100 RPM dan 120 RPM
9. Proses jar test baik pengadukan cepat dilakukan selama 2 menit dan pengadukan lambat dilakukan selama 10 menit.
 10. Pengendapan flok dilakukan selama 15 menit.
 11. Dilakukan analisis Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) untuk mendapatkan konsentrasi Pb dan Zn terlarut.
 12. Dilakukan analisis COD (*Chemical Oxydation Demand*) untuk mengamati pengaruh COD terhadap kelarutan logam berat.

1.4. Tujuan Penelitian

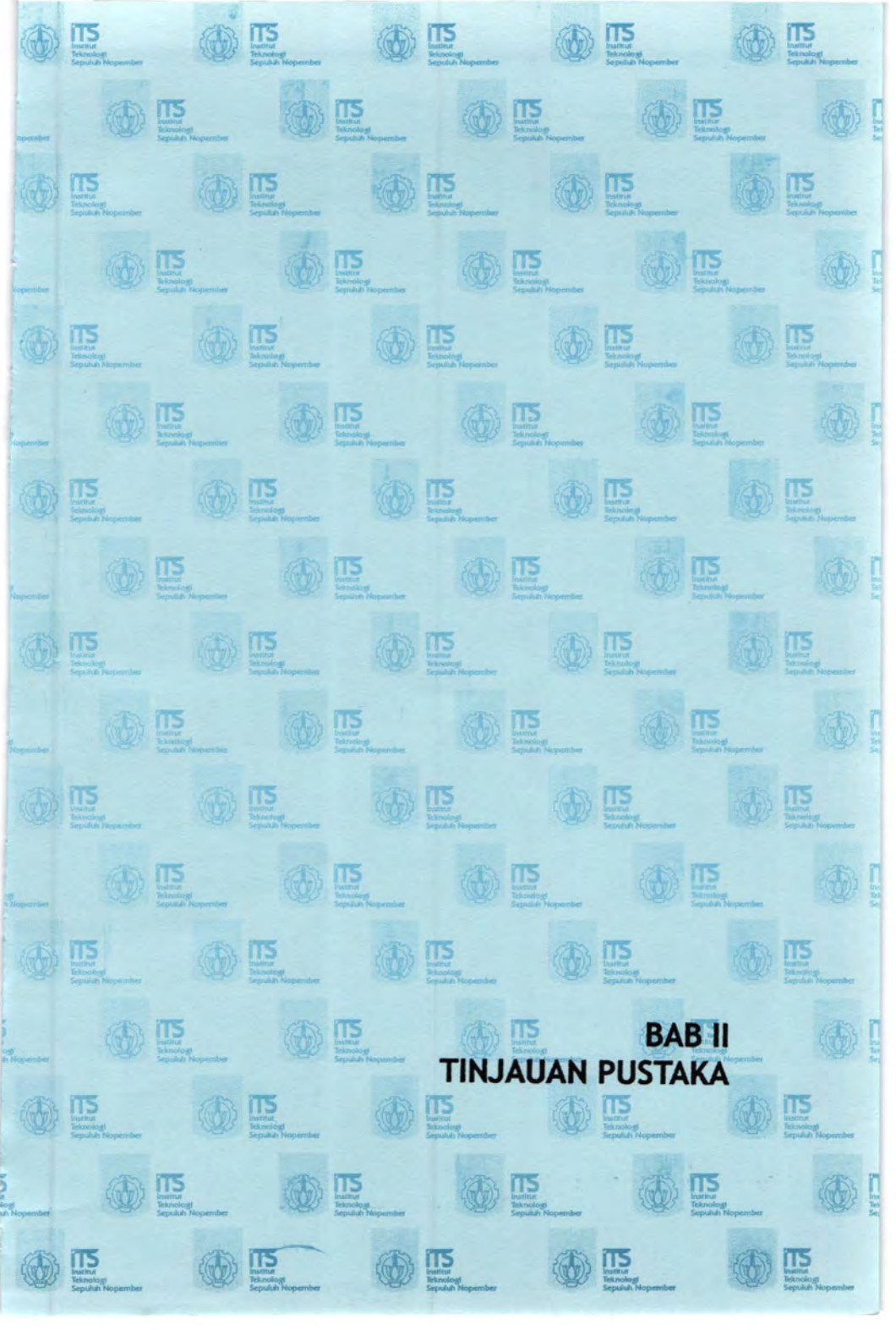
Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan presipitan Ca(OH)_2 dan CaCO_3 yang paling berpengaruh dalam proses pengendapan logam Pb^{2+} dan Zn^{2+} pada proses *batch*.
2. Menentukan pH maksimum untuk Ca(OH)_2 dan dosis maksimum untuk CaCO_3 dalam proses pengendapan logam Pb^{2+} dan Zn^{2+} pada proses *batch*.
3. Menentukan kecepatan pengadukan maksimum untuk Ca(OH)_2 dan CaCO_3 dalam proses pengendapan logam Pb^{2+} dan Zn^{2+} pada proses *batch*.
4. Mengetahui pengaruh COD (*Chemical Oxydation Demand*) dalam kelarutan logam berat.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari Tugas Akhir ini adalah :

1. Mereduksi jumlah kandungan logam timbal (Pb) dan seng (Zn) pada limbah Pabrik Aki Kota Surabaya agar *effluent* yang masuk dalam perairan tidak mengganggu lingkungan.
2. Memberikan pengetahuan tentang kemampuan Ca(OH)_2 [kalsium hidroksida] dan CaCO_3 [kalsium karbonat] dalam mereduksi logam timbal (Pb) dan seng (Zn) dalam perairan.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Dasar Pencemaran Air

Dewasa ini air menjadi masalah yang perlu mendapat perhatian yang seksama dan cermat. Untuk mendapatkan air yang sesuai dengan standar tertentu saat ini menjadi barang mahal karena sudah tercemar oleh bermacam-macam limbah dari kegiatan manusia.

Walaupun penetapan standar air bersih tidak mudah, namun ada kesepakatan bahwa air yang bersih tidak ditetapkan pada kemurnian air, akan tetapi didasarkan pada keadaan normalnya. Apabila terjadi penyimpangan dari keadaan normal maka hal tersebut berarti telah mengalami pencemaran (Wardhana, 1995).

2.1.1. Indikator Pencemaran Air

Di dalam kegiatan industri dan teknologi, air yang telah digunakan tidak boleh langsung dibuang ke lingkungan karena dapat menyebabkan pencemaran. Air tersebut harus diolah terlebih dahulu agar mempunyai kualitas yang sama dengan kualitas air lingkungan. Namun pada kenyataannya, masih banyak industri yang membuang limbah ke lingkungan melalui sungai, danau atau ke laut secara langsung. Pembuangan seperti inilah yang menyebabkan terjadinya pencemaran pada badan air.

Indikator bahwa air lingkungan telah tercemar dapat diamati melalui :

1. Adanya perubahan pada suhu air
2. Adanya perubahan pada pH
3. Adanya perubahan warna, bau dan rasa air
4. Timbulnya endapan, koloidal, bahan terlarut
5. Adanya mikroorganisme
6. Meningkatnya radioaktivitas air lingkungan



2.1.2. Komponen Pencemaran Air

Erat kaitannya dengan masalah indikator pencemaran air, ternyata komponen pencemar air juga menentukan bagaimana indikator tersebut terjadi.

Komponen pencemar air tersebut dikelompokkan sebagai berikut:

1. **Bahan buangan padat**
Bahan buangan padat yang dimaksudkan disini adalah bahan buangan yang berbentuk padat, baik yang kasar maupun yang halus.
2. **Bahan buangan organik**
Berupa limbah yang dapat membusuk atau terdegradasi oleh mikroorganisme.
3. **Bahan buangan anorganik**
Berupa limbah yang tidak dapat membusuk dan sulit didegradasi oleh mikroorganisme. Apabila bahan buangan ini masuk ke air, maka akan terjadi peningkatan jumlah ion logam di dalam air. Bahan anorganik biasanya berasal dari industri yang melibatkan unsur-unsur logam seperti Timbal (Pb), Arsen (As), Kadmium (Cd), Air Raksa (Hg), Kromium (Cr), Nikel (Ni) dan lain-lain.
4. **Bahan buangan olahan bahan makanan.**
5. **Bahan buangan cairan berminyak.**
6. **Bahan buangan zat kimia.**
Bahan buangan ini meliputi sabun, insektisida, zat warna kimia, zat radioaktif dan larutan penyamakan kulit.

2.2. Pengertian Dasar Limbah

Menurut PP No 82 Tahun 2001, Air limbah adalah sisa hasil usaha atau kegiatan yang berwujud cair.

Kegiatan atau hasil usaha yang menghasilkan limbah terdiri atas kegiatan rumah tangga dan kegiatan yang berasal dari industri. Air limbah rumah tangga terdiri dari buangan tubuh manusia (tinja dan air seni), buangan dapur dan buangan kamar mandi yang berasal dari pembersihan badan, pencucian pakaian dan pencucian peralatan dapur. Sedangkan air limbah dari industri

biasanya terdiri dari bahan-bahan kimia yang digunakan dalam produksi, lumpur dari unit pengolahan air dan gas buang, logam berat, pelarut organik, minyak dan lain-lain.

2.3. Logam Berat

Logam adalah unsur alam yang dapat diperoleh dari laut, erosi batuan tambang, vulkanisme dan sebagainya. Umumnya logam-logam di alam ditemukan dalam bentuk persenyawaan dengan unsur lain, sangat jarang yang ditemukan dalam elemen tunggal. Unsur ini dalam kondisi suhu kamar tidak selalu berbentuk padat melainkan ada yang berbentuk cair, misalnya merkuri (Hg). Dalam badan perairan, logam pada umumnya berada dalam bentuk ion-ion, baik sebagai pasangan ion ataupun dalam bentuk ion-ion tunggal. Sedangkan pada lapisan atmosfer, logam ditemukan dalam bentuk partikulat, dimana unsur-unsur logam tersebut ikut berterbangan dengan debu-debu yang ada di atmosfer. Logam memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

- a) Memiliki kemampuan yang baik sebagai penghantar daya listrik (konduktor).
- b) Memiliki kemampuan sebagai penghantar panas yang baik.
- c) Memiliki rapatan yang tinggi.
- d) Dapat membentuk *alloy* dengan logam lainnya.
- e) Untuk logam yang padat, dapat ditempa dan dibentuk.

Berbeda dengan logam biasa, logam berat adalah istilah yang digunakan secara umum untuk kelompok logam berat dan metaloid yang densitasnya lebih besar dari 5 g/cm^3 atau memiliki berat 5 gram atau lebih tiap 1 cm^3 . Dalam perairan, logam berat dapat ditemukan dalam bentuk terlarut dan tidak terlarut. Logam berat terlarut adalah logam yang membentuk kompleks dengan senyawa organik dan anorganik, sedangkan logam berat yang tidak terlarut merupakan partikel-partikel yang berbentuk koloid dan senyawa kelompok metal yang teradsorpsi pada partikel-partikel yang tersuspensi. Menurut Darmono (1995) sifat logam berat sangat unik, tidak dapat dihancurkan secara alami dan cenderung terakumulasi dalam rantai makanan melalui proses

biomagnifikasi. Pencemaran logam berat ini menimbulkan berbagai permasalahan diantaranya:

- 1) Berhubungan dengan estetika (perubahan bau, warna dan rasa air).
- 2) Berbahaya bagi kehidupan tanaman dan binatang.
- 3) Berbahaya bagi kesehatan manusia.
- 4) Menyebabkan kerusakan pada ekosistem.

Sebagian dari logam berat bersifat *essensial* bagi organisme air untuk pertumbuhan dan perkembangan hidupnya, antara lain dalam pembentukan haemosianin dalam sistem darah dan enzimatik pada biota (Darmono, 1995). Akan tetapi bila jumlah dari logam berat masuk ke dalam tubuh dengan jumlah berlebih, maka akan berubah fungsi menjadi racun bagi tubuh. Sebagai contoh adalah raksa (Hg), kadmium (Cd) dan timah hitam (Pb).

Unsur-unsur logam berat tersebut biasanya erat kaitannya dengan masalah pencemaran dan toksisitas. Pencemaran yang dapat menghancurkan tatanan lingkungan hidup, biasanya berasal dari limbah-limbah yang sangat berbahaya dalam arti memiliki daya racun (toksisitas) yang tinggi. Limbah industri merupakan salah satu sumber pencemaran logam berat yang potensial bagi perairan. Pembuangan limbah industri secara terus menerus tidak hanya mencemari lingkungan perairan tetapi menyebabkan terkumpulnya logam berat dalam sedimen dan biota perairan.

2.3.1. Sifat Toksisitas Logam Berat Di Lingkungan Perairan.

Lingkungan perairan (akuatik) merupakan lingkungan yang amat rentan terhadap kehadiran logam berat. Secara alami, logam berat hampir selalu ditemukan dalam air permukaan dengan konsentrasi yang sedikit. Namun dalam kasus terjadinya pencemaran, konsentrasi logam ini dapat meningkat dengan drastis, sehingga dapat bersifat toksik bagi organisme perairan. Kadar logam berat yang tinggi dapat menyebabkan kematian. Tetapi pada sebagian besar kasus yang terjadi adalah justru pada

tingkat kontaminasi logam berat yang rendah. Diantara jenis logam berat yang bersifat toksik bagi organisme akuatik tersebut diantaranya yaitu merkuri, tembaga, seng, nikel, timbal, kadmium dan kromium. Urutan tingkat racun berbagai logam berat pada organisme perairan dengan lava sebagai indikator (karena periode larva adalah yang paling sensitif) adalah $Hg^{2+} > Cu^{2+} > Zn^{2+} > Ni^{2+} > Pb^{2+} > Cd^{2+} > As^{3+} > Cr^{3+} > Sn^{2+} > Fe^{3+} > Mn^{2+} > Al^{3+} > Be^{2+} > Li^+$.

Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Toksisitas Logam Berat :

1. pH

Logam berat bersifat lebih lebih toksik pada pH rendah atau asam dibandingkan pada pH basa. Hal ini terkait dengan kelarutan logam berat, dimana pada pH rendah logam berat akan larut, sedangkan pada pH tinggi umumnya logam berat akan membentuk presipitat dengan hidroksida sehingga mengendap dan tidak larut.

2. Kesadahan

Kesadahan, salah satunya disebabkan adanya ion Ca^{2+} , dimana ion Ca^{2+} bersifat antagonis terhadap ion logam berat. Artinya keberadaan ion Ca^{2+} akan mengurangi sifat toksisitas logam berat diperairan, sehingga semakin besar nilai kesadahan maka sifat logam berat akan berkurang.

3. Cahaya

Organisme fotosintesis, seperti algae lebih peka terhadap logam berat pada intensitas yang tinggi dibandingkan pada intensitas cahaya yang rendah. Ketika terjadi proses fotosintesis, proses metabolisme meningkat, sehingga proses penyerapan terhadap ion-ion logam berat dalam air juga meningkat. Akibatnya logam berat yang terakumulasi semakin besar.

4. Terbentuknya senyawa kompleks

Ion logam mampu berikatan dengan senyawa organik, membentuk senyawa kompleks organik, misalnya dengan asam alginat pada dinding sel algae coklat.

Pembentukan senyawa kompleks akan menurunkan kandungan logam berat dalam air, sehingga mengurangi sifat toksisitas logam berat tersebut.

5. Interaksi antar ion logam berat

Keberadaan beberapa ion logam secara bersama-sama dalam perairan bersifat lebih toksik dibandingkan bila keberadaan ion logam tersebut hanya satu jenis saja. Selain itu ion logam berat juga memiliki sifat antagonis maupun sinergis. Jika terdapat dua atau lebih ion logam berat dimana salah satunya mengurangi sifat toksik tersebut, maka interaksi ion-ion logam berat tersebut bersifat antagonis. Tetapi sebaliknya, jika bersifat memperkuat sifat toksik logam berat, maka interaksi yang terjadi bersifat sinergis.

6. Salinitas

Keberadaan garam berupa NaCl akan mengurangi sifat toksisitas logam berat. Ion logam berat mampu berikatan dengan ion Cl dari garam, sehingga jumlah ion logam berat dalam bentuk bebas akan berkurang. Akibatnya sifat toksisitas logam berat akan menurun.

2.3.2. Logam Berat Pb (Timbal)

Timbal pada awalnya diproduksi dan digunakan oleh orang-orang Yunani, Babilonia dan Roma. Simbol Pb, yang berarti timbal, berasal dari bahasa latin dengan nama *plumbum* (Briscoe, 1938).

Berikut adalah sifat fisik logam timbal (Pb) :

(Oxtoby, Gillis dan Nachtrieb, 1999)

No atom	: 82
Massa atom	: 207,2
Titik cair (°C)	: 327,502
Titik didih (°C)	: 1740

Timbal (Pb) bersumber dari industri baterai, pertambangan, pabrik pemurnian logam, pabrik cat, pelapisan logam dan elektroplating. Timbal adalah logam toksik yang

bersifat kumulatif sehingga mekanisme toksisitasnya dibedakan menurut beberapa organ yang dipengaruhi sebagai berikut : (Clesceri, Greenberg, Eator, 1995)

- a. Sistem hemopoietik :Pb menghambat sistem pembentukan hemoglobin sehingga menyebabkan anemia.
- b. Sistem saraf pusat dan tepi:menyebabkan gangguan saraf perifer.
- c. Sistem ginjal : menyebabkan aminoasiduria.
- d. Sistem gastro-intestinal : menyebabkan konstipasi.
- e. Sistem kardiovaskuler :menyebabkan peningkatan permeabilitas kapiler pembuluh darah.
- f. Sistem reproduksi :menyebabkan kematian janin sewaktu melahirkan.
- g. Sistem indokrin :mengakibatkan gangguan fungsi tiroid dan fungsi adrenal.

2.3.3. Logam Berat Zn (Seng)

Seng merupakan logam dengan nomor atom 30 dan berat 65,39. Seng merupakan elemen yang esensial dan dibutuhkan makhluk hidup dalam membantu metabolisme tubuh. Seng biasanya hadir bersama-sama dengan kadmium dalam siklusnya di alam. Ion seng terhidrat ($Zn^{2+}_{(aq)}$) relatif lebih stabil daripada ion kadmium terhidrat ($Cd^{2+}_{(aq)}$).

Seng tidak diperoleh dengan bebas di alam, melainkan dalam bentuk terikat. Mineral yang mengandung seng di alam bebas antara lain *kalaminit*, *franklinit*, *smithsonit*, *willenit* dan *zinkit*.

Berikut adalah sifat fisik logam seng (Zn) :

No atom	: 30
Massa atom	: 65,39
Titik lebur ($^{\circ}C$)	: 410
Titik didih ($^{\circ}C$)	: 906

Pemanfaatan seng dalam industri, diantaranya :

- Melapisi besi atau baja untuk mencegah proses karat digunakan untuk bahan baterai
 - Zink dan alinasenya digunakan untuk cetakan logam, penyepuhan listrik dan metalurgi bubuk
 - Zink dalam bentuk oksida digunakan untuk industri kosmetik, plastik, karet, sabun, pigmen dalam cat dan tinta
 - Zink dalam bentuk sulfida digunakan untuk industri tabung televisi dan lampu pendar
 - Zink dalam bentuk klorida digunakan untuk pengawetan kayu.
- (www.wikipedia.org/wiki/zink/id)

Dalam bahasa sehari-hari, seng juga dimaksudkan sebagai pelat seng yang digunakan sebagai bahan bangunan.

2.4. Pentingnya Pengolahan Limbah Pada Suatu Industri

Pengolahan limbah industri adalah untuk melindungi udara, tanah dan sumber air. Pengolahan limbah industri dengan tujuan terciptanya *zero pollution* merupakan suatu pendekatan yang tepat. Industri harus mengurangi seluruh pencemaran dari efluen untuk mencapai tingkatan polusi bersih.

Lester Thurow dalam *Head to Head* 1992 dalam Nemerow, N.L., 1995, menyatakan bahwa kebanyakan kepentingan usaha menitikberatkan nilai ekonomis suatu barang dan jasa sebagai fokus utama sedangkan lingkungan sebagai kepentingan kedua. Lester berpendapat seharusnya lingkungan menempati kepentingan utama dan barang dan jasa adalah yang kedua.

Ketika lingkungan berada dalam kondisi yang rusak karena suatu pencemaran maka sektor ekonomi juga akan mengalami keterpurukan. (Gaylord, earth day, 1970 dalam Nemerow, N.L., 1995)

Tujuan dari pengembangan konsep *zero pollution* adalah :

1. Meminimalisasikan limbah dengan pengembangan suatu sistem dimana tidak ada limbah terbuang yang mencemari udara, tanah dan air.

2. Dengan adanya upaya meminimalisasian limbah, maka biaya pengolahan lingkungan dapat diatasi.

2.5. Pengendapan (Presipitasi)

2.5.1. Umum

Presipitasi kimia merupakan suatu proses dimana fase terlarut dihilangkan dari larutan dengan penambahan presipitan yang menghasilkan endapan yang mengandung kontaminan. Presipitasi / endapan dapat dipisahkan dengan sedimentasi atau filtrasi. Proses koagulasi dan flokulasi diikutsertakan dalam proses pengendapan (Haas dan Vamos, 1995).

Pengendapan kimia dapat dipergunakan untuk meremoval kontaminan, baik dari limbah rumah tangga maupun industri. Dapat dipergunakan sebagai pelunak, menghilangkan logam berat dari limbah pelapisan logam, menghilangkan minyak dan lemak dari larutan emulsif, menghilangkan fosfat dari air cucian dan limbah-limbah lain. Pengendapan merupakan cara efektif untuk membersihkan limbah dan menghilangkan partikulat.

Adapun keuntungan dan kerugian untuk metode pengendapan kimia, diantaranya adalah :

- **Keuntungan**
 - Pengendapan kimia merupakan teknologi siap guna dengan siap tersedianya peralatan dan bahan kimia.
 - Beberapa perlakuan kimiawi, terutama penggunaan kapur, pemakaian biaya tidak mahal.
 - Secara umum, pengolahan ini dapat dengan mudah dilakukan dan hanya memerlukan sedikit perawatan.
- **Kerugian**
 - Terbentuknya reaksi yang berkompetisi. Variasi tingkatan alkalinitas dan faktor lain umumnya membuat perhitungan dari dosis kimia yang tepat menjadi tidak memungkinkan. Pada akhirnya, penggunaan *jar test* diperlukan untuk memastikan kondisi pengolahan yang optimum. Penggunaan bahan yang berlebih mengakibatkan berkurangnya efektivitas pengolahan.

- Pengendapan kimia mungkin memerlukan bahan kimia yang bersifat korosif, maka harus ada peningkatan pengetahuan dari operator.
- Besarnya jumlah bahan kimia membutuhkan pengangkutan pada lokasi pengangkutan.
- Pemakaian polimer membutuhkan biaya yang relatif mahal.

(Malina, dkk, 1998 dalam EPA 2000)

2.5.2. Pengendapan Logam Berat

Presipitasi merupakan proses pengolahan logam berat yang paling banyak digunakan. Presipitasi adalah proses pengolahan air limbah yang tergantung pada kelarutan suatu zat dalam larutan, dimana dalam membentuk endapan atau presipitat ini ditambahkan sejumlah bahan kimia sehingga zat tersebut memiliki sifat larut yang rendah atau menjadi sulit larut. Logam berat akan memiliki sifat kelarutan yang rendah apabila berbentuk logam hidroksida, sulfida atau karbonat. Logam berat biasanya mulai mengendap pada pH netral hingga basa, oleh karena itu pengendapan logam berat ini dilakukan dengan menambahkan sejumlah bahan kimia yang bersifat basa. Endapan ini kemudian membentuk lumpur yang bersifat toksik dan tidak boleh dibuang ke dalam air secara langsung. Endapan ini harus diolah terlebih dahulu baru dibuang ke badan air atau digunakan lagi.

Proses pengolahan air limbah yang mengandung logam berat dengan prinsip presipitasi ini harus memperhatikan dua hal, yaitu : (Lankford dan Eckenfelder, 1990)

1. Sifat kelarutan dari logam berat yang akan diendapkan
2. Proses pemisahan endapan dari larutan.

Umumnya logam dapat diendapkan dalam bentuk hidroksida atau sulfida. Pada pengolahan limbah, logam yang diendapkan biasanya dalam bentuk logam hidroksida dengan penambahan *lime* (kapur) atau kaustik hingga pH mencapai kelarutan terendah.

Beberapa contoh reaksi kelarutan produk untuk konsentrasi bebas logam dengan hidroksida ataupun sulfida dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Contoh – Contoh Reaksi Hidroksida dan Sulfida

Desinfektan	Reaksi
Kadmium hidroksida	$\text{Cd}(\text{OH})_2 \leftrightarrow \text{Cd}^{2+} + 2\text{OH}^-$
Kadmium sulfida	$\text{CdS} \leftrightarrow \text{Cd}^{2+} + \text{S}^{2-}$
Timbal hidroksida	$\text{Pb}(\text{OH})_2 \leftrightarrow \text{Pb}^{2+} + 2\text{OH}^-$
Timbal sulfide	$\text{PbS} \leftrightarrow \text{Pb}^{2+} + \text{S}^{2-}$
Seng hidroksida	$\text{Zn}(\text{OH})_2 \leftrightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{OH}^-$
Seng sulfide	$\text{ZnS} \leftrightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{S}^{2-}$
Besi(II) hidroksida	$\text{Fe}(\text{OH})_2 \leftrightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{OH}^-$
Besi(II) sulfide	$\text{FeS} \leftrightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{S}^{2-}$

Sumber : Bard, 1966 dalam Metcalf and Eddy, 2003.

Presipitasi (pengendapan) tergantung pada besaran pH sehingga dicapai titik optimum pengendapan. Tabel 2.2. menunjukkan *range* pH untuk beberapa logam berat terlarut.

Tabel 2.2. Beberapa Contoh Tipikal Pengendapan dalam Hubungannya dengan pH

Jenis Logam Berat	pH Pengendapan
Kadmium	Presipitasi Pengendapan Hidroksida pada pH 10 – 11
Nikel	Presipitasi Pengendapan Hidroksida pada pH 10
Seng	Presipitasi Pengendapan Hidroksida pada pH 11
Barium	Presipitasi Pengendapan Sulfida

Sumber : Eckenfelder (2000) dalam Metcalf and Eddy (2003).

Pada proses presipitasi terdapat 2 fase, efluen dan endapan yang mengandung kontaminan yang terdapat pada

larutan. Dalam penanganan endapan harus dilakukan dengan hati-hati karena mengandung kontaminan yang berbahaya.

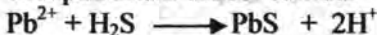
Aplikasi dari presipitasi menitikberatkan pada proses removal dari ion inorganik terlarut. Presipitasi biasa dipergunakan untuk pengolahan limbah B3.

Berikut ini merupakan contoh – contoh reaksi pengendapan dari ion timbel (II). Larutan timbel nitrat (0,25M) atau timbel asetat (0,25M) digunakan untuk mempelajari reaksi-reaksi dibawah ini : (Vogel, 1979)

1. Asam klorida encer (atau klorida yang larut) : endapan putih dalam larutan yang dingin dan tak terlalu encer.



2. Hidrogen sulfida dalam suasana netral atau asam encer : endapan hitam timbel sulfida.



3. Larutan amonia : endapan putih timbel hidroksida.

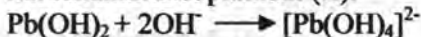


Endapan tidak larut dalam reagen yang berlebihan.

4. Natrium hidroksida : endapan putih timbel hidroksida.



Endapan larut pada reagen yang berlebihan, dimana terbentuk ion tetrahidroksoplumbat (II).

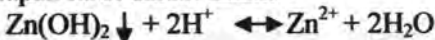


- Berikut ini merupakan contoh – contoh reaksi pengendapan dari ion Zn (II). Larutan Seng Sulfida ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) (0,25M) digunakan untuk mempelajari reaksi-reaksi dibawah ini : (Vogel, 1979)

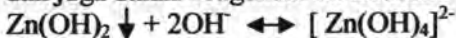
1. Larutan Natrium Hidroksida: Endapan seperti gelatin putih, yaitu zink hidroksida.



2. Endapan larut dalam asam:

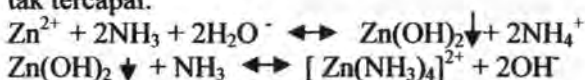


dan juga dalam reagensia berlebihan :



Jadi, zink hidroksida adalah senyawa yang bersifat amfoter.

3. Larutan ammonia: endapan putih zink hidroksida, yang mudah larut dalam reagensia yang berlebihan dan dalam larutan garam ammonium, karena menghasilkan tetraaminazinkat(II). Tidak diendapkannya zink hidroksida oleh larutan ammonia jika ada ammonium klorida, disebabkan oleh menurunnya konsentrasi ion-hidroksil sampai nilai sedemikian sehingga hasilkali kelarutan $Zn(OH)_2$ tak tercapai.



2.5.2.1. Pengendapan Logam Dengan Menggunakan Pengendapan Hidroksida

Ketika logam memasuki proses pengolahan, logam dalam keadaan stabil, terlarut dan tidak dapat membentuk padatan. Tujuan dari pengolahan logam dengan pengendapan hidroksida adalah mengatur pH dari air sehingga logam dapat membentuk endapan. Ketika endapan logam terbentuk maka dapat mudah dihilangkan.

Pengendapan logam tergantung pada faktor :

1. Konsentrasi logam
2. pH pada air

Kehadiran logam berat di perairan berkisar antara 1 – 100 mg/L pada kadar pH netral atau asam (< 7.0). Kedua faktor tersebut mempersulit terjadinya removal logam diperaian. Maka ketika larutan basa ditambahkan ke dalam logam terlarut, maka logam bereaksi dengan ion hidroksida membentuk padatan metal hidroksida (Ayres, 1994).

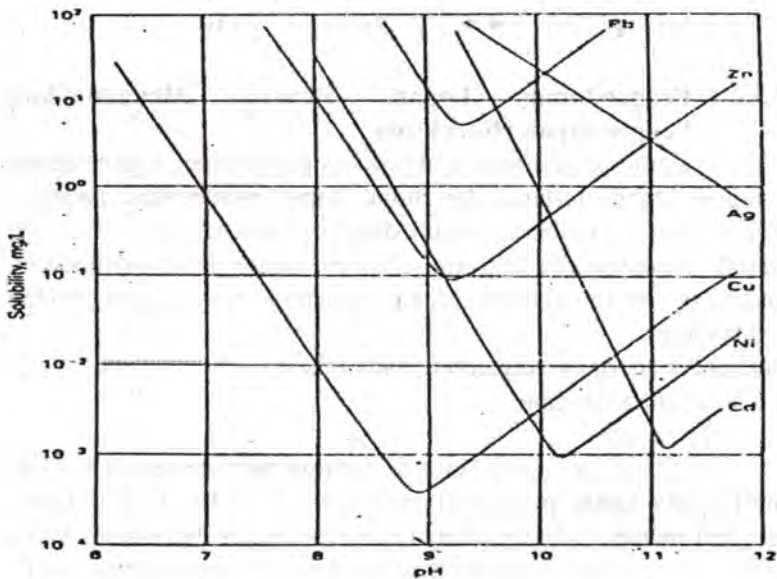
Presipitasi hidroksida digunakan untuk meremoval logam berat dari larutan. Prinsip resipitasi dalam removal logam berat adalah dengan penambahan basa untuk mencapai tingkat pH dimana terjadi pengendapan hidroksida logam secara optimum (Trihadiningrum, 2000).

Reaksi yang terjadi dengan penambahan basa :



Hasil endapan dihilangkan dengan proses sedimentasi atau filtrasi. Konsentrasi yang bebas logam tergantung dari kehadiran logam, pH akhir dan kehadiran material kompleks yang menghambat proses pengendapan. Logam hidroksida bersifat amfoter yang artinya kelarutan meningkat dengan kenaikan dan penurunan pH disekitar pH minimum kelarutan.

Gambar 2.1. memuat hubungan antara pH dengan *solubility* dari pengendapan hidroksida.



Gambar 2.1 Pengaruh pH Terhadap Kelarutan Hidroksida Logam (Wentz, 1995)

Presipitan hidroksida yang dipergunakan dalam pengendapan logam Pb^{2+} adalah $Ca(OH)_2$ (Kalsium Hidroksida).

Kalsium Hidroksida terbuat CaO yang merupakan oksida II A. Oksida-oksida II A, baik kapur, CaO dan magnesia MaO ,

dibuat dengan menguraikan pada suhu tinggi, batu-batuan karbonat yang terdapat dalam tanur kapur. Kapur merupakan sumber ion hidroksida yang paling murah bagi industri, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, yang terbentuk oleh reaksi dengan air. Karena afinitas yang luar biasa besar terhadap air, kalsium oksida digunakan untuk mendehidrasi (menghilangkan air) dan untuk mengeringkan gas. Kalsium oksida semakin bertambah penting dalam menghilangkan SO_2 dari gas cerobong instansi pembangkit tenaga. Kalsium oksida juga digunakan untuk mengatur pH limbah asam dari pabrik kertas dan instalasi pengolahan air limbah dan untuk menghilangkan ion fosfat dari air limbah.

Oksida dari grup IIA merupakan zat padat putih dengan titik leleh yang sangat tinggi. Oksida ini cenderung bereaksi perlahan-lahan dengan air dan karbondioksida dalam udara, masing-masing membentuk hidroksida dan karbonat.

- $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2$
- $\text{CaO} + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{CaCO}_3$
- $\text{CaCO}_3 \xrightarrow{\text{Panas } 900^\circ \text{C}} \text{CaO} + \text{CO}_2 \uparrow$

Kalsium hidroksida adalah senyawa kimia dengan rumus kimia $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Kalsium hidroksida dapat berupa kristal tak berwarna atau bubuk putih. Kalsium hidroksida dihasilkan melalui reaksi kalsium oksida (CaO) dengan air. Senyawa ini juga dapat dihasilkan dalam bentuk endapan melalui pencampuran larutan kalsium klorida (CaCl_2) dengan larutan natrium hidroksida (NaOH). Dalam bahasa Inggris, kalsium hidroksida juga dinamakan *slaked lime*, atau *hydrated lime* (kapur yang di-airkan). Nama mineral $\text{Ca}(\text{OH})_2$ adalah *portlandite*, karena senyawa ini dihasilkan melalui pencampuran air dengan semen Portland. Suspensi partikel halus kalsium hidroksida dalam air disebut juga *milk of lime* (Bahasa Inggris: *milk*=susu, *lime*=kapur). Larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ disebut air kapur dan merupakan basa dengan kekuatan sedang. Larutan tersebut bereaksi hebat dengan berbagai asam, dan bereaksi dengan banyak logam dengan adanya air. Larutan tersebut menjadi keruh bila dilewatkan karbon dioksida,

karena mengendapnya kalsium karbonat. Karena kekuatan sifat basanya, kalsium hidroksida banyak digunakan sebagai:

- *Flocculant* pada air, pengolahan limbah, serta pengelolaan tanah asam.
- Bahan alkali untuk menggantikan natrium hidroksida.
- Perekasi kimia.

2.5.2.2. Pengendapan Logam Dengan Menggunakan Pengendapan Karbonat

Karbonat dapat bertindak sebagai presipitan untuk mengendapkan logam dari larutan. Banyaknya logam yang dapat teremoval merupakan fungsi dari kehadiran karbonat dan pH (Patterson, dkk, 1991).

Pengendapan karbonat berhasil untuk meremoval logam. Pengendapan dapat dengan pemakaian kalsium karbonat secara langsung atau dari reaksi perubahan hidroksida dengan karbondioksida hingga didapat karbonat. Kelarutan karbonat biasanya diantara hidroksida dan sulfida (Santoleri, Reynolds, Theodore, 2000).

Removal logam dari larutan dapat menggunakan pengendapan karbonat. Presipitasi karbonat efektif digunakan untuk mengendapkan kadmium, nikel dan timbal (Peterson, 1985 dalam Haas dan Vamos, 1995).

Karbonat dalam jumlah yang cukup akan hadir pada limbah sebagai hasil dari removal dengan pengendapan karbonat pada pH penyesuaian. Ketika pH limbah meningkat seiring dengan penambahan basa, maka akan mengakibatkan timbulnya karbonat bebas yang akan bereaksi dengan ion logam untuk membentuk endapan logam karbonat. Kemudian pengendapan hidroksida dari logam yang mengandung karbonat merupakan proses *coprecipitation*, dimana terbentuk endapan hidroksida dan karbonat. Jika hidroksida karbonat timbul pada limbah, maka dapat ditambahkan inorganik karbonat, seperti Natrium Karbonat untuk membentuk endapan logam karbonat. Meskipun pengendapan karbonat efektif pada pH basa, namun keefektifan akan menurun

pada pH yang lebih besar dari 10 dan hal tersebut tergantung dari formasi logam kompleks (Haas dan Vamos, 1995).

2.6. Proses Pengolahan Logam Berat

Proses pengolahan air limbah yang mengandung logam berat dengan prinsip presipitasi ini harus memperhatikan dua hal, yaitu :

1. Sifat kelarutan dari logam berat yang akan diendapkan
2. Proses pemisahan endapan dari larutan.

(Lankford dan Eckenfelder, 1990)

Proses pengolahan logam berat dengan presipitasi melalui tiga tahap :

- a. *Rapid Mix Precipitation*, yaitu proses dispersi larutan presipitan pada titik influen dengan kondisi dalam bak pengadukan memiliki aliran turbulen.
- b. Flokulasi, yaitu proses pengadukan lambat yang bertujuan membentuk partikel endapan yang lebih besar.
- c. Sedimentasi, yaitu proses pengendapan presipitat secara gravitasi, sehingga presipitat mudah dipindahkan dari larutan.

2.7. Koagulasi Dan Flokulasi

Koagulasi dan flokulasi merupakan salah satu unit pengolahan yang dilakukan dalam pengolahan air. Menurut Reynolds dan Richards (1996), koagulasi merupakan proses penambahan koagulan dan pengadukan cepat yang menghasilkan destabilisasi partikel koloid dan merupakan awal dari penggabungan partikel-partikel koloid yang telah terdestabilisasikan. Sedangkan flokulasi merupakan proses pengadukan lambat untuk menggabungkan partikel-partikel yang telah terdestabilisasikan agar dapat mengendapkannya secara cepat.

2.7.1 Koagulasi partikel koloid

Dalam proses koagulasi, terjadi suatu destabilisasi partikel koloid yang disebabkan adanya *mixing* dan penambahan

koagulan. Pada saat terjadi proses destabilisasi koloid, terbentuk suatu flok yang merupakan gabungan dari beberapa partikel.

2.7.2 Faktor yang mempengaruhi koagulasi

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi koagulasi antara lain kualitas air, jumlah dan karakteristik koloid, pH air, pengadukan cepat, waktu flokulasi dan kecepatan putaran pengaduk, suhu, *alkalinity* (Al-Layla dkk, 1978).

Faktor-faktor tersebut di atas dapat diklasifikasikan menjadi dua faktor besar, yaitu faktor fisik dan faktor kimia, dimana pembagian sub faktornya adalah sebagai berikut:

1. Faktor kimia

a. Kualitas air

Kualitas air memiliki pengaruh terhadap proses koagulasi terutama alkalinitas dari air tersebut. Apabila air memiliki nilai alkalinitas yang cukup, maka proses koagulasi dapat berlangsung dengan baik.

b. Jumlah dan karakteristik koloid

Jumlah dan karakteristik koloid akan mempengaruhi nilai kekeruhan pada air permukaan. Kekeruhan terdiri dari partikel clay dan mineral lain dengan ukuran yang sangat kecil. Untuk itu diperlukan garam koagulan (*coagulant salt*) untuk dapat mengendapkannya. Umumnya penambahan dosis koagulan ini tidak berjalan secara linier. Ada kemungkinan semakin keruh air, maka semakin sedikit koagulan yang dibutuhkan karena semakin mudah partikel-partikel tersebut mengendap. Nilai kekeruhan suatu sampel air dapat diukur dengan menggunakan *turbidimeter*.

c. pH air

pH air berfungsi sebagai pengontrol. Suatu koagulan akan bekerja efektif pada range pH tertentu dan apabila pH tidak dijaga dengan baik, maka koagulan tersebut tidak dapat bekerja secara efektif dalam pendestabilan partikel koloid. Pengaturan pH dapat dilakukan dengan

penambahan asam, kapur, soda abu, dan lainnya untuk menghasilkan kondisi yang diinginkan.

d. Suhu

Suhu akan mempengaruhi nilai viskositas suatu larutan dan nantinya akan mempengaruhi besarnya daya yang dibutuhkan dalam proses pengadukan.

e. *Alkalinity*

Alkalinity berfungsi sebagai buffer dalam proses koagulasi-flokulasi sehingga pH air dapat tetap dipertahankan. Alkali ini akan bereaksi dengan koagulan yang ditambahkan dalam proses koagulasi. Apabila nilai alkalinitas pada suatu badan air kurang dari 250 mg/l, maka perlu dilakukan penambahan bahan kimia untuk meningkatkan nilai alkalinitas air tersebut.

f. Jenis koagulan

Dalam proses koagulasi, jenis koagulan yang ditambahkan juga berpengaruh terutama pada kemampuannya mengikat partikel-partikel koloid. Ada berbagai macam koagulan yang dapat digunakan dalam proses koagulasi dan masing-masing memiliki karakteristik tertentu. Koagulan yang biasa digunakan adalah alum (Al_2SO_4) karena harganya yang relatif terjangkau dan tawas adalah jenis koagulan yang sering digunakan dalam pengolahan air diberbagai industri.

2. Faktor fisika

a. Pengadukan cepat

Pengadukan cepat sangat berpengaruh karena pada pengadukan cepat terjadi proses destabilisasi partikel dan dispersi koagulan. Apabila koagulan terdispersi secara merata maka destabilisasi partikel dapat terjadi dengan cepat.

b. Waktu detensi

Waktu detensi memiliki pengaruh yang sangat penting dalam proses koagulasi dan flokulasi. Waktu detensi yang

terlalu lama dapat menyebabkan terjadinya endapan, sedangkan singkatnya waktu detensi menyebabkan penggabungan partikel tidak sempurna sehingga flok yang terbentuk hanya sedikit. Hal ini berarti bahwa *removal* kekeruhan tidak sempurna.

c. **Kecepatan putaran pengaduk**

Kecepatan putaran pengaduk akan mempengaruhi gradien kecepatan dari pengadukan tersebut. Kecepatan putaran ini berbanding lurus dengan gradien kecepatan. Apabila nilai gradien kecepatan tidak terpenuhi, maka proses tersebut tidak akan berjalan dengan baik.

2.8. Kelarutan

Adalah jumlah maksimum zat yang terlarut yang akan larut dalam sejumlah tertentu pelarut pada suhu tertentu. Dalam konteks kualitatif, zat-zat terlarut terbagi atas zat-zat dapat larut, sedikit larut atau tak dapat larut.

Zat dikatakan larut jika sebagian besar zat tersebut melarut bila ditambahkan air. Jika tidak, zat tersebut digambarkan sebagai sedikit larut atau tidak dapat larut. Semua senyawa ionik merupakan elektrolit kuat tetapi daya larutnya tak sama.

2.8.1. Kelarutan Senyawa

Kelarutan yang khas dari senyawa-senyawa ionik dalam air pada suhu 25°C

- (1) Semua senyawa logam alkali (golongan IA) dapat larut.
- (2) Semua senyawa amonium (NH_4^+) dapat larut.
- (3) Semua senyawa yang mengandung nitrat (NO_3^-), klorat (ClO_3^-) dan perklorat (ClO_4^-) dapat larut.
- (4) Sebagian besar hidroksida (OH^-) tidak dapat larut. Pengecualiannya adalah hidroksida logam alkali dan barium hidroksida [$\text{Ba}(\text{OH})_2$]. Kalsium hidroksida [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] sedikit larut.

- (5) Sebagian besar senyawa yang mengandung klorida (Cl^-), bromida (Br^-), atau iodida (I^-) dapat larut. Pengecualiannya adalah senyawa-senyawa yang mengandung Ag^+ , Hg_2^{2+} dan Pb^{2+} .
- (6) Semua karbonat (CO_3^{2-}), fosfat (PO_4^{3-}) dan sulfida (S^{2-}) tidak dapat larut ; pengecualiannya adalah senyawa-senyawa dari ion alkali dan ion amonium.
- (7) Sebagian sulfat (SO_4^{2-}) dapat larut. Kalsium sulfat (CaSO_4) dan perak sulfat (Ag_2SO_4) sedikit larut. Barium sulfat (BaSO_4), merkuri (II) sulfat (HgSO_4) dan timbal sulfat [$\text{Pb}(\text{SO}_4)_2$] tidak dapat larut.

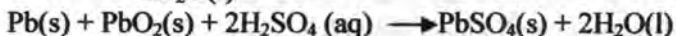
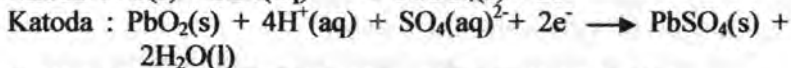
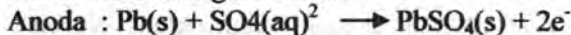
2.8.2. Kelarutan Logam Berat

Berdasarkan Vogel (1990), prinsip hasil kali kelarutan dapat digunakan untuk pembentukan endapan hidroksida logam. Endapan akan terbentuk hanya jika konsentrasi ion logam dan hidroksil saat itu adalah lebih tinggi dari yang diperbolehkan oleh hasil kali kelarutan. Pembentukan endapan suatu hidroksida logam tergantung pada pH larutan.

2.9. Industri Aki

2.9.1. Uraian Proses Produksi

Aki merupakan komponen pencatu daya dalam kendaraan bermotor. Sampai saat ini komponen utamanya masih terbuat dari logam timbal (Pb) dan belum ada alternatif yang mampu menggantikannya. Sebagai pencatu daya, di dalam aki timbul reaksi kimia sebagai berikut :



Usaha daur ulang aki bekas telah banyak dilakukan oleh industri rumah tangga dan kecil tersebar di berbagai tempat, biasanya tempat-tempat yang terpencil. Industri daur ulang aki jarang yang dilakukan oleh industri skala menengah-besar, hal ini

dikarenakan usaha menengah-besar memerlukan biaya mobilisasi pengumpulan aki bekas yang besar untuk memenuhi kapasitasnya sehingga dirasakan lebih menguntungkan menerima hasil daur ulang setengah jadi industri kecil, untuk diproses lebih lanjut menjadi produk murni, maupun bahan baku impor (saat ini dilarang). Industri daur ulang aki bekas ini apabila tidak ditata dan tanpa penggunaan teknologi yang tepat akan berakibat buruk terhadap lingkungan dan kesehatan manusia dalam pengumpulan, pengangkutan maupun prosesnya. Pencemaran dari usaha daur ulang aki bekas ini adalah :

- Pencemaran udara yang berasal dari asap dan debu yang mengandung logam berat Pb.
- Bau sulfur yang spesifik.
- Limbah cair yang mengandung asam sulfat

Kegiatan daur ulang ini rasanya tidak mungkin dilarang, hal ini dikarenakan daur ulang aki merupakan mata pencaharian dan dirasakan sangat menguntungkan oleh para pendaur ulang. Dilain pihak kesadaran akan bahaya dari racun logam berat timbal (Pb) yang termasuk bahan beracun berbahaya (B3) masih belum disadari oleh kebanyakan masyarakat terutama para pendaur ulang. Oleh karena itu perlu adanya kerjasama masyarakat dan pemerintah sehingga terbentuk kinerja daur ulang yang akrab lingkungan.

Daur ulang aki ditujukan untuk mengambil logam timbal (Pb) atau disebut juga ingot dan plastik box, untuk dimanfaatkan kembali. Teknologi yang digunakan juga bermacam-macam dari yang sangat sederhana hingga teknologi tinggi, tetapi pada dasarnya logam timah diambil dengan cara reduksi-oksidasi (redoks) unsur timbal yang ada di dalam.

Dari proses daur ulang tersebut dihasilkan 2 jenis material yaitu :

1. Logam/Ingot timbal dimanfaatkan oleh :

- pabrik aki sebagai sel aki baru
- pabrik cat
- pabrik tabung TV
- keramik dan isolasi radio aktif

2. Plastik box dimanfaatkan oleh:

- pabrik aki
- pabrik plastik

2.9.2. Limbah Yang Dihasilkan

Untuk mengetahui limbah yang dihasilkan dapat dipahami melalui proses yang dipergunakan. Di Indonesia industri daur ulang baik skala kecil maupun menengah lebih banyak menggunakan sistem redoks. Secara umum, skema daur ulang aki dan cemarannya yang timbul disajikan dalam **Gambar 2.2.** Sifat-sifat limbah adalah sebagai berikut :

- a. Gas dan bau, cemarannya ini berupa gas-gas sisa hasil pembakaran, SO_2 , debu, Pb dan lain-lain.
- b. Padat, berupa slag sisa daur ulang. Slag ini dapat dipergunakan sebagai bahan pengganti pasir maupun batu dalam bahan bangunan.
- c. Limbah cair, limbah cair berupa asam sulfat biasanya limbah ini sudah tercecer di pengumpul maupun sumber.

2.10. Spektrofotometri Serapan Atom

Atomic Adsorption Spectrophotometer (AAS) atau Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) sangat tepat digunakan untuk menganalisis zat pada konsentrasi rendah. AAS menggunakan prinsip spektrofotometri yang mengukur jauhnya penyerapan (adsorpsi) energi cahaya oleh suatu atom sebagai fungsi dari panjang gelombang tertentu tergantung dari sifat unsurnya. Dari nilai absorban yang didapat akan diketahui konsentrasi contoh tersebut. **Tabel 2.3.** menjelaskan mengenai kisaran konsentrasi untuk AAS.



Gambar 2.2. Skema Daur Ulang Aki dan Cemarannya

Tabel 2.3. Kisaran Konsentrasi Untuk AAS

Elemen	Panjang Gelombang (nm)	Nyala Api	Batas Deteksi (mg/L)	Sensitivitas (mg/L)	Kisaran Konsentrasi (mg/L)
Ag	328,1	A-Ac	0,01	0,06	0,1 – 4
Al	309,3	N-Ac	0,1	1	5 – 100
Au	242,8	A-Ac	0,01	0,25	0,5 – 20
Ba	553,6	N-Ac	0,03	0,4	1 – 20
Ca	422,7	A-Ac	0,003	0,08	0,2 – 20
Cd	228,8	A-Ac	0,002	0,025	0,05 – 2
Co	240,7	A-Ac	0,03	0,2	0,5 – 10
Cr	357,9	A-Ac	0,02	0,1	0,2 – 10
Cs	852,1	A-Ac	0,02	0,3	0,5 – 15
Cu	324,7	A-Ac	0,01	0,1	0,2 – 10
Fe	248,3	A-Ac	0,02	0,12	0,3 – 10
K	766,5	A-Ac	0,005	0,04	0,1 – 2
Li	670,8	A-Ac	0,002	0,04	0,1 – 2
Mg	285,2	A-Ac	0,0005	0,007	0,02 – 2
Mn	279,5	A-Ac	0,01	0,05	0,1 – 10
Pb	283,3	A-Ac	0,1	0,05	1 – 20
Zn	213,9	A-Ac	0,001	0,009	0,4-1,6

Keterangan:

A-Ac = Udara-Asetilen, N-Ac = Nitrogen oksida-Asetilen

Sumber: ASTM dalam APHA-AWWA-WPCF, 1995 dalam Sihotang, 2006

Berdasarkan Tabel 2.3. dapat diketahui bahwa untuk menganalisis kadar logam Pb digunakan panjang gelombang 283,3 nm, dengan sumber nyala yang digunakan berasal dari udara-asetilen, kisaran konsentrasi maksimum yang dapat dianalisis 1 – 20 mg/L sedangkan untuk menganalisis kadar logam Zn digunakan panjang gelombang 213,9 nm, dengan sumber nyala yang digunakan berasal dari udara-asetilen, kisaran konsentrasi maksimum yang dapat dianalisis 0,4-1,6 mg/L



BAB III

METODE DAN BAHAN PENELITIAN

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Umum

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari penurunan logam berat timbal dan seng dengan uji lab pada skala *batch*. Larutan logam ini menggunakan sampel limbah asli pabrik aki di Kota Surabaya. Kemudian sampel limbah direaksikan dengan penambahan pengendap berupa $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [kalsium hidroksida] dengan variasi pH 9 ; 9,5 ; 10 ; 10,5 dan 11 dan CaCO_3 [kalsium karbonat] hingga didapatkan variasi dosis 1 g/L; 2 g/L; 3 g/L; 4 g/L dan 5g/L. Untuk mendapatkan larutan yang homogen, maka diperlukan proses jar tes untuk *rapid mix* (pengaduk cepat) dengan variasi kecepatan 100 RPM dan 120 RPM selama 2 menit. Kemudian dilanjutkan dengan pengadukan lambat dengan kecepatan 30 RPM selama 10 menit. Diamkan selama 15 menit untuk efektivitas pengendapan. Langkah terakhir adalah uji Spektrofotometri Serapan Atom untuk kadar Pb dan Zn terlarut sehingga didapatkan hasil uji analisis.

Penelitian juga memperbandingkan limbah asli dengan limbah buatan. Penelitian analisis penyisihan logam berat dilakukan dengan menggunakan limbah Pb dan Zn buatan dengan konsentrasi setara dengan limbah asli dan dengan perlakuan yang sama dengan limbah asli.

3.2. Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang dipergunakan adalah

- Variabel limbah
Limbah yang dipergunakan adalah limbah asli dan limbah buatan. Kedua limbah diperbandingkan sehingga diketahui beapa besar persentase dan penyebab perbedaan daya penyisihan untuk masing-masing limbah.
- Variabel presipitan
Presipitan yang dipergunakan adalah $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [kalsium hidroksida] dan CaCO_3 [kalsium karbonat]

- **Variabel tingkat pH**
Tingkat pH yang dipergunakan untuk pengendapan Ca(OH)_2 adalah 9; 9,5; 10 ; 10,5 dan 11 sedangkan untuk CaCO_3 adalah dosis 1 g/L; 2 g/L; 3 g/L; 4 g/L dan 5 g/L. Penetapan variasi pH adalah berdasarkan pada kemampuan presipitan mengendapkan logam-logam berat.
- **Variabel pengadukan cepat**
Variabel pengadukan cepat adalah 100 RPM dan 120 RPM. Variasi ini didasarkan pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dengan menggunakan parameter logam berat. Nilai 100 RPM berasal dari prosedur dari jurnal karya Wirojanagud, Tantemsapya dan Tabtriratna dan untuk nilai 120 RPM berasal dari prosedur yang telah dibuat oleh Soemantojo, Wulan dan Yulianti untuk analisis pengendapan logam berat Cr.

3.3. Kerangka penelitian

Kerangka penelitian ini memuat tentang langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian secara garis besar. Hal ini dapat memudahkan dalam mengetahui hal-hal yang harus dilakukan sebelum penelitian dan sesudah penelitian.

Pada dasarnya tahapan penelitian dimulai dari ide dan kemudian dilanjutkan dengan studi literatur yang dapat mendukung terlaksananya suatu ide. Berdasarkan studi literatur maka dapat diperoleh hal-hal yang berkaitan dengan dasar pemikiran sebuah ide. Selain itu dapat juga diperoleh ilmu yang akan dipakai untuk melaksanakan penelitian yang akan dilakukan.

Pada bab ini akan dibahas metode yang akan digunakan dan langkah-langkah pelaksanaan penelitian. Diharapkan dapat memberikan gambaran yang jelas dan sistematis, sehingga memudahkan dalam pelaksanaan penelitian, pencapaian tujuan dan koreksi-koreksi lain jika diperlukan. Skema umum penelitian dan kerangka penelitian digambarkan pada **Gambar 3.1**.

Selain menggunakan limbah asli, dalam penelitian ini digunakan juga limbah buatan sebagai pembandingan untuk membandingkan besarnya penyisihan yang terjadi antara limbah asli dan limbah buatan. Limbah buatan yang dipergunakan adalah air yang mengandung limbah Pb dan Zn terlarut yang konsentrasinya setara dengan limbah asli.

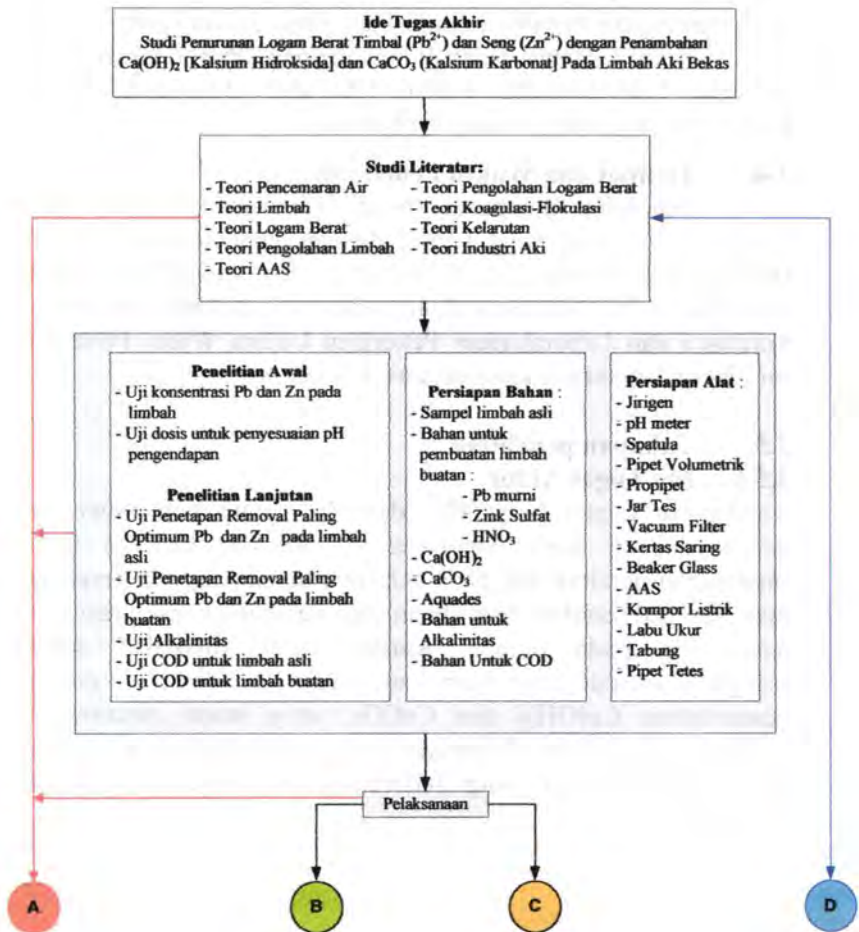
3.4. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian mengenai “Studi Penurunan Logam Berat Timbal (Pb^{2+}) dan Seng (Zn^{2+}) dengan Penambahan $Ca(OH)_2$ [kalsium hidroksida] dan $CaCO_3$ [kalsium karbonat] Pada Limbah Aki Bekas” ini dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan Surabaya dan Laboratorium Pekerjaan Umum Waru. Penelitian ini dikerjakan kurang lebih selama 3 bulan.

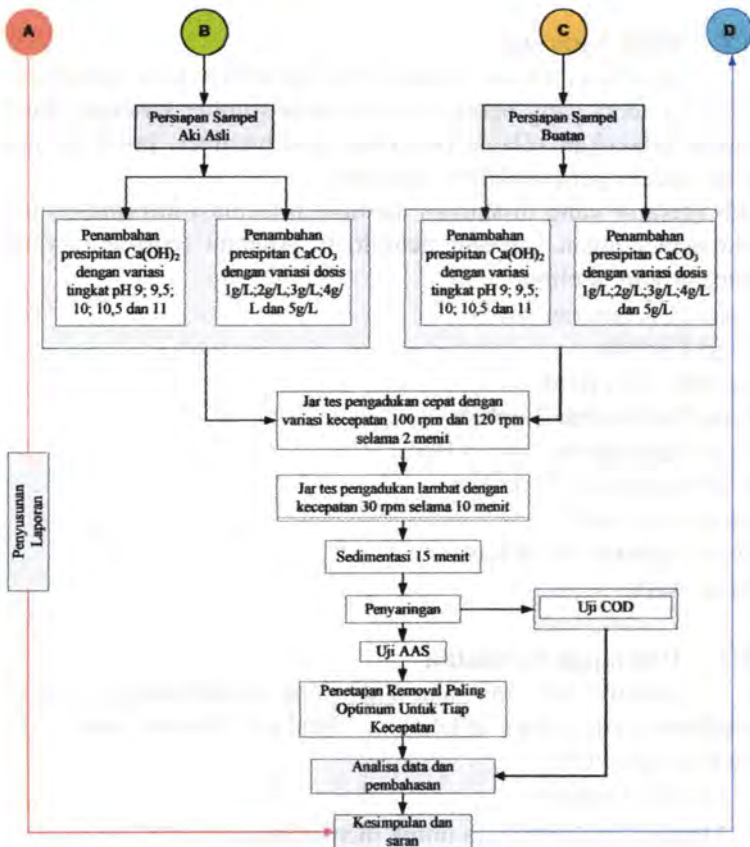
3.5. Tahapan penelitian

3.5.1. Ide Tugas Akhir

Kandungan logam berat Pb^{2+} dan Zn^{2+} yang bersumber dari pabrik aki di Kota Surabaya menurunkan kualitas untuk lingkungan perairan dan pada akhirnya berakibat pada kesehatan manusia. Hal tersebut disebabkan oleh besarnya konsentrasi yang terkandung pada limbah. Karena itulah dilakukan kajian mengenai metode penurunan kandungan Pb^{2+} dan Zn^{2+} dengan penambahan $Ca(OH)_2$ dan $CaCO_3$, yang mana penambahan $Ca(OH)_2$ dan $CaCO_3$ diharapkan mampu mengendapkan Pb^{2+} dan Zn^{2+} dengan cara yang sederhana dan biaya yang relatif terjangkau.



Gambar 3.1 Kerangka Metodologi Penelitian



Gambar 3.1 Kerangka Metodologi Penelitian (Lanjutan)

Karena itu judul Tugas Akhir ini adalah Studi Penurunan Logam Berat Timbal (Pb^{2+}) dan Seng (Zn^{2+}) dengan Penambahan $Ca(OH)_2$ [Kalsium Hidroksida] dan $CaCO_3$ [Kalsium Karbonat] Pada Limbah Aki Bekas.

3.5.2. Studi Literatur

Studi literatur merupakan studi terhadap dasar penelitian, informasi, teori yang berasal dari sumber-sumber tertentu. Studi literatur dilakukan selama penelitian dan memberi jawaban atas permasalahan-permasalahan yang ada.

Studi literatur yang dilakukan memuat informasi-informasi yang berkenaan dengan bahasan penelitian. Adapun teori-teori yang dipergunakan, meliputi :

- Teori Pencemaran Air
- Teori Limbah
- Teori Logam Berat
- Teori Pengolahan Limbah
- Teori Pengolahan Logam Berat
- Teori Koagulasi-Flokulasi
- Teori Kelarutan
- Teori Industri Aki Bekas
- Teori AAS

3.5.3. Persiapan Peralatan

Dalam hal ini alat-alat yang dipergunakan untuk penelitian yang akan dilakukan didalam laboratorium. Alat tersebut antara lain :

- o Neraca Analitik
Merupakan timbangan untuk menimbang berat bahan kimia yang akan dipergunakan.
(Gambar terlampir pada **Lampiran D.1.**)
- o pH meter
Digunakan untuk mengukur nilai pH. pH meter adalah sel galvanik dengan voltase sebagai fungsi linier dari pH larutan dalam sel. (Gambar terlampir pada **Lampiran D.2.**)

- Spatula
Digunakan sebagai alat pengaduk dan media pengambil bahan kimia berupa yang berupa bubuk.
(Gambar terlampir pada **Lampiran D.3.**)
- Pipet Volumetrik
Digunakan untuk mengambil bahan kimia yang berupa larutan. (Gambar terlampir pada **Lampiran D.4.**)
- Propipet
Alat bantu untuk pipet.
(Gambar terlampir pada **Lampiran D.4.**)
- Pipet Tetes
Digunakan untuk mengambil bahan kimia yang berupa larutan dalam jumlah kecil.
(Gambar terlampir pada **Lampiran D.4.**)
- Buret
Sebagai media titrasi.
(Gambar terlampir pada **Lampiran D.5.**)
- Erlenmeyer
Alat untuk wadah larutan yang akan dititrasi.
(Gambar terlampir pada **Lampiran D.6.**)
- Jar Tes
Sebagai bentuk alat pengaduk mekanik yang membantu dalam proses koagulasi dan flokulasi.
(Gambar terlampir pada **Lampiran D.7.**)
- Vacuum Filter
Sebagai media penyaring untuk memisahkan antara endapan dan filtrat. (Gambar terlampir pada **Lampiran D.8.**)
- Kertas Saring
Media pembantu dalam menyaring.
(Gambar terlampir pada **Lampiran D.9.**)

- Beaker Glass
Digunakan sebagai reaktor untuk proses *batch*.
(Gambar terlampir pada **Lampiran D.10.**)
- Labu ukur
Digunakan untuk mencampur larutan sehingga didapatkan larutan yang homogen.
(Gambar terlampir pada **Lampiran D.11.**)
- Tabung Reaksi
Digunakan untuk analisis COD (*Chemical Oxydation Demand*). (Gambar terlampir pada **Lampiran D.12.**)
- Kompor
Digunakan untuk pemanas pada analisis COD (*Chemical Oxydation Demand*).
(Gambar terlampir pada **Lampiran D.13.**)
- AAS
Atomic Adsorption Spectrophotometer), digunakan untuk menganalisis kandungan logam berat Pb dan Zn terlarut sebelum dan sesudah dilakukan pengendapan.
(Gambar terlampir pada **Lampiran D.14.**)

3.5.4. Persiapan Bahan

Dalam hal ini bahan yang dipergunakan untuk penelitian yang akan dilakukan didalam laboratorium. Bahan tersebut antara lain :

- Sampel limbah asli (Gambar terlampir pada **Lampiran D.17.**)
- Bahan untuk pembuatan limbah buatan :
 - Pb murni
 - Zink Sulfat
 - HNO_3(Prosedur pembuatan dapat dilihat pada **Lampiran A.5.** dan gambar limbah buatan terlampir pada **Lampiran D.18.**)
- CaO (Gambar terlampir pada **Lampiran D.15.**)

- CaCO_3 (Gambar terlampir pada **Lampiran D.16.**)
- Aquades
- Bahan Untuk Uji Alkalinitas
(Prosedur dapat dilihat pada **Lampiran A.2.**)
- Bahan Untuk Uji COD
(Prosedur dapat dilihat pada **Lampiran A.3.**)

3.5.5. Penelitian

Penelitian dalam Tugas Akhir ini meliputi penelitian awal dan penelitian lanjutan. Berikut ini adalah penelitian yang akan dilakukan :

1. Penelitian Awal

- Uji konsentrasi Pb dan Zn pada limbah
- Uji dosis untuk penyesuaian pH pengendapan
- Uji penetapan penyisihan maksimum Pb dan Zn pada limbah asli
- Uji penetapan penyisihan maksimum Pb dan Zn pada limbah buatan

2. Penelitian Lanjutan

1. Uji Alkalinitas untuk kondisi awal limbah
2. Uji COD untuk limbah asli
3. Uji COD untuk limbah buatan

3.5.6. Desain Proses Pengendapan

3.5.6.1. Operasional Secara Batch

Salah satu keputusan yang harus diambil ketika mendesain proses pengendapan adalah menentukan apakah proses tersebut terjadi secara *batch* atau *continue*. Untuk aliran yang kecil atau yang menghasilkan limbah tidak secara terus menerus, maka pengolahan secara *batch* menjadi pilihan.

Pada proses *batch*, limbah diaduk untuk mendapatkan larutan yang homogen. Presipitan ditambahkan ke dalam larutan

yang homogen untuk diaduk selama 10 menit. Pencampuran dihentikan sehingga terbentuk flokulan dan endapan. (Cawley, 1981 dalam Haas dan Vamos, 1995)

3.5.6.2. Pemilihan Presipitan

Untuk beberapa macam ion, memungkinkan terdapat lebih dari satu presipitan yang digunakan untuk pengendapan ion. Sebagai contoh, logam berat dapat diendapkan dengan menggunakan hidroksida atau sulfida (Haas dan Vamos, 1995).

Selama penelitian ini, presipitan yang digunakan terdapat dua macam, Ca(OH)_2 dan CaCO_3 , namun untuk masing-masing perlakuan hanya digunakan satu macam saja, sehingga lebih fokus untuk mengetahui seberapa besar pengaruh satu presipitan tanpa pengaruh dari presipitan yang lain.

a. Pembuatan Larutan Kapur Ca(OH)_2

Pembuatan larutan ini pada awalnya mempersiapkan terlebih dahulu bubuk CaO dan air (H_2O).

Secara prosedural langkah pembuatan larutan kapur ini tidak terdapat dalam buku petunjuk pembuatan bahan. Maka dalam penelitian ini juga diuji untuk mengetahui seberapa besar konsentrasi yang diperlukan dalam mengkondisikan pH sesuai dengan yang pH pengendapan.

Dilakukan uji coba dengan melarutkan CaO dari *range* 1 g - 20 g kedalam 100 mL air. Dari hasil uji didapatkan untuk membuat larutan kapur diperlukan 10 g CaO untuk dilarutkan kedalam 100 mL air, dengan pertimbangan dengan penambahan sebesar 10 g, didapatkan campuran larutan homogen berupa susu dengan endapan yang tidak terlalu banyak, yang menandakan bahwa bubuk tersebut cukup terlarut didalam air. Dari hasil penelitian dengan dosis < 10 g terlihat larutan encer dan untuk mengkondisikan pH diperlukan larutan dalam jumlah yang banyak. Sedangkan kondisi > 10 g mengakibatkan

larutan terlalu kental dan sulit dilakukan penambahan, karena larutan terlalu pekat.

b. Pembuatan Larutan Kapur CaCO_3

Pembuatan larutan ini memerlukan bubuk CaCO_3 dan air sebagai pelarut. Penentuan uji *range* dosis pada pembuatan kapur ini, yaitu dari kisaran 1 g – 20 g kedalam 100 mL air. Namun selama penelitian, penambahan larutan hingga mencapai 500 mL tidak dapat menaikkan pH hingga kondisi optimum pengendapan, bahkan cenderung terjadi endapan dan kekeruhan yang cukup banyak. Karena itulah dalam penelitian ini, digunakan variasi dosis yang mewakili dengan variasi sebesar 1 g/L; 2 g/L; 3 g/L ; 4 g/L dan 5 g/L, karena tidak mungkin menggunakan larutan karena perbandingan volume yang terjadi akan besar.

3.5.6.3. pH

pH atau *Positive Hydronium Ion* adalah besaran yang menyatakan sifat asam atau basa dari suatu larutan atau suspensi. Pemilihan pH yang tepat akan berpengaruh pada penentuan dosis optimum koagulan. Batasan nilai pH dipengaruhi jenis pemakaian koagulan dan komposisi kimia yang terdapat dalam air.

pH yang ditetapkan menggunakan *range* pH optimum pengendapan untuk masing-masing logam berat yang disesuaikan dengan proses pengendapannya yang telah dijelaskan dalam teori.

Dalam penelitian ini, akan dipergunakan pH meter untuk mengukur pH pada larutan. Analisis dan standarisasi pH meter terlampir pada **Lampiran A.1**.

3.5.6.4. Jar Tes

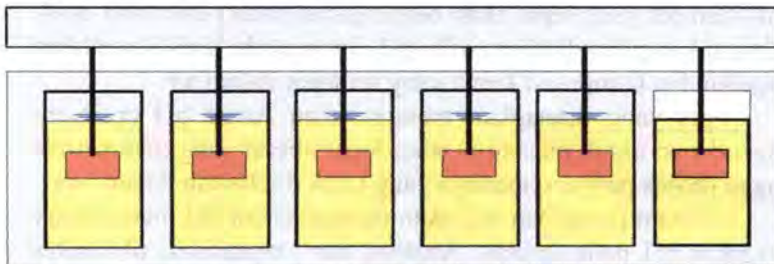
Jar tes dilakukan untuk menentukan presipitan terbaik dan dosis optimum presipitan. Langkah pertama dalam jar tes adalah mengumpulkan sampel yang mewakili limbah yang akan diolah. Variasi dan dosis presipitan ditambahkan kedalam sampel. Setelah pengendapan terjadi maka dihitung konsentrasi

endapan yang terjadi sehingga dapat ditentukan dosis optimum presipitan (Haas dan Vamos, 1995).

Peralatan jar tes dengan skala laboratorium umumnya tersedia untuk enam sampel masing-masing untuk ukuran satu liter yang secara serempak (bersamaan). Satu kontrol pusat mengoperasikan seluruh beaker (jar), karena itu satu variable (sebagai contoh, dosis polimer) dapat digerakkan melalui uji grup, sementara faktor lain, termasuk kecepatan pengadukan dan waktu, dapat diatur konstan.

Interpretasi ketidaktepatan hasil didapatkan dari penggunaan sampel yang sedikit untuk persediaan larutan (1-2 mL larutan persediaan setara dengan 1-20% kesalahan pada konsentrasi akhir), penambahan bahan kimia yang terlalu lama, pemilihan kondisi flokulasi dan pengendapan (waktu, durasi) yang salah., memakai orang yang berbeda dalam melakukan uji jar test dan memilih range dosis yang terlalu sempit (Molina, *et al*, 1998 dalam EPA 2000).

Gambar 3.3. menunjukkan sketsa jar tes yang akan digunakan dalam penelitian.



Gambar 3.3. Sketsa Jar Tes

3.5.7. Pelaksanaan Penelitian

a. Uji Limbah Aki Asli

Penelitian ini dilakukan dengan langkah-langkah pelaksanaan sebagai berikut :

- a. Persiapkan sampel air limbah yang telah disampling dan diuji terlebih dahulu pHnya. Ukur terlebih dahulu konsentrasi logam Pb dan Zn yang terkandung.
- b. Tempatkan sampel pada 6 beaker glass berukuran 1L. Tempatkan 1000 mL sampel kedalam masing-masing beaker glass.
- c. Kemudian perlakuan sampel :
 - Satu macam sampel ditambahkan Ca(OH)_2 [Kalsium Hidroksida] hingga mencapai tingkatan pH yang ditetapkan yaitu sebesar 9; 9,5; 10; 10,5 dan 11.
 - Satu macam sampel ditambahkan CaCO_3 [Kalsium Karbonat] hingga mencapai tingkatan dosis yang ditetapkan yaitu sebesar 1 g/L; 2 g/L; 3 g/L; 4g/L dan 5 g/L.
- d. Kemudian masing-masing sampel dilakukan pengadukan cepat dengan variasi yang telah ditentukan yaitu 100 RPM dan 120 RPM untuk masing-masing konsentrasi selama 2 menit.
(Gambar terlampir pada **Lampiran D.19. dan D.20.**)
- e. Kemudian dilakukan pengadukan lambat dengan kecepatan 30 RPM selama 10 menit.
(Gambar terlampir pada **Lampiran D.21.**)
- f. Dilakukan sedimentasi hingga 15 menit.
(Gambar terlampir pada **Lampiran D.22.**)
- g. Filtrasi dengan menggunakan *vacuum filter* untuk memisahkan endapan.
- h. Uji untuk masing-masing sampel melalui analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*).
- i. Lakukan analisis spektrofotometri untuk mengetahui jumlah Pb^{2+} dan Zn^{2+} yang terlarut, sehingga dapat diketahui efisiensi endapan yang terjadi.
- j. Hitung Penyisihan terbesar untuk masing-masing kecepatan

b. Uji Limbah Buatan

Penelitian ini dilakukan dengan langkah-langkah pelaksanaan sebagai berikut :

- a. Persiapkan sampel air limbah buatan dengan konsentrasi sama dengan limbah asli.
(Prosedur pembuatan dapat dilihat pada **Lampiran A.5.**)
- b. Tempatkan sampel pada 6 beaker glass berukuran 1L. Tempatkan 1000 mL sampel kedalam masing-masing beaker glass.
- c. Kemudian perlakuan sampel :
 - Satu macam sampel ditambahkan Ca(OH)_2 [Kalsium Hidroksida] hingga mencapai tingkatan pH yang ditetapkan yaitu sebesar 9; 9,5; 10 ; 10,5 dan 11.
 - Satu macam sampel ditambahkan CaCO_3 [Kalsium Karbonat] hingga mencapai tingkatan dosis yang ditetapkan yaitu sebesar 1 g/L; 2 g/L; 3 g/L; 4g/L dan 5 g/L.
- d. Kemudian masing-masing sampel dilakukan pengadukan cepat dengan variasi yang telah ditentukan yaitu 100 RPM dan 120 RPM untuk masing-masing konsentrasi selama 2 menit.
(Gambar terlampir pada **Lampiran D.23. dan D.24.**)
- e. Kemudian dilakukan pengadukan lambat dengan kecepatan 30 RPM selama 10 menit.
(Gambar terlampir pada **Lampiran D.25.**)
- f. Dilakukan sedimentasi hingga 15 menit.
(Gambar terlampir pada **Lampiran D.26.**)
- g. Filtrasi dengan menggunakan *vacuum filter* untuk memisahkan endapan.
- h. Uji masing-masing sampel melalui analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*).

- i. Lakukan analisis spektrofotometri untuk mengetahui jumlah Pb^{2+} dan Zn^{2+} yang terlarut, sehingga dapat diketahui efisiensi endapan yang terjadi.
- j. Hitung Penyisihan terbesar untuk masing-masing kecepatan.

3.5.8. Analisis AAS

Data pada penelitian ini didapatkan dari uji spektrofotometri (AAS) untuk mendapatkan kadar Pb^{2+} dan Zn^{2+} terlarut. (Persiapan bahan dan alat serta prosedur dapat dilihat pada **Lampiran A.4.** dan kurva kalibrasi AAS untuk masing-masing logam terlampir pada **Lampiran B.**)

Hasil analisis konsentrasi logam berat dan prosentase Penyisihan dapat melalui perhitungan:

1. Penurunan konsentrasi logam

Penurunan konsentrasi logam dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Ce = Co - Ct$$

Dimana :

Ce = penurunan konsentrasi logam (mg/L)

Co = konsentrasi logam awal (mg/L)

Ct = konsentrasi logam akhir (mg/L)

2. Persentase penurunan konsentrasi logam dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Persentase penyisihan (\%)} = \frac{Co - Ct}{Co} \times 100 \%$$

3.5.9. Analisis Alkalinitas

Analisis alalinitas didasarkan pada standar praktikum Metode Analisa Pencemaran Lingkungan. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui besarnya alkalinitas yang terdapat dalam air. (Persiapan bahan dan alat serta prosedur dapat dilihat pada **Lampiran A.2.**)

3.5.10. Analisis COD

Analisis COD didasarkan pada standar metode yang mengacu pada *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui besarnya kandungan oksigen kimiawi (COD) dalam sampel air. (Persiapan bahan dan alat serta prosedur dapat dilihat pada **Lampiran A.3.**)

3.5.11. Analisis dan Pembahasan

Data-data yang telah diperoleh kemudian dilakukan pengolahan dan dianalisis secara hitungan maupun grafik sehingga lebih memudahkan dalam proses analisis dan pembahasan data hasil penelitian sehingga dapat diketahui kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

3.5.12. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran meliputi hasil studi literatur dan hasil analisis dari penelitian dan pembahasan mengenai penelitian yang telah dilakukan.

3.6. Penelitian Awal

3.6.1. Uji Konsentrasi Pb dan Zn Awal Limbah

Sebelum dilakukan pengolahan atau *treatment* terhadap limbah asli dan limbah buatan, terlebih dahulu dilakukan uji terhadap limbah berupa uji kadar logam berat Pb dan Zn yang terkandung dengan menggunakan alat berupa Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) atau *Atomic Adsorption Spectrophotometer* (AAS), pH serta warna secara visual.

Dari hasil uji awal, diperoleh :

Hasil uji limbah asli :

- | | |
|------------------|-----------------|
| ▪ Konsentrasi Pb | = 87,94 mg/L |
| ▪ Konsentrasi Zn | = 63,06 mg/L |
| ▪ pH | = 1,74 |
| ▪ Warna | = sedikit keruh |

Hasil uji limbah buatan:

- Konsentrasi Pb = 87,94 mg/L
- Konsentrasi Zn = 63,06 mg/L
- pH = 1,78
- Warna = jernih

3.6.2. Perhitungan Matematis Kebutuhan Dosis $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Untuk Menaikkan pH

Dalam melakukan penambahan dosis presipitan untuk menambahkan nilai pH dapat digunakan perhitungan matematis untuk mengetahui volume yang harus ditambahkan untuk mencapai pH yang dikehendaki. Perhitungan ini merupakan cara pendekatan untuk mencapai pH yang dikehendaki.

Konsentrasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$

- Massa = 20,00 gram
- Volume aquades = 200 mL
- Mr $\text{Ca}(\text{OH})_2$ = $40 + \{(16 \times 2) + (1 \times 2)\} = 74$
- Konsentrasi = $\frac{\text{massa}}{\text{volume}} = 0,1 \text{ g/mL}$
- Molaritas = $\frac{\text{massa/Mr}}{\text{volume}} = \frac{20 \text{ gram}/74}{0,2 \text{ L}} = 1,35 \text{ M}$
- Normalitas = $\frac{\text{Equivalen zat terlarut}}{\text{L Larutan}}$
 $= \frac{((\text{g zat terlarut}) / (\text{g/ekuivalen}))}{\text{L Larutan}}$
 $= \frac{((20 \text{ g}/(74/2))}{0,2 \text{ L}} = 2,7 \text{ N}$

Perhitungan Penambahan $\text{Ca}(\text{OH})_2$

- pH awal limbah = 1,74
- H^+ = antilog (- 1,74)
= 0,018 M
- Volume sampel = 1000 mL

- Rumusan hingga $\text{pH} = 7$

$$V_1 \times N_1 = V_2 \times N_2$$

Keterangan :

- V_1 = Volume sampel
- V_2 = Volume presipitan yang ditambahkan
- N_1 = Normalitas sampel
- N_2 = Normalitas presipitan

Rumusan penambahan $\text{pH} > 7$

$$\text{pOH} = \frac{V_3 \times M}{V_1 + V_2 + V_3}$$

Keterangan :

- V_1 = Volume sampel
- V_2 = Volume presipitan yang ditambahkan
- V_3 = Volume yang ditambahkan untuk mencapai $\text{pH} > 7$.
- M = Molaritas presipitan
- Penambahan dosis hingga $\text{pH} 7$

$$\begin{aligned} - \quad V_1 \times N_1 &= V_2 \times N_2 \\ 1 \text{ L} \times 0,018 &= V_2 \times 2,7 \\ V_2 &= 0,0066 \text{ L} \\ &= 6,6 \text{ mL} \end{aligned}$$

- Penambahan dosis hingga $\text{pH} 9$

$$\begin{aligned} \text{pH} &= 9 \\ \text{pOH} &= 14 - 9 = 5 \\ \text{OH}^- &= 1 \times 10^{-5} \\ \text{OH}^- &= \frac{V_3}{V_1 + V_2 + V_3} \times M \end{aligned}$$

$$1 \times 10^{-5} = \frac{V_3}{1000 \text{ mL} + 6,6 \text{ mL} + V_3} \times 1,35 \text{ M}$$

- $V_3 = 0,0074 \text{ mL}$

- maka dosis yang ditambahkan = $6,6 \text{ mL} + 0,0074 \text{ mL}$
= $6,6074 \text{ mL} \approx 6,61 \text{ mL}$
- Dengan cara yang sama didapatkan penambahan dosis untuk pH 9,5; 10; 10,5 dan 11:

Tabel 3.1. menunjukkan hasil perhitungan penambahan dosis Ca(OH)_2 .

Tabel 3.1 Hasil Perhitungan Penambahan Dosis Ca(OH)_2

pH	*Dosis Yang Ditambahkan (mL)	Total Dosis (mL)
7,00	6,60	6,60
9,00	+0,01	6,61
9,50	+0,02	6,62
10,00	+0,07	6,67
10,50	+0,23	6,83
11,00	+0,74	7,34

Sumber : Hasil Perhitungan

- * merupakan pembulatan nilai penambahan yang disesuaikan dengan *range* pada alat ukur pipet volumetrik.

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik Limbah Cair Pabrik Aki Bekas

Kegiatan-kegiatan dari industri aki bekas menghasilkan limbah logam dengan kadar yang sangat tinggi yang jika tidak diolah dengan baik nantinya akan mengakibatkan pencemaran badan air.

Hasil analisa konsentrasi logam berat Pb^{2+} dan Zn^{2+} pabrik aki bekas kota Surabaya untuk bulan April 2008 dapat dilihat pada **Tabel 4.1.**

Tabel 4.1. Karakteristik Limbah Pabrik Aki Bekas Kota Surabaya
Untuk Bulan April 2008

Parameter	Konsentrasi Terlarut	Konsentrasi Berdasar PP No. 82 Tahun 2001 Untuk Kelas III
Pb	87,94 mg/L	0,05 mg/L
Zn	63,06 mg/L	0,03 mg/L
pH	1,74	6,8 - 8
COD	680 mg O ₂ /L	-
Alkaliniti	255,45 mg/L CaCO ₃	-

Sumber: Lab Uji Air PU Waru, 2008

Adapun analisis pembandingan menggunakan limbah buatan dengan karakteristik tercantum pada **Tabel 4.2.**

Tabel 4.2. Karakteristik Limbah Buatan

Parameter	Konsentrasi Terlarut	Konsentrasi Berdasar PP No. 82 Tahun 2001 Untuk Kelas III
Pb	87,94 mg/L	0,05 mg/L
Zn	63,06 mg/L	0,03 mg/L

Tabel 4.2. Karakteristik Limbah Buatan (Lanjutan)

Parameter	Konsentrasi Terlarut	Konsentrasi Berdasar PP No. 82 Tahun 2001 Untuk Kelas III
pH	1,72	6,8 - 8
COD	720 mg O ₂ /L	-
Alkaliniti	155,23 mg/L CaCO ₃	-

Sumber: Lab Uji Air PU Waru, 2008

4.2. Analisis Pengendapan Ca(OH)₂

4.2.1. Penyimpangan Penambahan Dosis Ca(OH)₂ Secara Matematis dan Aktual

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui dosis presipitan yang dipergunakan secara non-matematis dengan menggunakan *jarstest* untuk mendapatkan pengukuran pH yang tepat dengan bantuan pH meter. Pengukuran ini juga untuk melihat seberapa besar penyimpangan yang terjadi antara perhitungan teoritis dengan keadaan yang sebenarnya.

Besar penyimpangan yang terjadi pada limbah asli dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Persentase Besar Penyimpangan Penambahan Presipitan Pada Limbah Asli

pH	Penambahan Aktual (mL)	Penambahan Teoritis (mL)	Penyimpangan (%)
9,00	8,50	6,61	22
9,50	9,50	6,62	31
10,00	10,00	6,67	34
10,50	10,60	6,83	37
11,00	11,00	7,34	38

Sumber : Hasil Perhitungan

Penyimpangan kadar penambahan presipitan juga terjadi pada limbah buatan. **Tabel 4.4.** menunjukkan besarnya penyimpangan yang terjadi pada limbah asli.

Tabel 4.4. Persentase Besar Penyimpangan Penambahan Presipitan Pada Limbah Buatan

pH	Penambahan Aktual (mL)	Penambahan Teoritis (mL)	% Penyimpangan	Penambahan Pada Limbah Asli (mL)	% Penyimpangan
9,00	28,95	6,61	77	8,50	71
9,50	29,00	6,62	77	9,50	67
10,00	29,05	6,67	77	10,00	66
10,50	29,10	6,83	77	10,60	64
11,00	29,15	7,34	77	11,00	62

Sumber : Hasil Perhitungan

Adanya perbedaan dalam penambahan dosis untuk sampel limbah asli ataupun pada limbah buatan baik secara teoritis maupun secara aktual dinyatakan dengan penyimpangan. Besarnya penyimpangan yang terjadi disebabkan oleh adanya variasi alkalinitas. Salah satu kerugian pengolahan logam berat dengan cara pengendapan adalah terbentuknya reaksi yang berkompetisi. Variasi tingkatan alkalinitas dan faktor lain umumnya membuat perhitungan dari dosis kimia yang tepat menjadi tidak memungkinkan. Pada akhirnya, penggunaan *jar test* diperlukan untuk memastikan kondisi pengolahan yang optimum (Molina, dkk dalam EPA, 2000).

Alkalinitas untuk limbah asli sebesar 255,45 mg/L CaCO_3 dan limbah buatan mencapai 155,23 mg/L CaCO_3 . Menurut Alaerts, G. dan Sumestri, S, 1987, tingginya nilai alkalinitas menunjukkan adanya senyawa garam dari asam lemah seperti asam asetat, propionat, amoniak dan sulfit (SO_3^{2-}). Komposisi berbagai macam senyawa tersebut mengakibatkan pH limbah menjadi asam, sehingga untuk menambahkan basa $\text{Ca}(\text{OH})_2$

dibutuhkan jumlah yang lebih besar dari perhitungan secara teoritis.

4.2.2. Uji pH Awal dan pH Akhir Serta Analisis Fisik Selama Proses Pengendapan

Logam berat bersifat lebih lebih toksik pada pH rendah atau asam dibandingkan pada pH basa. Hal ini terkait dengan kelarutan logam berat, dimana pada pH rendah logam berat akan larut, sedangkan pada pH tinggi umumnya logam berat akan membentuk presipat dengan hidroksida sehingga mengendap dan tidak larut.

pH awal merupakan pH yang terukur sesuai dengan kondisi *range* pH optimum. Sedangkan pH akhir merupakan pH terukur setelah terjadinya proses pengendapan.

Tabel 4.5. menunjukkan besaran pH awal, pH akhir dan analisis fisik selama proses pengendapan pada kecepatan 100 RPM dan 120 RPM untuk limbah asli.

Tabel 4.5. Hasil Pengamatan Terhadap pH Awal, pH Akhir

pH Awal	Kecepatan 100 RPM			Kecepatan 120 RPM		
	pH Akhir	Warna	Endapan	pH Akhir	Warna	Endapan
9,00	6,35	Jernih	Terbentuk	6,72	Jernih	Terbentuk
9,50	10,28	Jernih	Terbentuk	10,23	Jernih	Terbentuk
10,00	10,59	Jernih	Terbentuk	10,65	Jernih	Terbentuk
10,50	10,68	Jernih	Terbentuk	10,77	Jernih	Terbentuk
11,00	11,06	Jernih	Terbentuk	11,12	Jernih	Terbentuk

Sumber : Hasil Pengamatan

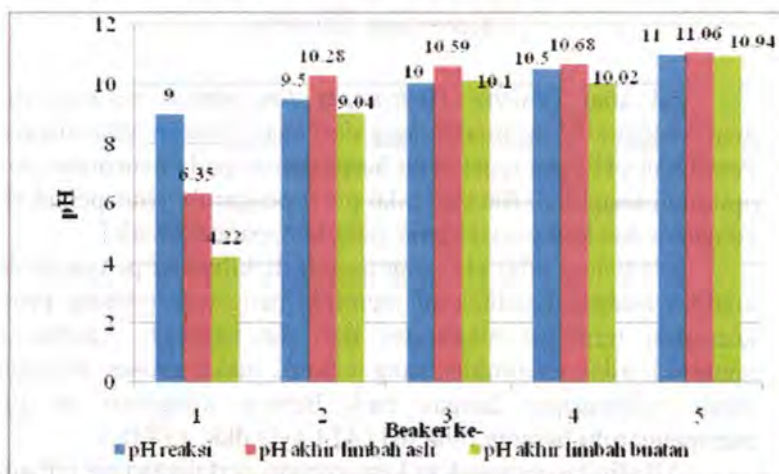
Tabel 4.6. menunjukkan besaran pH awal, pH akhir dan analisis fisik selama proses pengendapan pada kecepatan 100 RPM dan 120 RPM untuk limbah buatan.

Tabel 4.6. Hasil Pengamatan Terhadap pH Awal, pH Akhir dan Analisis Fisik Limbah Buatan

pH Awal	Kecepatan 100 RPM			Kecepatan 120 RPM		
	pH Akhir	Warna	Endapan	pH Akhir	Warna	Endapan
9,00	4,22	Jernih	Tidak Terbentuk	4,38	Jernih	Tidak Terbentuk
9,50	9,04	Jernih	Terbentuk	9,20	Jernih	Terbentuk
10,00	10,10	Jernih	Terbentuk	10,20	Jernih	Terbentuk
10,50	10,02	Jernih	Terbentuk	10,70	Jernih	Terbentuk
11,00	10,94	Jernih	Terbentuk	11,25	Jernih	Terbentuk

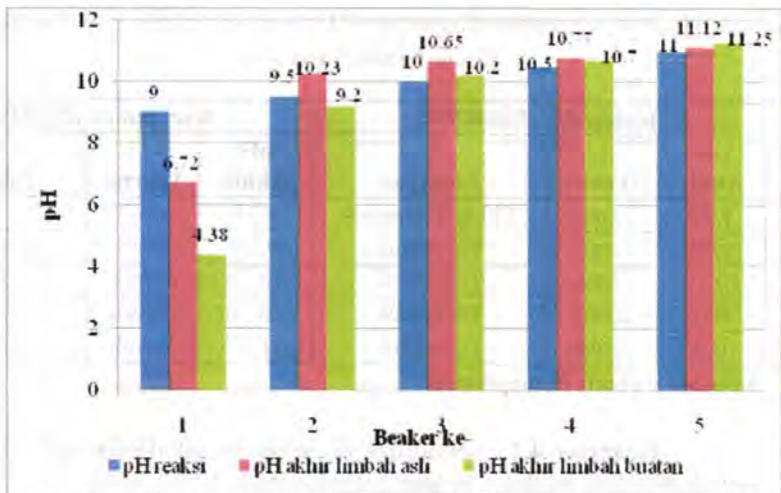
Sumber : Hasil Pengamatan

Gambar 4.1. menunjukkan pengaruh alkalinitas terhadap pH limbah asli maupun buatan pada kecepatan 100 RPM.



Gambar 4.1. Pengaruh Alkalinitas Terhadap pH Limbah Pada Kecepatan 100 RPM

Gambar 4.2. menunjukkan pengaruh alkalinitas terhadap pH limbah asli maupun buatan pada kecepatan 120 RPM.



Gambar 4.2. Pengaruh Alkalinitas Terhadap pH Limbah Pada Kecepatan 120 RPM

pH atau *Positive Hydronium Ion* adalah besaran yang menyatakan sifat asam atau basa dari suatu larutan atau suspensi. Pemilihan pH yang tepat akan berpengaruh pada penentuan dosis optimum koagulan. Batasan nilai pH dipengaruhi jenis pemakaian koagulan dan komposisi kimia yang terdapat dalam air.

Perubahan nilai pH yang terjadi diakibatkan pengaruh dari kualitas limbah. Kualitas air memiliki pengaruh terhadap proses koagulasi terutama alkalinitas dari air tersebut. Apabila air memiliki nilai alkalinitas yang cukup, maka proses koagulasi dapat berlangsung dengan baik. Bentuk koagulasi ini juga mempengaruhi besaran nilai pH (Al-Layla dkk, 1980).

Alkalinitas merupakan kemampuan pertahanan air terhadap keadaan asam. Alkalinitas disebabkan oleh adanya kandungan garam dari asam lemah, meskipun basa lemah dan kuat juga berperan. Garam lainnya juga hadir dalam jumlah yang kecil seperti borat, silikat, dan fosfat. Meskipun banyak material yang menyebabkan alkalinitas, namun secara garis besar, ada 3

penyebab alkalinitas menurut nilai pH yaitu : (1) hidroksida, (2) karbonat dan (3) bikarbonat (Sawyer, McCarty dan Parkin, 1994).

Perbedaan nilai pH reaksi dan pH setelah reaksi pada limbah asli dan limbah buatan disebabkan oleh reaksi yang terjadi selama proses. Untuk pH reaksi awal 9 kemudian selama proses nilai pH turun kembali menjadi asam dikarenakan sifat alkalinitas dan terurainya asam-asam organik yang terkandung dalam limbah (Baroto dan Siradz, 2006).

Nilai pH setelah reaksi pada limbah asli cenderung lebih tinggi dari kondisi reaksi, hal ini dimungkinkan karena adanya organisme lain seperti lumut yang ikut dalam reaksi. Lumut ini berasal dari pemakaian jirigen yang kurang bersih. Menurut Alaerts, dan Santika, 1987, organisme lumut akan menyebabkan turunnya kadar karbondioksida dan bikarbonat sehingga pada penyesuaian pH, untuk limbah asli akan lebih mudah daripada limbah buatan dan adanya penurunan karbondioksida dan bikarbonat menyebabkan nilai pH cenderung naik. Limbah buatan yang berbahan dasar aquades ditampung dalam jirigen yang lebih bersih. Namun demikian, pengaruh nilai alkalinitas dan kondisi pH awal limbah buatan yang lebih asam, yang kemungkinan disebabkan asam organik, menyebabkan pengkondisian pH jauh lebih sulit daripada limbah asli.

Ketidakstabilan nilai pH reaksi dan setelah reaksi disebabkan karena alkalinitas limbah asli mencapai 255,45 mg/L CaCO_3 dan alkalinitas limbah buatan sebesar 155,23 mg/L CaCO_3 atau lebih dari 250 mg/L CaCO_3 mengakibatkan kondisi air tidak cukup stabil untuk mempertahankan nilai pH. Kondisi ini juga dimungkinkan adanya kandungan sianida yang terkandung pada limbah. Kondisi pengendapan yang membuat pH kembali asam kemungkinan disebabkan sianida yang kemudian melarutkan kembali logam hidroksida yang terbentuk dan menghasilkan hidrogen sianida atau bahkan hidrogen sulfida.

4.2.3. Pengaruh pH Terhadap Penyisihan Logam Berat

Suatu koagulan bekerja efektif pada range pH tertentu. Pengaturan pH secara tepat akan menghasilkan kondisi yang diinginkan. Dengan terciptanya kondisi optimum, maka diharapkan terjadinya penurunan konsentrasi logam berat.

Adapun persentase penyisihan menggunakan rumusan :

Hasil analisis konsentrasi logam berat dan persentase Penyisihan dapat melalui perhitungan:

1. Penurunan konsentrasi logam

Penurunan konsentrasi logam dapat dirumuskan sebagai berikut : $C_e = C_o - C_t$

Dimana: C_e = penurunan konsentrasi logam (mg/L)

C_o = konsentrasi logam awal (mg/L)

C_t = konsentrasi logam akhir (mg/L)

2. Persentase penurunan konsentrasi logam dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Persentase Penyisihan (\%)} = \frac{C_o - C_t}{C_o} \times 100 \%$$

a. Penyisihan Logam Berat Pb Pada Limbah Asli dan Buatan Pada Kecepatan 100 RPM

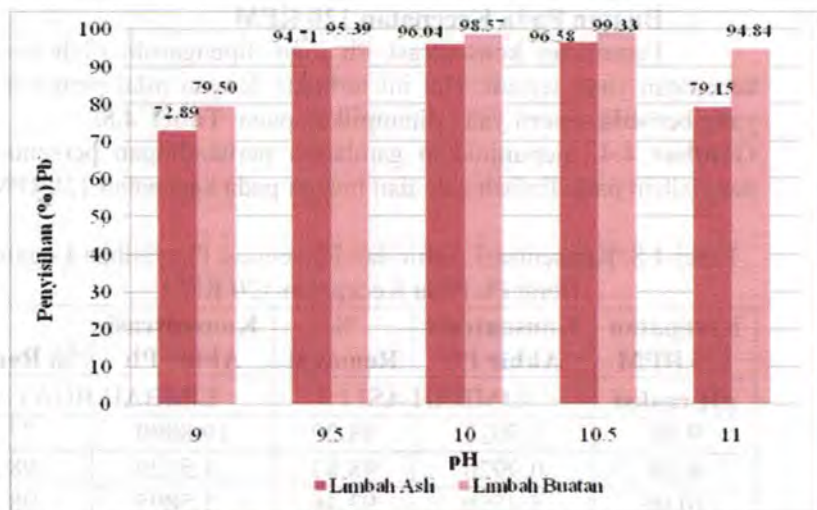
Konsentrasi logam berat Pb dapat menurun sesuai dengan sifat kelarutan logam dalam suatu larutan. Penurunan kadar logam berat Pb terkait dengan kondisi pH yang sesuai untuk kondisi pengendapan optimum.

Tabel 4.7. menunjukkan besar penyisihan Pb pada proses pengendapan pada kecepatan 100 RPM. Tabel ini membandingkan kondisi penyisihan logam Pb pada limbah asli dan buatan pada kecepatan 100 RPM. Selain itu akan disajikan gambar untuk melihat perbedaan persentase penyisihan yang ditunjukkan pada **Gambar 4.3.**

Tabel 4.7. Konsentrasi Akhir dan Persentase Penyisihan Logam Berat Pb Pada Kecepatan 100 RPM.

Kecepatan 100 RPM	Konsentrasi Akhir Pb	% Removal	Konsentrasi Akhir Pb	% Removal
pH reaksi	LIMBAH ASLI		LIMBAH BUATAN	
9,00	23,8400	72,89	18,0300	79,50
9,50	4,6550	94,71	4,0500	95,39
10,00	3,4799	96,04	1,2584	98,57
10,50	3,0050	96,58	0,5872	99,33
11,00	18,3350	79,15	4,5350	94,84

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.3. Pengaruh pH Terhadap Persentase Penyisihan Timbal (Pb) Pada Kecepatan 100 RPM

Berdasarkan Gambar 4.3. terlihat bahwa konsentrasi Pb menurun dari pH awal 1,74 sebesar 87,94 mg/L menjadi 23,84 mg/L atau menurun sebesar 72,89 %. Pada pH 9,5, konsentrasi Pb semakin menurun menjadi konsentrasi 4,655 mg/L atau sebesar

94,71 % dari keadaan awal dan pH maksimum menunjukkan titik 10,5 dengan persentase penyisihan tertinggi hingga 96,58%, namun pada pH 11, persentase penyisihan menurun menjadi 79,15%. Pola yang sama terjadi pada penyisihan logam berat Pb pada limbah buatan, dengan persentase penyisihan tertinggi terjadi pada pH 10,5 sebesar 99,33%. Kenyataan ini menunjukkan bahwa pola ini sama dengan yang ditunjukkan pada Grafik Wentz, bahwa ada satu titik pH yang merupakan pH maksimum penyisihan, kemudian pergeseran satu titik pH membuat Pb kembali larut sehingga persentase kembali menurun. Penurunan terjadi karena sifat amfoterik logam Pb.

b. Penyisihan Logam Berat Pb Pada Limbah Asli dan Buatan Pada Kecepatan 120 RPM

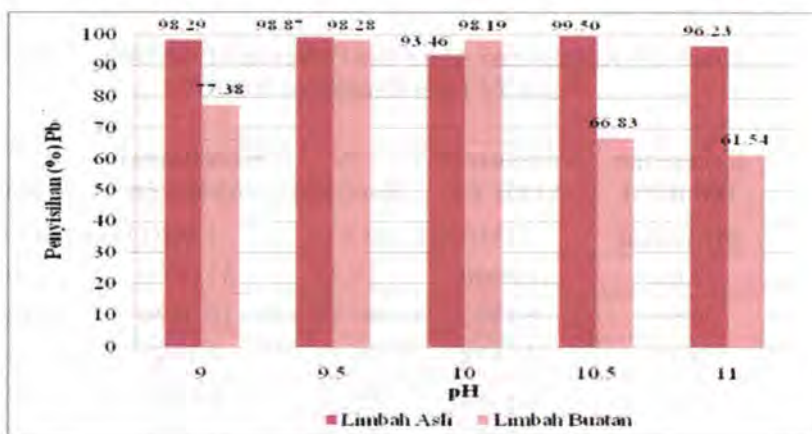
Penurunan konsentrasi Pb juga dipengaruhi oleh besar kecepatan yang terjadi. Hal ini terbukti dengan nilai penyisihan yang berbeda seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.8.

Gambar 4.4. menunjukkan gambaran perbandingan persentase penyisihan pada limbah asli dan buatan pada kecepatan 120RPM.

Tabel 4.8. Konsentrasi Akhir dan Persentase Penyisihan Logam Berat Pb Pada Kecepatan 120 RPM.

Kecepatan 120 RPM	Konsentrasi Akhir Pb	% Removal	Konsentrasi Akhir Pb	% Removal
pH reaksi	LIMBAH ASLI		LIMBAH BUATAN	
9,00	1,5022	98,29	19,8890	77,38
9,50	0,9920	98,87	1,5129	98,28
10,00	5,7550	93,46	1,5895	98,19
10,50	0,4410	99,50	29,1700	66,83
11,00	3,3175	96,23	33,8250	61,54

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.4. Pengaruh pH Terhadap Persentase Penyisihan Timbal (Pb) Pada Kecepatan 120 RPM

Berdasarkan Gambar 4.4. persentase penurunan yang terjadi pada kecepatan 120 RPM sedikit tidak beraturan. Untuk limbah asli, pada pH 9,5 dengan persentase penyisihan sebesar 98,87% kemudian menurun pada pH 10 menjadi 93,46% dan meningkat kembali pada pH 10,5 sebesar 99,50%. Pada limbah buatan pola yang terjadi lebih teratur, pengendapan maksimum terjadi pada pH 9,5 sebesar 98,28 %.

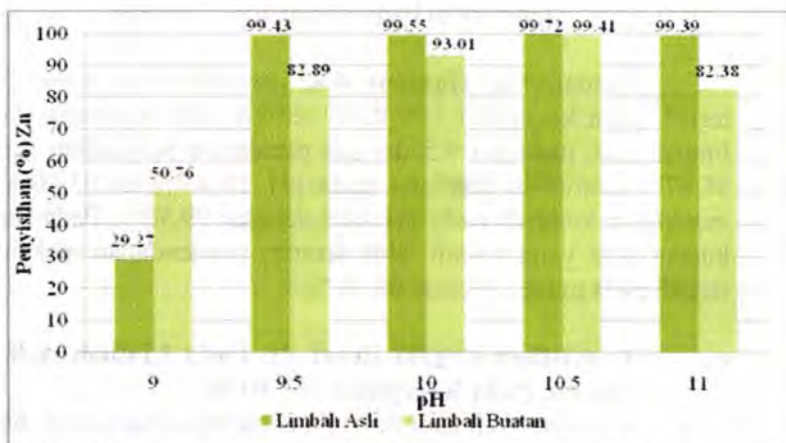
c. **Penyisihan Logam Berat Zn Pada Limbah Asli dan Buatan Pada Kecepatan 100 RPM**

Konsentrasi logam berat Zn dapat menurun sesuai dengan sifat kelarutan logam dalam suatu larutan. Penurunan kadar logam berat Zn terkait dengan kondisi pH yang sesuai untuk kondisi pengendapan optimum. Besarnya penurunan konsentrasi Zn selama masa pengendapan dapat dilihat pada Tabel 4.9. Penggambaran ini lebih jelas ditampilkan pada Gambar 4.5. yang menunjukkan persentase penyisihan yang terjadi pada kecepatan 100 RPM untuk limbah asli maupun limbah buatan.

Tabel 4.9. Konsentrasi Akhir dan Persentase Penyisihan Logam Berat Zn Pada Kecepatan 100 RPM

Kecepatan 100 RPM	Konsentrasi Akhir Zn	% Removal	Konsentrasi Akhir Zn	% Removal
pH reaksi	LIMBAH ASLI		LIMBAH BUATAN	
9,00	44,6000	29,27	31,0500	50,76
9,50	0,3592	99,43	10,7870	82,89
10,00	0,2838	99,55	4,4060	93,01
10,50	0,1764	99,72	0,3745	99,41
11,00	0,3857	99,39	11,1120	82,38

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.5. Pengaruh pH Terhadap Persentase Penyisihan Seng (Zn) Pada Kecepatan 100 RPM

Berdasarkan **Gambar 4.5.** pola yang terjadi sejalan dengan persentase penyisihan pada logam Pb. Terlihat bahwa konsentrasi Zn menurun dari pH awal 1,74 sebesar 63,06 mg/L menjadi 44,6 mg/L atau menurun sebesar 29,27 %. Pada pH 9,5,

konsentrasi Zn semakin menurun menjadi konsentrasi 0,3592 mg/L atau sebesar 99,43% dari keadaan awal dan pH maksimum menunjukkan titik 10,5 dengan persentase penyisihan tertinggi hingga 99,72%, namun pada pH 11, persentase penyisihan menurun menjadi 99,39%. Pola yang sama terjadi pada penyisihan logam berat Zn pada limbah buatan, dengan persentase penyisihan tertinggi terjadi pada pH 10,5 sebesar 99,41%. Kenyataan ini menunjukkan bahwa pola ini sama dengan yang ditunjukkan pada Grafik Wentz, bahwa ada satu titik pH yang merupakan pH maksimum penyisihan, kemudian pergeseran satu titik pH membuat Zn kembali larut sehingga persentase kembali menurun. Hal ini membuktikan sifat amfoterik dari Zn.

d. Penyisihan Logam Berat Zn Pada Limbah Asli dan Buatan Pada Kecepatan 120 RPM

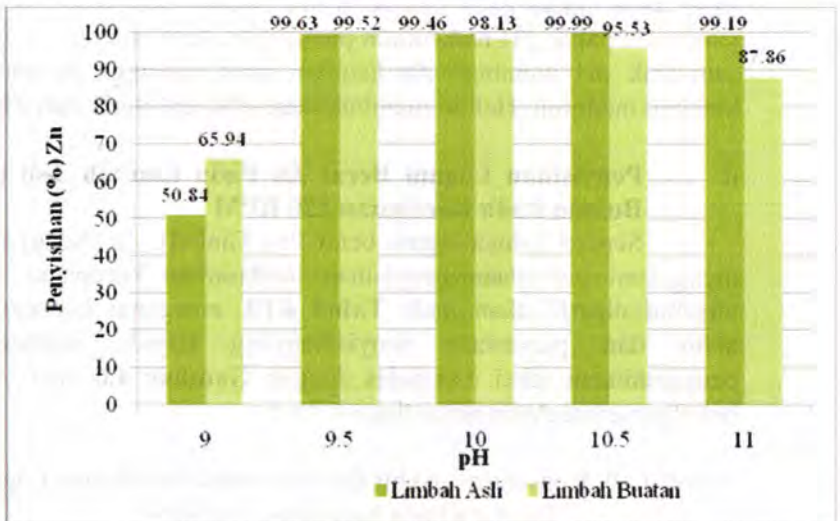
Seperti halnya logam berat Pb (Timbal), Zn (Seng) juga mengalami perbedaan penyisihan berdasarkan kecepatan. Hal tersebut diperlihatkan pada Tabel 4.10. mengenai konsentrasi akhir dan persentase penyisihan yang terjadi. Kemudian penggambaran tabel diperjelas dengan Gambar 4.6. mengenai besar persentase penyisihan logam Zn.

Tabel 4.10. Konsentrasi Akhir dan Persentase Penyisihan Logam Berat Zn Pada Kecepatan 120 RPM

Kecepatan 100 RPM	Konsentrasi Akhir Zn	% Removal	Konsentrasi Akhir Zn	% Removal
pH reaksi	LIMBAH ASLI		LIMBAH BUATAN	
9,00	31,0000	50,84	21,4760	65,94
9,50	0,2317	99,63	0,3039	99,52
10,00	0,3378	99,46	1,1820	98,13
10,50	0,0090	99,99	2,8175	95,53
11,00	0,5112	99,19	7,6550	87,86

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan **Gambar 4.6.** persentase penurunan yang terjadi pada kecepatan 120 RPM sedikit tidak beraturan untuk kondisi limbah asli, pada pH 9,5 dengan persentase penyisihan sebesar 99,63 % kemudian menurun pada pH 10 menjadi 99,46% dan meningkat kembali pada pH 10,5 sebesar 99,99%. Pada limbah buatan pola yang terjadi lebih teratur, Pengendapan maksimum terjadi pada pH 9,5 sebesar 99,52 %.



Gambar 4.6. Pengaruh pH Terhadap Persentase Penyisihan Seng (Zn) Pada Kecepatan 120 RPM

e. **Analisis Penyisihan Maksimum Logam Berat**

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan didapatkan pH maksimum dari masing-masing kecepatan pada 100 RPM dan 120 RPM. Penetapan didasarkan oleh persentase penyisihan terbesar dari masing-masing kecepatan.

Berdasarkan gambar-gambar yang menunjukkan persentase penyisihan, terlihat bahwa terlihat pola limbah asli

yang berbeda dengan penyisihan pada limbah buatan. Perbedaan pola yang terjadi dapat disebabkan oleh beberapa hal :

1. Sifat-sifat pembentuk pada masing-masing limbah.

Karakteristik limbah buatan yang hanya menggunakan campuran aquades, $Pb(NO_3)_2$, dan $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ diabaikan keberadaan kandungan logam lain, kecuali faktor alkalinitas, merupakan limbah kontrol untuk mengetahui pola penurunan logam berat ketika 2 logam berat dicampurkan dalam 1 larutan. Dari analisis yang didapat, logam berat Pb dan Zn dalam keadaan murni tersisih pada *range* pH 9,5-10,5. Pada kecepatan 100 RPM, kedua logam tersisih pada pH 10,5 dengan efisiensi penyisihan mencapai 99,33% dan Zn mencapai 99,41%. Sedangkan pada kecepatan 120 RPM, keduanya tersisih pada pH 9,5 dengan penyisihan untuk Pb mencapai 98,28% dan Zn mencapai 99,52%.

Karakteristik limbah asli lebih kompleks dari limbah buatan. Dari analisis yang didapat, logam berat Pb dan Zn pada limbah asli terjadi pada pH 10,5. Efisiensi penyisihan mencapai 96,58% untuk Pb dan 99,72% untuk Zn pada kecepatan 100 RPM. Dan pada kecepatan 120 RPM didapatkan persentase penyisihan sebesar 99,5% untuk Pb dan 99,99% untuk Zn. Uraian ini diperjelas pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11. Persentase Penyisihan Terbesar Pb dan Zn

Jenis	Limbah Asli		Limbah Buatan	
	100 RPM	120 RPM	100 RPM	120 RPM
Kecepatan				
pH maksimum	10,50	10,50	10,50	9,50
Penyisihan Pb	96,58 %	99,50 %	99,33 %	98,28 %
Penyisihan Zn	99,72 %	99,99 %	99,41%	99,52 %

Penurunan konsentrasi logam berat ini dipengaruhi oleh sifat kelarutan dari masing-masing logam berat. Jika nilai $Q_{sp} > K_{sp}$ menurut perhitungan teori maka akan ada kemungkinan untuk terjadinya pengendapan, hasil AAS tiap-tiap logam dapat

dilihat pada **Lampiran C.1.** sedangkan perhitungan matematis untuk kelarutan logam Pb dan Zn dapat dilihat pada **Lampiran C.5. dan C.6.** pH maksimum pada penelitian ini kurang sesuai dengan pH maksimum yang telah ditetapkan oleh grafik Wentz yang menyatakan bahwa kedua logam dapat mengendap pada kisaran 9,1 – 9,5 sedangkan pada kenyataannya pH maksimum mencapai 10,5. Pergeseran nilai pH terkait dengan permasalahan kelarutan masing-masing ion. Hubungan kelarutan jauh lebih rumit. Pada air alami atau air buangan, beberapa faktor harus disadari dalam perhitungan kelarutan secara realistis. Kelarutan ion mempengaruhi efek aktivitas ion larutan. Kelarutan produk dipengaruhi oleh konsentrasi kehadiran ion. Reaksi kation atau anion dengan air membentuk kompleksitas hidroksida. Sebagai tambahan, adanya kation dan anion membentuk suatu kompleksitas dengan material lain pada larutan dan mempengaruhi konsentrasi efektif. Pada akhirnya, ion lain membentuk garam dengan kelarutan rendah dari yang diharapkan. Dan prediksi kelarutan bisa menjadi salah (Sawyer, McCarty dan Parkin, 1994).

Hal ini dibuktikan dengan nilai kelarutan pada pH 6,35, secara teoritis tidak terjadi pengendapan, namun secara aktual terjadi pengendapan hingga 70%. Faktor ionisasi antarmaterial menyebabkan penyimpangan dari perhitungan teoritis. Daya ionisasi pH 6,35 pada limbah asli mengakibatkan terbentuknya ikatan antarion dan mengakibatkan terjadinya endapan. Selain adanya faktor kompleksitas, adanya kecepatan dan perubahan suhu selama kecepatan menjadi faktor yang mempengaruhi nilai Ksp.

Berdasarkan data hasil penelitian juga didapatkan pergeseran nilai pH. Secara teoritis, pH maksimum pengendapan untuk Pb pada kisaran pH 9,3 dan pengendapan Zn terjadi pada kisaran pH 9,5. Sedangkan berdasarkan hasil penelitian, keduanya mengendap maksimum pada pH 10,5. Terjadinya pergeseran dari nilai pH maksimum teori disebabkan oleh berbagai hal, diantaranya:

- pH maksimum pada Wentz hanya berlaku pada kondisi Pb dan Zn secara terpisah, sehingga diasumsikan tidak ada material lain pada larutan yang akan bereaksi dengan kation.
- Adanya pengaruh pH terhadap kelarutan. Adanya H_2CO_3 yang ditunjukkan dengan alkalinitas mempengaruhi daya ionisasi masing-masing ion. Sehingga besarnya alkalinitas mempengaruhi terbentuknya ikatan ion.
- Adanya total konsentrasi untuk Pb maupun Zn mempengaruhi kelarutan logam.
- Adanya ikatan yang dinyatakan dalam ligan dan kehadiran amonia juga mempengaruhi kelarutan.

Secara umum persentase penyisihan terbaik terjadi pada limbah asli. Hal tersebut terjadi karena banyaknya persenyawaan yang memungkinkan terjadinya interaksi antar ion. Adanya kandungan amonia dan nitrat yang lebih sedikit pada limbah asli sehingga pengendapan dapat terjadi dengan lebih baik. Sedangkan pada limbah buatan, kecilnya nilai pengendapan dari limbah asli, mungkin disebabkan adanya kandungan amonia dan sianida yang lebih banyak pada limbah buatan, karena persenyawaan Pb pada limbah buatan berupa $Pb(NO_3)_2$ memungkinkan terjadinya amonia.

Kenyataan ini menunjukkan bahwa suatu tingkat pH tertentu yang memberikan persentase (%) penurunan kadar logam berat tertentu belum tentu memberikan % penurunan yang sama untuk jenis logam berat yang berbeda. (Trihadiningrum, 2000)

2. Faktor kecepatan.

Pola penurunan logam pada masing-masing kecepatan menunjukan hasil yang berbeda. Hal ini terkait dengan masalah destabilisasi koloid yang berimbas pada kekuatan tumbukan. Daya tumbukan yang dihasilkan pada tiap kecepatan akan menghasilkan kekuatan pendestabilisasian yang berbeda. Tumbukan yang terjadi akan menghasilkan energi. Dan setiap energi yang dihasilkan bersifat endoterm sehingga timbul panas yang ditafsirkan dengan kenaikan suhu. Dan faktor inilah yang

mempengaruhi daya kelarutan logam berat, sehingga dalam kondisi pH dan kecepatan tertentu, logam berat kembali melarut akibat kenaikan suhu yang dihasilkan. Dan tentunya faktor flktuatif penurunan logam berat tidak hanya kecepatan tetapi juga kombinasi faktor lain yaitu kualitas air, jumlah dan karakteristik koloid, pH air, pengadukan cepat, waktu flokulasi dan kecepatan putaran pengaduk, suhu, alkalinitas (Al-Layla dkk, 1978).

Kecepatan pengadukan yang terlalu cepat berpengaruh pada proses koagulasi, dimana terjadi proses destabilisasi partikel dan dispersi koagulan. Pada kecepatan yang terlalu cepat dapat menyebabkan ikatan yang telah terbentuk menjadi mudah terlepas, sehingga penyisihan yang dihasilkan menjadi kurang sempurna (Al-Layla dkk, 1980). Kesempurnaan koagulasi juga dipengaruhi oleh waktu retensi. Penyisihan pada kecepatan 120 RPM menjadi optimum jika waktu pengadukan terjadi pada waktu kurang dari 2 menit, namun karena waktu retensi yang ditetapkan adalah 2 menit, maka ada kemungkinan untuk suatu ikatan terlepas kembali. Terlepasnya suatu ikatan, akan menyebabkan partikel yang semula terikat akan kembali terlarut.

4.2.4. Analisis COD Pada Limbah

Faktor-faktor mempengaruhi kelarutan logam berat limbah cair adalah :

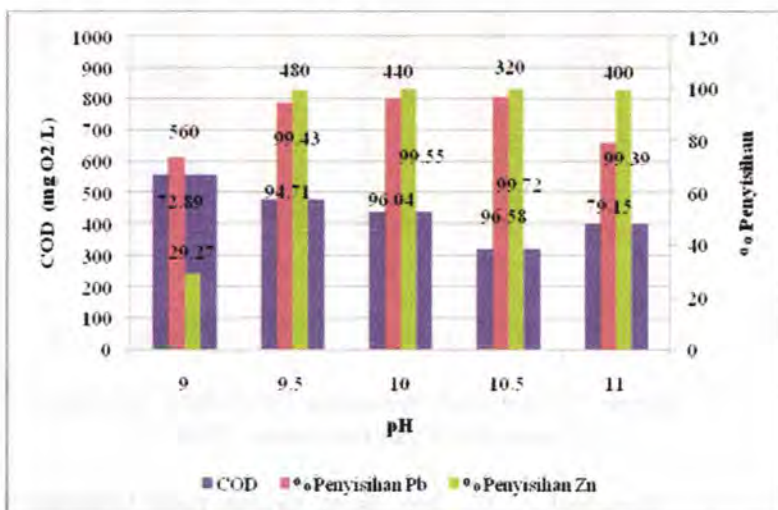
1. Terdapatnya senyawa organik yang dapat mempertinggi kelarutan logam berat akibat pembentukan senyawa kompleks.
2. Terdapatnya variasi suhu yang mmepengaruhi kelarutan logam.
3. Terdapatnya ion-ion lain dan senyawa-senyawa pembentuk kompleks yang mempengaruhi kelarutan logam berat.

Didalam penelitian ini akan diperhitungkan pengaruh senyawa organik yang direpresentasikan dengan nilai COD (*Chemical Oxydation Demand*) yang terkandung didalam limbah, baik sebelum perlakuan ataupun setelah perlakuan.

a. Analisis COD Pada Limbah Asli

COD (*Chemical Oxydation Demand*) atau Kebutuhan Oksigen Kimia (KOK) adalah jumlah oksigen ($\text{mg O}_2/\text{L}$) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam 1L sampel air, dimana pengoksidasi $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ digunakan sebagai sumber oksigen (*oxidizing agent*). Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis, dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut di dalam air (Alaerts dan Santika, 1987).

Gambar 4.7. menunjukkan besarnya kadar COD pada limbah asli dengan kecepatan 100 RPM.

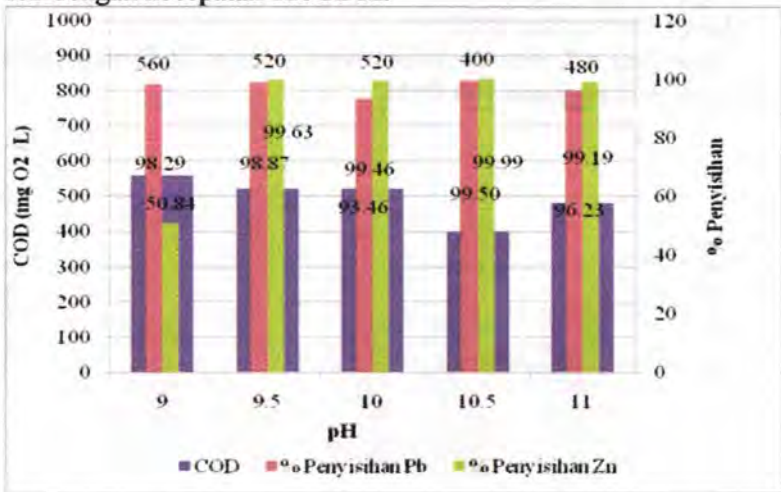


Gambar 4.7. Pengaruh Persentase Penyisihan Terhadap COD Limbah Asli Pada Kecepatan 100 RPM

Berdasarkan gambar yang menunjukkan hubungan antara persentase penyisihan dan besar COD yang dihasilkan, dapat

diketahui terdapat nilai COD pada kecepatan 100 RPM . untuk diketahui, kadar COD pada kondisi awal limbah asli sebesar 680 mg O₂ /L. Setelah dilakukan pengkondisian pH, terlihat penurunan nilai COD menjadi 560 mg O₂ /L pada pH 9. Pada pH 9,5 terjadi penurunan menjadi 480 mg O₂ /L hingga COD terendah ditunjukkan pada pH 10,5 sebesar 320 mg O₂ /L. Namun mencapai pH 11, COD kembali meningkat menjadi 400 mg O₂ /L.

Gambar 4.8. menunjukkan besarnya kadar COD pada limbah asli dengan kecepatan 120 RPM.



Gambar 4.8. Pengaruh Persentase Penyisihan Terhadap COD Limbah Asli Pada Kecepatan 120 RPM

Pengaruh COD juga dapat terlihat pada **Gambar 4.8.** pada kecepatan 120 RPM. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa seperti halnya pada kecepatan 100 RPM, pada pH yang sama yaitu 10,5, terjadi penurunan nilai COD yang diikuti oleh besarnya persentase penyisihan terbesar yang terjadi. Untuk hasil lengkap COD dapat dilihat pada **Lampiran C.3.**

Pada pH 9, terjadi penurunan COD menjadi 560 mg O₂/L. begitu juga pada pH 9,5 dan 10, nilai COD mengalami penurunan menjadi 520 mg O₂/L. Penurunan terendah terlihat pada pH 10,5 menjadi sebesar 400 mg O₂/L, dan kembali meningkat pada pH 11 menjadi 480 mg O₂/L.

Pengaruh yang ditunjukkan oleh COD dapat diklasifikasikan menjadi 2, diantaranya :

1. Besarnya nilai COD awal limbah dapat terjadi akibat kandungan amonia (NH₃) yang teroksidasi menjadi NO₃ (Nitrat) dan NO₂ (Nitrit). Selain itu pembacaan persenyawaan kompleks berupa organometal.
2. Penurunan nilai COD dapat terjadi akibat:
 - Adanya aerasi, dimana kadar oksigen bertambah sehingga organik teroksidasi. Dan faktor pengadukan merupakan bentuk aerasi.
 - Adanya pengenceran, merupakan bentuk penambahan volume larutan, berupa larutan Ca(OH)₂ yang dapat mengurangi kadar COD.

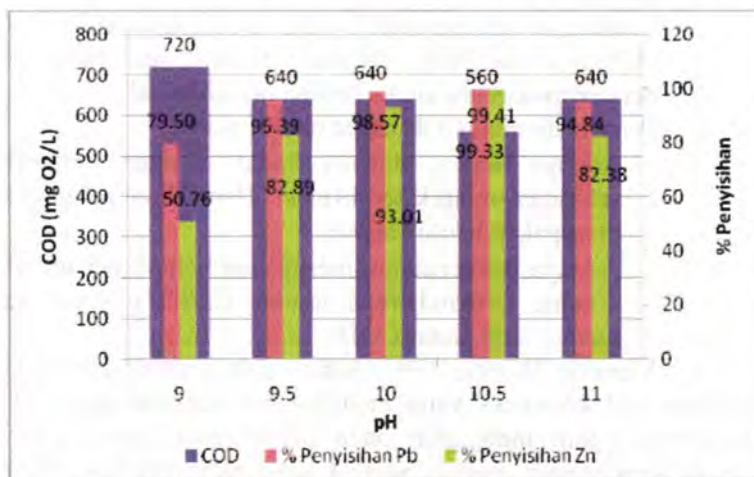
Menurut Wentz, 1995, kandungan organik membentuk organometal kompleks yang menghambat pengendapan. Daya kelarutan logam meningkat pada pH dimana logam tersebut masih terpengaruh dengan adanya kandungan organik. Hingga pada titik pH tertentu terjadi penurunan nilai COD yang diakibatkan adanya daya penurunan kelarutan logam. Zat organik tidak lagi mampu berikatan dengan logam sehingga kompleksitas dapat dimimalisasikan pada kondisi pH tertentu. Adanya endapan yang terbentuk pada titik-titik pH tertentu menandakan terlepasnya logam berat dari ikatan organik, dan zat organik tersebut teroksidasi, sehingga logam berat tersebut dapat mengendap.

b. Analisis COD Pada Limbah Buatan

Analisis COD juga dilakukan pada limbah buatan. **Gambar 4.9.** menggambarkan COD limbah buatan yang sudah

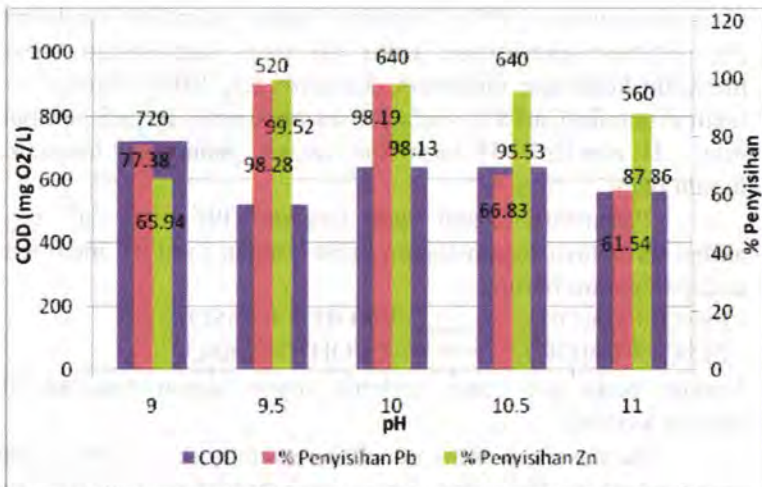
ditambahkan dengan presipitan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pada kecepatan 100 RPM.

Kondisi awal COD pada limbah buatan sebesar $720 \text{ mg O}_2/\text{L}$. Pada pH 9, nilai COD stabil pada $720 \text{ mg O}_2/\text{L}$. Pada pH 9,5 dan 10 terjadi penurunan hingga $640 \text{ mg O}_2/\text{L}$. Dan pada pH 10,5, nilai COD menurun hingga $560 \text{ mg O}_2/\text{L}$. Pada pH 11 terjadi peningkatan nilai COD hingga $640 \text{ mg O}_2/\text{L}$.



Gambar 4.9. Pengaruh Persentase Penyisihan Terhadap COD Limbah Buatan Pada Kecepatan 100 RPM

Gambar 4.10. menggambarkan COD limbah buatan yang sudah ditambahkan dengan presipitan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pada kecepatan 120 RPM.



Gambar 4.10. Pengaruh Persentase Penyisihan Terhadap COD Limbah Buatan Pada Kecepatan 120 RPM

Pada kecepatan 120 RPM nilai COD stabil pada pH 9 sebesar 720 mg O₂/L, pada pH 9,5 COD menurun mencapai 520 mg O₂/L. Pada pH 10 dan 10,5 nilai COD mencapai 640 mg O₂/L dan pada pH 11, terjadi penurunan sebesar 560 mg O₂/L.

Pengaruh COD pada limbah buatan ini diakibatkan oleh :

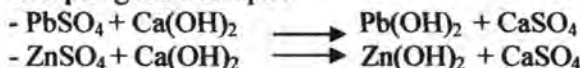
1. Tingginya nilai COD limbah buatan daripada limbah asli karena adanya oksidasi NO₃ dari bentuk Pb(NO₃)₂ dan kemungkinan adanya kandungan klorida tinggi cukup mengganggu pembacaan nilai COD.
2. Penurunan nilai COD, disebabkan faktor aerasi dan pengenceran yang terjadi.
3. Ikatan organik kemungkinan tidak terjadi karena pembentukan awal berupa ikatan nitrat dan sulfat.

4.2.5. Pengaruh Penambahan Ca(OH)₂

Prinsip pengendapan dalam penyisihan logam berat adalah dengan penambahan basa untuk mencapai tingkat pH dimana terjadi pengendapan hidroksida logam secara optimum

(Trihadiningrum, 2000). Tiap-tiap logam memiliki karakteristik pH optimum presipitasi, yaitu pH pada saat logam tersebut memiliki kelarutan minimum (Eckenfelder, 1989). Sampel yang telah dibubuhi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pada proses presipitasi terjadi perubahan nilai pH menjadi pH basa dan terjadi penurunan konsentrasi logam berat.

Penurunan logam berat terutama Pb^{2+} dan Zn^{2+} terjadi akibat terikatnya logam-logam berat dengan ion OH^- membentuk endapan garam berupa :



Namun pada pH yang berlebih logam-logam tersebut akan terlarut kembali.

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk mengendapkan Pb^{2+} dan Zn^{2+} membutuhkan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang cukup besar. Penambahan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ secara teoritis dan aktual berbeda. Hal ini terkait dengan alkalinitas pada sampel limbah sehingga terjadi perbedaan penambahan dosis. Kondisi fisik dan kimia secara tidak langsung berpengaruh pada pengkondisian pH dan penambahan dosis $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Ksp adalah hasil kali kelarutan yang menggambarkan perkalian konsentrasi ion-ion elektrolit yang sukar larut dalam larutan jenuhnya dipangkatkan koefisiennya. Endapan akan terbentuk hanya jika konsentrasi ion logam dan hidoksil lebih tinggi dari nilai Ksp. Nilai Ksp $\text{Pb}(\text{OH})_2$ sebesar $1,2 \times 10^{-15}$ dan $\text{Zn}(\text{OH})_2$ sebesar $1,2 \times 10^{-17}$, sehingga dibutuhkan dosis $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dalam jumlah cukup besar sehingga terjadi pengendapan. Namun zat pengendap yang terlalu berlebih akan mengakibatkan sebagian endapan yang terjadi akan kembali melarut sebagai akibat bertambahnya efek garam (Vogel, 1979). Baik Pb dan Zn memiliki sifat amfoter sehingga melarut kembali pada kondisi pH yang berlebih.

Proses pengendapan garam $\text{Pb}(\text{OH})_2$ dan $\text{Zn}(\text{OH})_2$ dapat terjadi ketika Pb^{2+} maupun Zn^{2+} berikatan dengan OH^- membentuk kisi kristal dan tumbuh cukup besar untuk dapat

mengendap ke bawah oleh gaya berat. Pada partikel flokulen akan terjadi perubahan diameter dan ukuran partikel akibat adanya proses tumbukan. Pembesaran ukuran partikel ini menyebabkan semakin besarnya kecepatan pengendapan sehingga memperbesar penyisihan zat padat dalam suspensi.

Besarnya ukuran partikel endapan dipengaruhi oleh kecepatan relatif dari dua proses, yaitu pembentukan inti (nukleasi) dan pertumbuhan inti. Jika kecepatan nukleasi lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan pertumbuhan inti maka partikel yang dihasilkan akan sedikit dan ukuran partikel-partikel relatif besar.

Penambahan Ca(OH)_2 dalam penurunan kadar COD tidak terlalu berpengaruh. Keadaan pengadukan dan sifat kompleksitas dan kondisi tepat untuk melepaskan ikatan logam dari organik merupakan faktor yang mempengaruhi pengendapan.

4.3. Analisis Pengendapan CaCO_3

4.3.1. Penelitian Awal

Pada awalnya penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kemampuan penyisihan pada range pH yang disesuaikan dengan range pada teori yang menyatakan bahwa pengendapan karbonat terjadi pada pH diatas 7,5. Awalnya penelitian ini memakai variabel pH untuk pengendapan karbonat sebesar 7,5; 8; 8,5 dan 9. Namun setelah dilakukan penyesuaian pH dengan penambahan presipitan karbonat hingga volume penambahan mencapai 500 mL dengan variasi konsentrasi larutan CaCO_3 1 g/100 mL – 20 g/100 mL kondisi pH tetap tidak bisa mencapai kondisi optimum yang diinginkan, kisaran pH paling besar menunjukkan bahwa penambahan CaCO_3 hanya bertahan hingga pH 5.

Secara teoritis, pengendapan karbonat dapat terjadi pada saat pH mencapai 7,5, namun harus melalui tahapan *coprecipitation*, yaitu tahapan pembentukan endapan hidroksida kemudian dilanjutkan dengan penambahan karbonat sehingga

terbentuk endapan karbonat. Dalam penelitian ini, tujuan awal adalah mencoba membandingkan kemampuan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan kemampuan CaCO_3 , sehingga yang diharapkan adalah mengetahui bagaimanakah pengendapan hidroksida terjadi dengan menggunakan kalsium hidroksida murni dan bagaimanakah pengendapan karbonat terjadi dengan menggunakan kalsium karbonat murni.

Dari hasil penelitian awal yang didapatkan, terbukti bahwa pengendapan menggunakan karbonat tidak efektif. Karena dengan berbagai penambahan konsentrasi dan dosis sebanyak apapun, pH yang terjadi tidak mencapai hasil yang optimum dan secara fisik penambahan CaCO_3 pada suatu limbah hanya menambah kekeruhan dan endapan CaCO_3 saja. Pengendapan karbonat harus melalui tahapan pengendapan hidroksida. Dan berdasarkan hasil penelitian hidroksida yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa pengendapan ini sangat efektif. Karena dengan penambahan sedikit hidroksida, pH sudah mencapai kondisi optimum yang diharapkan sehingga terbentuk endapan hidroksida. Sedangkan jika dalam pengendapan karbonat ditambahkan karbonat setelah penambahan hidroksida, maka hasil yang terjadi lebih disebabkan karena pengendapan hidroksida yang telah terjadi sebelumnya.

Dengan hasil penambahan kalsium karbonat yang tidak dapat sesuai dengan pH pengendapan, maka dilakukan variasi dosis penambahan CaCO_3 dengan pembatasan penambahan dosis dibatasi sebesar 1 g/L; 2 g/L; 3 g/L; 4 g/L dan 5 g/L untuk memberikan gambaran pola pengendapan murni CaCO_3 dan besar penyisihan yang dihasilkan pada masing-masing dosis CaCO_3 .

4.3.2. Pengaruh Dosis Presipitan CaCO_3 Terhadap pH Limbah

Pengendapan karbonat yang dilakukan tidak dapat menggunakan variasi pH tetapi digunakan variasi dosis. Penjelasan tentang kondisi penambahan dosis terhadap pH reaksi, warna serta endapan limbah buatan dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12. Analisis pH , Warna dan Endapan Secara Visual Pada Limbah Asli

Dosis (g/L)	Kecepatan 100 RPM			Kecepatan 120 RPM		
	pH Akhir	Warna	Endapan	pH Akhir	Warna	Endapan
1,00000	4,50	Jernih	tidak terbentuk	4,68	kuning coklat	terbentuk sedikit
2,00000	4,94	kuning-coklat	terbentuk sedikit	5,13	kuning coklat	terbentuk sedikit
3,00000	5,02	kuning-coklat	terbentuk sedikit	5,19	kuning coklat	terbentuk sedikit lebih banyak
4,00000	5,08	kuning-coklat	terbentuk sedikit lebih banyak	5,2	kuning coklat	terbentuk sedikit lebih banyak
5,00000	5,14	kuning-coklat	terbentuk sedikit lebih banyak	5,19	kuning coklat	terbentuk sedikit lebih banyak

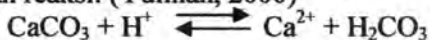
Sumber : Hasil Pengamatan

Penambahan dosis terhadap limbah buatan juga berpengaruh pada nilai pH. Tabel 4.13. menjelaskan tentang kondisi penambahan dosis terhadap pH reaksi, warna serta endapan limbah buatan.

Terbentuknya nilai pH yang rendah, $\text{pH} \pm 5$, meskipun sudah ditambahkan dosis CaCO_3 hingga pekat disebabkan karena reaksi yang terjadi adalah penambahan CaCO_3 dalam kondisi asam akan membentuk asam karbonat yang sifatnya tidak stabil.



Terbentuknya H_2CO_3 inilah yang memperlambat kenaikan pH dan maksimal pH yang dihasilkan hanya berkisar 5. Hal ini sesuai dengan reaksi: (Yulinah, 2000)



Reaksi berlangsung cepat dan menaikkan pH hingga 5-6.

Tabel 4.13. Analisis pH , Warna dan Endapan Secara Visual Pada Limbah Buatan

Dosis (g/L)	Kecepatan 100 RPM			Kecepatan 120 RPM		
	pH Akhir	Warna	Endapan	pH Akhir	Warna	Endapan
1,00000	1,60	jernih	tidak terbentuk	1,73	jernih	terbentuk sedikit
2,00000	1,64	jernih	terbentuk sedikit	1,77	jernih	terbentuk sedikit
3,00000	1,98	jernih	terbentuk sedikit	2,07	jernih	terbentuk sedikit lebih banyak
4,00000	4,1	jernih	terbentuk sedikit lebih banyak	4,22	jernih	terbentuk sedikit lebih banyak
5,00000	4,58	jernih	terbentuk sedikit lebih banyak	4,94	jernih	terbentuk sedikit lebih banyak

Sumber : Hasil Pengamatan

4.3.3. Penyisihan Lgam Berat Pada Limbah

Dosis yang ditetapkan mempengaruhi tingkat pH limbah dan nantinya akan mempengaruhi reaksi kimia. Pengaruh inilah yang akan merubah kondisi kelarutan suatu logam yang terkandung dalam larutan. Perubahan kondisi inilah dinyatakan dengan penyisihan logam berat.

a. Penyisihan Logam Berat Pb Pada Limbah Asli dan Buatan Pada Kecepatan 100 RPM

Konsentrasi logam berat Pb dapat menurun sesuai dengan sifat kelarutannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar penyisihan logam berat berdasarkan penambahan dosis yang digunakan. Hasil penurunan konsentrasi dan persentase penyisihan untuk logam Pb dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14. Konsentrasi Akhir dan Persentase Penyisihan Logam Berat Pb Pada Kecepatan 100 RPM Dengan CaCO_3

Dosis CaCO_3 (g/L)	Konsentrasi Akhir Pb	% Removal	Konsentrasi Akhir Pb	% Removal
Kecepatan 100 RPM	LIMBAH ASLI		LIMBAH BUATAN	
1,00000	81,0050	7,89	84,5800	3,82
2,00000	76,7750	12,70	82,8250	5,82
3,00000	86,6100	1,51	81,4750	7,35
4,00000	75,2700	1,41	64,6950	26,43
5,00000	85,9700	2,24	62,4700	28,96

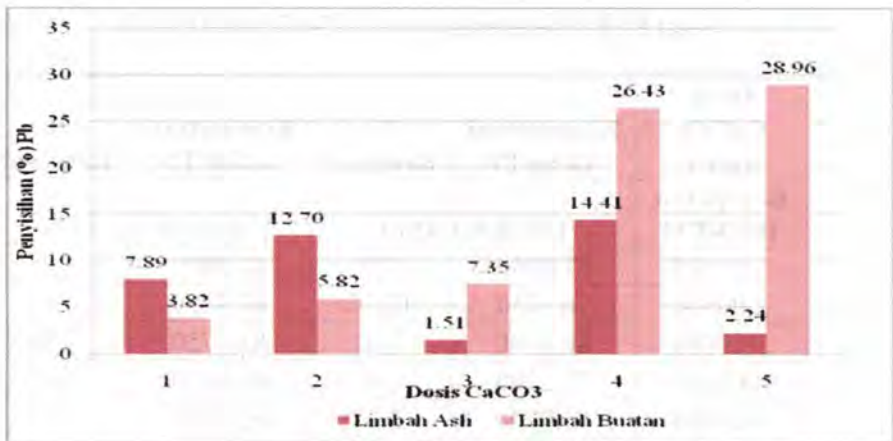
Sumber : Hasil Perhitungan

Gambar 4.11. menggambarkan penurunan konsentrasi Pb pada limbah asli dan buatan dengan kecepatan 100 RPM.

b. Penyisihan Logam Berat Pb Pada Limbah Asli dan Buatan Pada Kecepatan 120 RPM

Penyisihan dengan kecepatan 120 RPM ini juga dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh kecepatan terhadap pengendapan. Walaupun pengendapan karbonat ini terbukti tidak efektif, tetap dilakukan penelitian dengan kecepatan 120 RPM untuk mengetahui gambaran penurunan logam berat.

Tabel 4.15. menjelaskan tentang besar penurunan Pb untuk limbah asli maupun limbah buatan. Dan **Gambar 4.12.** menggambarkan besarnya penurunan konsentrasi Pb yang terjadi.

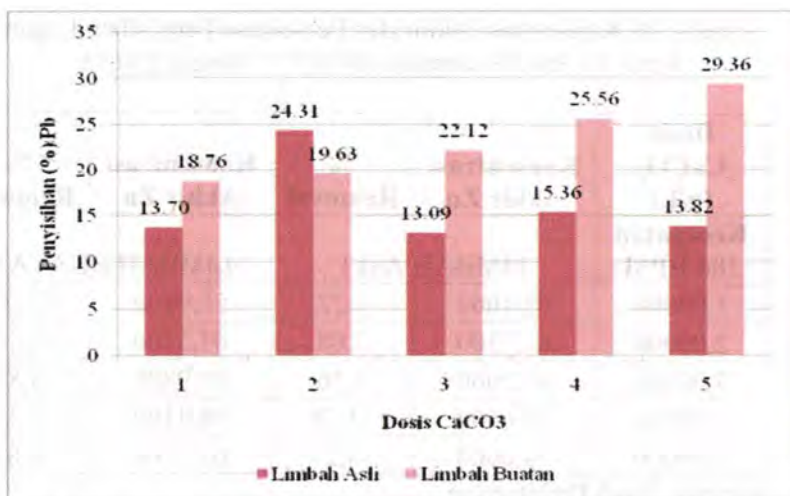


Gambar 4.11. Pengaruh Dosis CaCO_3 Terhadap Persentase Penyisihan Pengendapan Logam Berat Pb Pada Kecepatan 100 RPM

Tabel 4.15. Konsentrasi Akhir dan Persentase Penyisihan Logam Berat Pb Pada Kecepatan 120 RPM Dengan CaCO_3

Dosis CaCO_3 (g/L)	Konsentrasi Akhir Pb	% Removal	Konsentrasi Akhir Pb	% Removal	
Kecepatan 100 RPM	LIMBAH ASLI		LIMBAH BUATAN		
	1,00000	75,8900	13,70	71,4400	18,76
	2,00000	66,5650	24,31	70,6730	19,63
	3,00000	76,4300	13,09	68,4900	22,12
	4,00000	74,4290	15,36	65,4600	25,56
	5,00000	75,7900	13,82	62,1200	29,36

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.12. Pengaruh Dosis CaCO₃ Terhadap Persentase Penyisihan Pengendapan Logam Berat Pb Pada Kecepatan 120 RPM

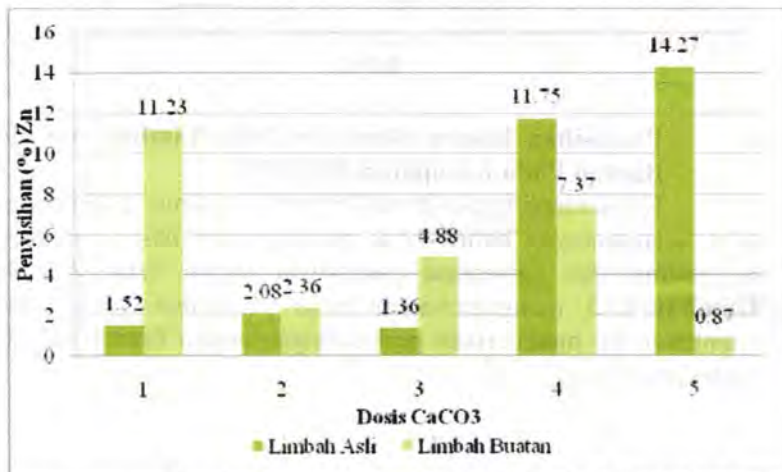
c. Penyisihan Logam Berat Zn Pada Limbah Asli dan Buatan Pada Kecepatan 100 RPM

Konsentrasi logam berat Zn dapat menurun sesuai dengan sifat kelarutannya. **Tabel 4.16.** menunjukkan besar penurunan konsentrasi dan persentase penyisihan logam berat Zn. Dan **Gambar 4.13.** menggambarkan besar penyisihan yang terjadi. Gambaran ini memberikan perbandingan antara limbah asli dan limbah buatan.

Tabel 4.16. Konsentrasi Akhir dan Persentase Penyisihan Logam Berat Zn Pada Kecepatan 100 RPM Dengan CaCO_3

Dosis CaCO_3 (g/L)	Konsentrasi Akhir Zn	% Removal	Konsentrasi Akhir Zn	% Removal
Kecepatan 100 RPM	LIMBAH ASLI		LIMBAH BUATAN	
1,00000	62,1000	1,52	55,9800	11,23
2,00000	61,7500	2,08	61,5700	2,36
3,00000	62,2000	1,36	59,9800	4,88
4,00000	55,6500	11,75	58,4100	7,37
5,00000	54,0600	14,27	62,5100	0,87

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.13. Pengaruh Dosis CaCO_3 Terhadap Persentase Penyisihan Pengendapan Logam Berat Zn Pada Kecepatan 100 RPM

d. Penyisihan Logam Berat Zn Pada Limbah Asli dan Buatan Pada Kecepatan 120 RPM

Seperti halnya logam Pb, pada logam Zn ini juga akan diperhitungkan besar penyisihan yang terjadi, yang ditunjukkan pada Tabel 4.17. dan dijelaskan melalui Gambar 4.14.

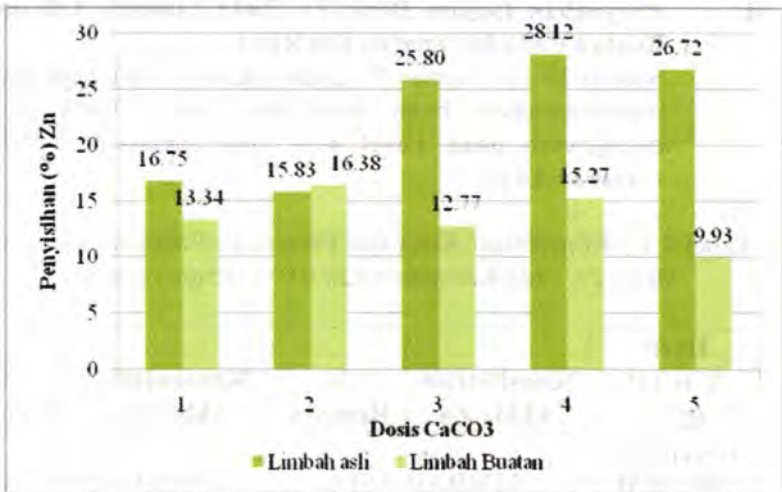
Tabel 4.17. Konsentrasi Akhir dan Persentase Penyisihan Logam Berat Zn Pada Kecepatan 120 RPM Dengan CaCO_3

Dosis CaCO_3 (g/L)	Konsentrasi Akhir Zn	% Removal	Konsentrasi Akhir Zn	% Removal
Kecepatan 100 RPM	LIMBAH ASLI		LIMBAH BUATAN	
1,00000	52,5000	16,75	54,6500	13,34
2,00000	53,0800	15,83	52,7300	16,38
3,00000	46,7890	25,80	55,0070	12,77
4,00000	45,3300	28,12	53,4320	15,27
5,00000	46,2100	26,72	56,7990	9,93

Sumber: Hasil Perhitungan

e. Analisis Penyisihan Maksimum Logam Berat

Berdasarkan hasil gambar, pengendapan CaCO_3 sangat tidak efektif. Hal tersebut dikarenakan hasil persentase penyisihan terbesar hanya mencapai 24,31% untuk logam Pb pada dosis 2 g/L dan 28,12 % pada dosis 4 g/L untuk logam Zn pada kecepatan 120 RPM. Pola pengendapan yang tidak stabil menjadikan konsentrasi penurunan tidak berjalan sempurna. Hal tersebut dikarenakan optimasi pH dengan penambahan dosis hanya mencapai pH asam. Dan sifat logam berat pada kondisi asam adalah mudah larut, sehingga gambar yang dihasilkan menunjukkan hasil yang berubah-ubah dengan persentase penyisihan sangat kecil.



Gambar 4.14. Pengaruh Dosis CaCO₃ Terhadap Persentase Penyisihan Pengendapan Logam Berat Zn Pada Kecepatan 120 RPM

Pola penyisihan logam berat pada limbah buatan tidak jauh berbeda dengan limbah asli. Berdasarkan hasil gambar, didapatkan pola yang berubah-ubah. Persentase terbesar 29,36% dosis 5 g/L pada kecepatan 120 RPM untuk Pb dan 16,38% dosis 2 g/L pada kecepatan 120 RPM. Namun persentase ini tidak dapat menjadi acuan, karena pH reaksi masih bersifat asam sehingga efisiensi yang terjadi masih bersifat fluktuatif, dan pada kondisi yang demikian tidak dapat diketahui efisiensi efektif.

4.3.4. Analisis Pengaruh Kecepatan Terhadap Persentase Penyisihan Yang Dihasilkan

Dari hasil pengolahan data yang kemudian diperjelas dengan grafik menunjukkan adanya perbedaan persentase penyisihan untuk kecepatan 100 RPM dan 120 RPM. Perbedaan inilah yang

menentukan penyisihan terbesar dan terefektif berdasarkan kecepatan.

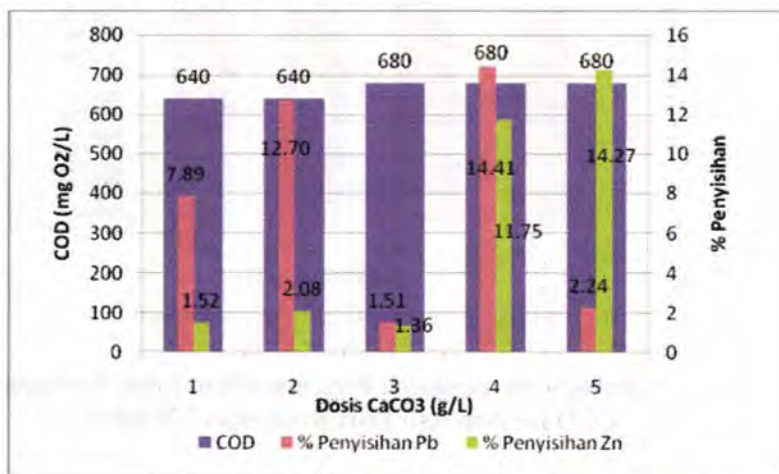
Perbedaan persentase penyisihan terkait dengan kecepatan pengadukan menunjukkan bahwa pada kecepatan 120 RPM merupakan kecepatan yang cukup efektif dalam pengendapan. Hal tersebut terjadi karena daya pengikatan antarpartikel terjadi dengan baik pada kecepatan 120 RPM.

4.3.5. Analisis COD Pada Limbah

Didalam penelitian pengendapan karbonat juga dilakukan analisis COD untuk mengetahui pengaruh COD terhadap pengendapan.

a. Analisis COD Pada Limbah Asli

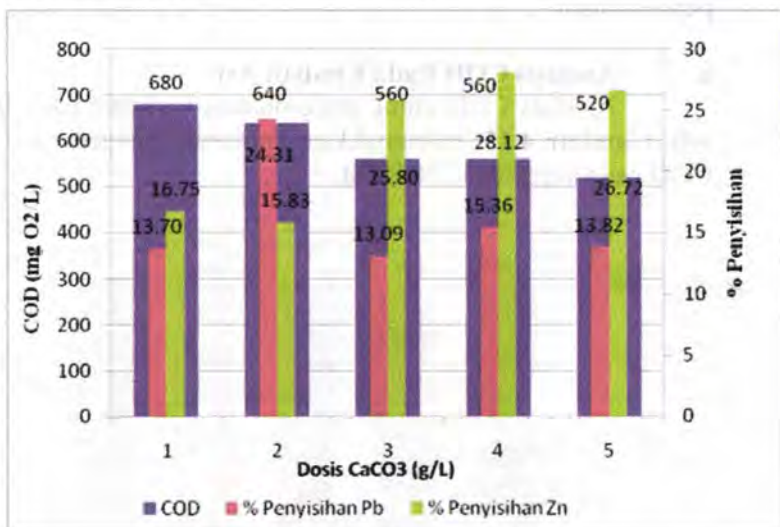
Analisis COD untuk pengendapan karbonat pada limbah asli. **Gambar 4.15.** menunjukkan gambaran mengenai pengaruh COD pada kecepatan 100 RPM.



Gambar 4.15. Pengaruh Persentase Penyisihan Terhadap COD Limbah Asli Pada Kecepatan 100 RPM

Berdasarkan Gambar 4.15. didapatkan bahwa COD Pola hubungan COD dan persentase penyisihan menggambarkan nilai COD awal limbah asli adalah 680 mg O₂/L. Pada dosis 1 g/L dan 2 g/L nilai COD menurun sebesar 640 mg O₂/L. Sedangkan nilai COD pada dosis 3 g/L; 4 g/L dan 5 g/L, kadar COD tetap stabil pada angka 680 g/L. Hal ini membuktikan bahwa nilai COD tetap stabil karena tidak ada zat organik yang teroksidasi. Besar penurunan yang terjadi kemungkinan hanya karena faktor pengadukan.

Analisis COD pada limbah asli juga diuji untuk kecepatan 120 RPM. Hasil uji dapat dilihat pada Gambar 4.16



Gambar 4.16. Pengaruh Persentase Penyisihan Terhadap COD Limbah Asli Pada Kecepatan 120 RPM

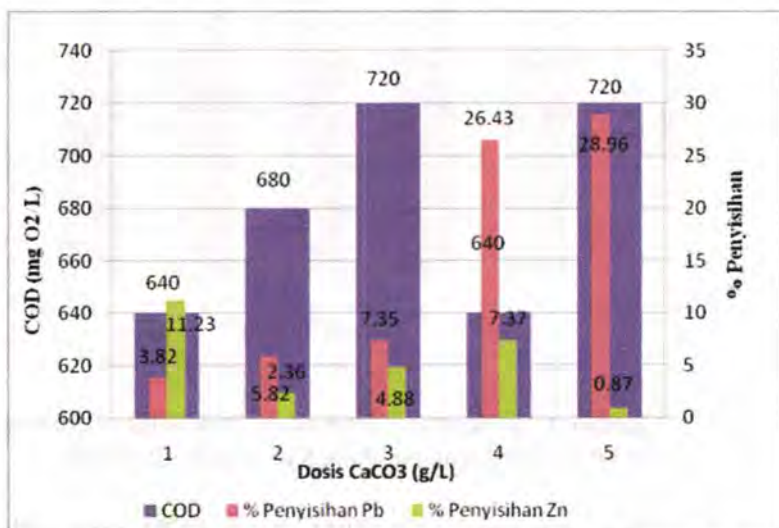
Pola yang ditunjukkan pada Gambar 4.16. menunjukkan Nilai COD limbah menurun. Tanpa adanya penyisihan yang signifikan, penurunan nilai COD lebih karena proses pengadukan yang terjadi.

Berdasarkan hasil yang didapatkan, disimpulkan bahwa COD tidak mempengaruhi kelarutan logam berat pada pengendapan karbonat.

b. Analisis COD Pada Limbah Buatan

Adanya limbah buatan merupakan suatu pembandingan terhadap kondisi limbah asli. Seperti halnya limbah asli, diuji nilai COD pada masing-masing kondisi untuk mengetahui adakah pengaruh senyawa organis pada tingkat kelarutan terhadap pengendapan karbonat.

Gambar 4.17. menunjukkan korelasi COD terhadap kelarutan logam berat.

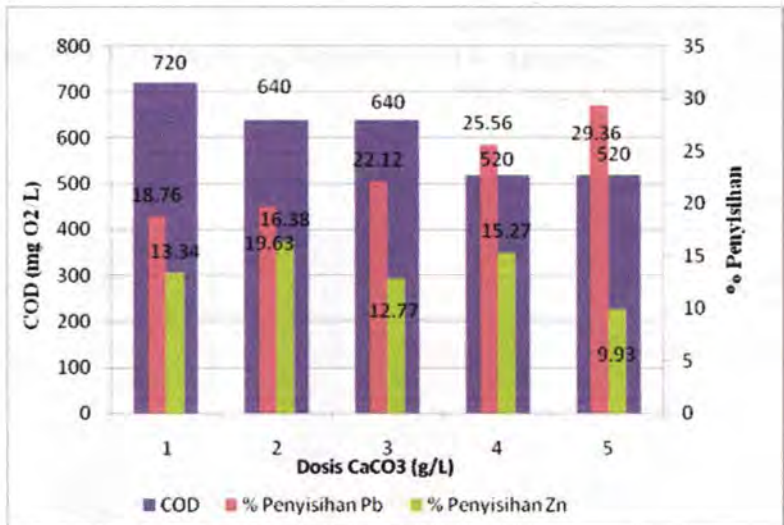


Gambar 4.17. Pengaruh Persentase Penyisihan Terhadap COD Limbah Buatan Pada Kecepatan 100 RPM

Nilai awal COD pada limbah buatan sebesar 720 mg O_2 /L. kemudian mengalami penurunan hingga 640 mg O_2 /L. Keadaan ini dapat diakibatkan oleh faktor aerasi yang terjadi. Kemudian

mengalami peningkatan menjadi 720 mg O₂/L pada dosis 3 g/L kemudian menurun kembali menjadi 640 mg O₂/L. Kekacauan nilai pembacaan ini diduga karena adanya gangguan dari Cl⁻.

Kondisi COD pada 100 RPM juga diperbandingkan dengan kondisi COD pada kecepatan 120 RPM, yang dapat dilihat pada **Gambar 4.18**. tentang pengaruh persentase penyisihan terhadap COD limbah buatan pada kecepatan 120 RPM.



Gambar 4.18. Pengaruh Persentase Penyisihan Terhadap COD Limbah Buatan Pada Kecepatan 120 RPM

Pada kecepatan 120 RPM, besar COD yang didapat relatif menurun. Kemungkinan karena faktor pengadukan.

Berdasarkan data-data yang ditunjukkan, pengendapan karbonat tidak dapat mewakili kondisi organik yang terjadi.

4.3.6. Pengendapan CaCO_3

Pengendapan karbonat merupakan salah satu pengendapan yang secara teoritis dapat terjadi (Perhitungan matematis pengendapan CaCO_3 dapat dilihat pada Lampiran C). Berdasarkan nilai K_{sp} , pengendapan karbonat adalah sesuatu yang mungkin terjadi. Namun dalam kenyataannya, pengendapan ini memerlukan semacam tahapan awal untuk mencapai pH optimum. Karena seperti penelitian yang telah dilakukan, pengendapan ini tidak berjalan efektif, jika menggunakan pengendapan murni CO_3^{2-} .

Seperti yang sudah dijelaskan diawal bahwa penambahan CaCO_3 pada keadaan asam akan menghasilkan H_2CO_3 yang merupakan asam dengan sifat yang tidak stabil. Karena itulah penambahannya harus distabilkan dengan penggunaan basa kuat untuk menghasilkan kondisi yang stabil. Suatu limbah harus melewati tahapan *co-precipitation* untuk membentuk endapan hidroksida terlebih dahulu baru kemudian ditambahkan inorganik karbonat. Cara ini memang mampu mengendapkan logam berat dengan efisiensi yang tinggi, namun tidak efektif dalam praktek pengelolaan. Karena sama halnya dengan menggunakan 2 presipitan, hidroksida dan karbonat. Penggunaan presipitan hidroksida terbukti efektif hingga pengendapan sebesar 99%, dan jika ditambahkan karbonat, maka pengendapan karbonat memberikan kontribusi yang sangat kecil bagi jalannya pengendapan.

Pengendapan pada penelitian terdahulu yang menggunakan *lime mud*, merupakan bentuk CaCO_3 namun tidak murni, karena terdapat NaOH didalamnya. Selain itu dalam prosedur penelitian Christop Pasel and Anja Elsner menggunakan Na_2CO_3 sebagai pengendap karbonat dan bukan CaCO_3 dan hal tersebut terkait dengan kereaktifan dari Na yang lebih besar dari Ca. Atom-atom dengan energi pengionan pertama rendah dari tiap periode Li, Na, K, Rb, Cs dan Fr bersifat luar biasa reaktif dalam perilaku kimia (Keenan, Kleinfelter dan Wood, 1980).

4.4. Penerapan Di Lapangan

Konsentrasi Pb dan Zn yang tinggi dalam suatu industri aki bekas dapat disisihkan dengan metode pengendapan. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan bahwa Ca(OH)_2 merupakan reagen pengendap yang efektif untuk mengendapkan logam berat hingga konsentrasi penurunan mencapai 99%. Hasil yang didapatkan jauh berbeda dengan pengendapan secara karbonat, dimana penyisihan yang terjadi hanya mencapai kisaran 20%. Hal inilah yang menyebabkan pengendapan karbonat menjadi tidak efektif. Selain tidak berhasil menyisihkan konsentrasi logam berat, pengendapan secara karbonat juga menyebabkan terjadinya endapan yang relatif besar.

a. Penerapan Pengendapan Dengan Ca(OH)_2

Penerapan pengendapan hidroksida pada limbah aki pada prinsipnya hanya memerlukan Ca(OH)_2 dalam jumlah yang tidak terlalu banyak, 10,6 mL/L Ca(OH)_2 , untuk mengkondisikan limbah hingga pada pH maksimum pengendapan hingga didapatkan persentase penyisihan tertinggi. Dari hasil proses pengkondisian pH akan terjadi endapan atau lumpur berupa gel berwarna coklat. Endapan tersebut dipisahkan dengan penyaringan melalui filter. Setelah melalui penyaringan, akan didapatkan endapan dan supernatan.

Presipitan yang berupa lumpur dipadatkan melalui proses penirisan lumpur (*sludge dewatering*) untuk menghilangkan air dari lumpur yang terbentuk. Hasil lumpur kemungkinan dapat dimanfaatkan kembali melalui :

1. Pemurnian apabila diinginkan kembali logam Pb dan Zn.
2. Pembuatan batako melalui stabilisasi dan solidifikasi dengan menggunakan *stabilizing agent* yang dapat berupa NaOH, EDTA, Na_2S , Sodium Sulfide, *brown sugar* dan Colloid Aluminate Oxide (CAO). Metode kombinasi S/S memberikan keuntungan tingkat stabilitas logam berat yang lebih baik dan potensi *sludge* sebagai bahan baku batu bata

atau campuran semen karena logam berat sudah distabilkan. (Lu *et al.*, 2004 dalam Riadi, dkk, 2006)

Pemanfaatan lumpur ini masih harus diteliti lebih dalam untuk mendapatkan hasil dan komposisi yang tepat.

Supernatan yang berupa air bebas logam berat, dikondisikan kembali pHnya hingga batas aman pH pada perairan yaitu sebesar 6,8 - 8, karena kondisi setelah pengendapan pH cenderung sangat basa, yaitu kisaran pH 11. Penetralkan pH tersebut dapat dengan meode netralisasi menggunakan H_2SO_4 hingga *range* pH 6,8 - 8.

b. Penerapan Pengendapan Dengan $CaCO_3$

Penerapan pengendapan karbonat pada limbah aki tidak efektif untuk digunakan. Karakteristik $CaCO_3$ ketika bereaksi dengan kondisi asam akan membentuk H_2CO_3 yang merupakan senyawa yang tidak stabil sehingga tidak didapatkan pengkondisian pH optimum untuk terjadinya pengendapan logam berat.

Adapun berbagai cara yang dapat dipergunakan jika tetap menggunakan pengendapan karbonat, yaitu :

1. Menambahkan volume $CaCO_3$ hingga pH yang diharapkan.
2. Memisahkan H_2CO_3 menjadi H_2O dan CO_2 dengan cara pemanasan sehingga CO_2 terlepas dan menjadi stabil dengan H_2O .
3. Menetralsir terlebih dahulu dengan basa kuat sehingga terjadi *coprecipitation* sebelum bereaksi dengan karbonat.
4. Mengganti $CaCO_3$ dengan Na_2CO_3 yang lebih reaktif.

Cara-cara yang telah tersebut diatas memiliki kerugian yang harus ditelaah sebelum menggunakan metode pengendapan karbonat, diantaranya :

1. Penambahan akan membutuhkan $CaCO_3$ dalam jumlah yang besar sehingga endapan karbonat yang terbentuk juga semakin besar.

2. Metode pemanasan akan sulit diaplikasikan, karena faktor finansial dan desain pemanas.
3. Penetralkan menggunakan basa kuat merupakan hal yang kurang efektif, karena terbukti pengendapan dengan hidroksida sudah menjadi sangat efektif tanpa penambahan pengendap lain.
4. Na_2CO_3 jauh lebih mahal daripada CaCO_3 .

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan kesimpulan yaitu :

1. Presipitan yang paling berpengaruh dalam proses pengendapan logam Pb^{2+} dan Zn^{2+} adalah presipitan hidroksida, $Ca(OH)_2$. Pengendapan dengan $Ca(OH)_2$ memiliki efisiensi penyisihan hingga Pb^{2+} hingga 99,50% dan Zn^{2+} hingga 99,99%. Sedangkan $CaCO_3$ hanya mampu mengendapkan Pb^{2+} hingga 24,31% dan Zn^{2+} 28,12%
2. Presipitan hidroksida, $Ca(OH)_2$, memiliki kemampuan dalam menurunkan konsentrasi logam terlarut yang dinyatakan dalam persentase penyisihan, hal tersebut dipengaruhi oleh besarnya pH yang dicapai. pH 10,5 merupakan pH maksimum untuk menyisihkan logam Pb^{2+} dan Zn^{2+} . Sedangkan $CaCO_3$ mampu memberikan persentase removal terbesar pada dosis 2 g/L untuk Pb^{2+} dan 4 g/L untuk Zn^{2+} .
3. Pengadukan cepat memiliki pengaruh dalam menentukan efisiensi removal terbesar. Kecepatan 120 RPM mampu menyisihkan logam Pb^{2+} dan Zn^{2+} secara maksimum baik $Ca(OH)_2$ maupun $CaCO_3$
4. COD memiliki pengaruh dalam kelarutan logam berat pada pengendapan hidroksida. Penurunan nilai COD menghasilkan peningkatan persentase penyisihan. Namun pengaruh COD terhadap kelarutan logam berat pada pengendapan karbonat tidak terjadi.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan sebagai tindak lanjut dari penelitian ini, antara lain :

1. Perlu dilakukan analisis sianida dan amonium untuk melihat korelasi dengan kelarutan logam berat.
2. Perlu dilakukan pengujian terhadap hasil filtrat untuk mengetahui kandungan Pb dan Zn pada filtrat.
3. Perlu dilakukan penelitian dengan sifat toksisitas yang ada pada limbah setelah pengendapan.
4. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai pemanfaatan lumpur/endapan hasil sedimentasi limbah pabrik aki kota Surabaya untuk pembuatan batako.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, G dan Sumestri, S. 1987. **Metode Penelitian Air**. Surabaya : Usaha Nasional.
- Al-Layla, M.A., Ahmad, S dan Middlebrooks, E. J. 1980. **Water Supply Engineering Design**. Ann Arbor Science Publisher, Inc.
- Ayres, D. M. 1994. **Removing Heavy Metals From Wastewater.Engineering Research Report**. University of Maryland.
- Baroto dan Siradz, S.A. 2006. **Taraf Pencemaran dan Kandungan Krom (Cr) pada Air dan Tanah Di Daerah Aliran Sungai Code Yogyakarta**. Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan Vol 6 (2) (2006).
- Briscoe, H. T. 1938. **General Chemistry For Collegers**. USA: Houghton Mifflin Company.
- Clesceri, Lenore S., Greenberg, Arnold E., Eator, Andrew. 1995. **Standar Methods For The Examination Of Water and Wastewater 20th Edition**. American Public Health Association.
- Darmono.1995. **Logam Dalam Biologi Mahluk Hidup**. Jakarta : Universitas Indonesia Press.
- EPA. 2000. **Wastewater Technology Fact Sheet Chemical Protection**. EPA 832-F-00-018 September 2000. United States Environmental Protection Agency Office of Water. Washigton DC.

- Haas, C. N dan Vamos, R. J. 1995. **Hazardous and Industrial Waste Treatment**. New Jersey: Prentice Hall.
- Keenan, Kleinfelter dan Wood. 1980. **Kimia Untuk Universitas**. Harper & Row, Publisher, Inc.
- Lankford, P.W. dan Eckenfelder, W.W. 1990. **Toxicity Reduction In Industrial Effluent**. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Metcalf and Eddy. 2003. **Wastewater Engineering Treatment & Reuse Fourth Edition**. New York : McGraw-Hill Companies, Inc.
- Nemerow, N. L. 1995. **Zero Pollution Industry, Waste Minimization Trough Industrial Complexes**. New York: Wiley-Interscience Publication John Wiley Sons Inc.
- Oxtoby, D.W., Gillis, H.P. dan Nachtieb, N.H. 1999. **Prinsip-Prinsip Kimia Modern Edisi Ke-4**. Jakarta: Erlangga.
- Pasel, C. and Elsner, A. 2006. **Practical Exercise Instruction Heavy Metal Precipitation**. http://www.unidue.de/imperia/md/content/abfall/duisburg/note_cpb_treatment.pdf
- Patterson, J.W., Petropoulo, C., Luo, B., Cooney, E. dan Gasca, E. 1991. **Differential Precipitation and Application for Metals Separation and Recovery**. New Development in Industrial Wastewater Treatment, 201-212. kluwer Academic Publisher Series E : Applied Sciences Volume 191. Netherland.

- Peraturan Pemerintah RI No. 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.
- Reynolds dan Richards. 1996. **Unit Operation and Processes In Environmental Engineering**. Boston: PWS Publishing Company.
- Riadi,L., Rosaria, F., Soetanto R. dan Azelea, M. 2006.**Stabilisasi Logam Berat Dalam Sludge dan Efektifitas Pembuatan Batako**. Jurnal Purifikasi Vol. 7 No. 2 Desember 2006: 151-156. Jurusan Teknik Kimia Universitas Surabaya.
- Santoleri, J. J., Reynolds, J. dan Theodore, L. 2000. **Introduction to Hazardous Waste Incneration Second Edition**. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Sawyer, C.N., McCarty, P.L., Parkin, G.F.1994. **Chemistry For Environmental Engineering**. McGraw-Hill.Inc
- Sihotang, D. 2006. **Uji Kemampuan Kompos Produksi UDPK Bratang Sebagai Media Penukar Ion Untuk Mereduksi Logam Berat Timbal (Pb) Dengan Variasi Konsentrasi Dan Variasi pH Pada Reaktor Batch**. Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan FTSP, ITS.
- Soemantojo, R.W., Wulan, P. PDK dan Yulianti. 2002. **Presipitasi Bertahap Logam Berat Limbah Cair Industri Pelapisan Logam Menggunakan larutan Kaustik Soda**. Depok : Teknik Gas dan Petrokimia, FTI,UI.
- Trihadiningrum, Y. 2000. **Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun**. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS..

- Vogel. 1979. **Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro Edisi ke-5**. Jakarta:PT Kalman Media Pustaka.
- Vogel. 1990. **Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro Edisi ke-5**. Jakarta:PT Kalman Media Pustaka.
- Wardhana, W.A. 1995. **Dampak Pencemaran Lingkungan**. Yogyakarta: Andi Yogyakarta.
- Wentz, C.A. 1995. **Hazardous Waste Management**. Second Edition. Mc-Graw-Hill.Inc.
- Wirojanagud, W., Tantemsapya, N., and Tantriratna, P. 2004. "Precipitation Of Heavy Metals By Lime Mud Waste Of Pulp and Paper Mill". Songklanakar J. Sci. Technol **26 (Suppl.I) : 45-63**
- <http://www.wikipedia.org/wiki/zink/id> (hari Sabtu, 23 Februari 2008, pukul 15.35 WIB)



LAMPIRAN

LAMPIRAN A

METODE ANALISIS LABORATORIUM

A.1. ANALISIS pH METER dan STANDARISASI

Bahan dan Alat

1. Sampel yang diukur
2. pH meter
3. HCl 0.1 N
4. HCl 5 N
5. NaOH 0.1 N
6. Aquades

Prosedur

ANALISIS pH METER

1. Celupkan elektroda pH meter ke dalam pH meter.
2. Tunggu hingga ± 1 menit hingga pembacaan stabil.
3. Catat hasil pembacaan pH terukur.

STANDARISASI pH METER

1. Masukkan separuh elektroda ke dalam larutan HCl 0.1 N beberapa detik kemudian ke larutan NaOH 0.1 N dan ulangi kegiatan ini sampai 3 kali.
2. Celupkan kemudian elektroda tersebut sebentar saja ke dalam larutan HCl 5 N
3. Bilas elektroda dengan air suling

A.2. ANALISIS ALKALINITAS

Bahan dan Alat

1. Indikator PP
2. HCl
3. NaOH
4. mo (metil orange)
5. Buret 25 ml atau 50 ml
6. Erlenmeyer 100 ml 1 buah
7. Pipet 25 ml, 10 ml

Prosedur Percobaan

1. Tuangkan dengan pipet 25 ml sampel air ke dalam erlenmeyer 100 ml.
2. Tambahkan indikator pp 3-10 tetes.
3. Jika berwarna merah titrasi dengan HCl 0.01 N
4. Jika masih berwarna bening titrasi dengan NaOH 0,01 N , kemudian tambahkan indikator mo 3 tetes.
5. untuk no 4, titrasikan dengan HCl hingga berwarna orange.
6. Hitung alkalinitas dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Alkalinitas (mg/l CaCO}_3\text{)} = \frac{b}{\text{Vol sampel}} \times N \times 50,4 \times 1000$$

Dimana : b = ml titrasi HCl

N = normalitas HCl

A.3. ANALISIS COD**Bahan dan Alat**

1. Larutan Kalium Dikromat $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.
2. Kristal Perak Sulfat (Ag_2SO_4) dicampur dengan Asam Sulfat (H_2SO_4)
3. Kristal Merkuri Sulfat (Hg_2SO_4)
4. Larutan Standart Fero Amonium Sulfat (FAS)
5. Indikator Feroin
6. Buret 50 ml 1 buah
7. Erlenmeyer COD 2 buah
8. Pipet 10 ml, 5 ml.
9. Beker glass 50 ml 1 buah.

Prosedur Percobaan

1. Masukkan 0,5 sampel kedalam tabung
2. Beri $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ sebanyak 2 ml
3. Masukkan serbuk HgSO_4 sedikit
4. Masukkan Ag dalam Hg_2SO_4 sebanyak 2 ml
5. Tutup tabung kemudian kocok hingga merata
6. Susun tabung didalam rak.
7. Panaskan dengan kompor hingga 300 W selama 2 jam

8. Tambahkan indikator ferroin sebanyak 3 tetes
9. Titrasi dengan FAS hingga warna merah bata
10. Hitung COD dengan menggunakan rumus berikut :

$$\text{COD (mg/l CO}_2\text{)} = \frac{(a - b) \times N \times 8000}{\text{ml sampel}}$$

Dimana : a = ml FAS titrasi blanko

b = ml FAS titrasi sampel

N = normalitas FAS

A.4. ANALISIS AAS

A.4.1. ANALISIS LOGAM TIMBAL (Pb)

Bahan

- a) air suling;
- b) asam nitrat, HNO₃;
- c) larutan standar logam timbal, Pb; dan
- d) gas asetilen, C₂H₂.

Peralatan

- a) SSA;
- b) lampu hollow katoda Pb;
- c) gelas piala 250 mL;
- d) pipet ukur 1 mL; 5 mL; 10 mL; 15 mL dan 20 mL;
- e) labu ukur 100 mL;
- f) corong gelas;
- g) pemanas listrik;
- h) kertas saring whatman 40, dengan ukuran pori θ 0.42 μm ; dan
- i) labu semprot .

Pembuatan larutan kerja logam timbal, Pb

- a) Pipet 0 mL; 1 mL; 5 mL; 10 mL; 15 mL dan 20 mL larutan baku timbal, Pb 10,0 mg/L masing-masing ke dalam labu ukur 100 mL.
- b) Tambahkan larutan pengencer sampai tepat tanda tera sehingga diperoleh konsentrasi logam timbal 0,0 mg/L; 1,0 mg/L; 5,0 mg/L; 10,0 mg/L; 15,0 mg/L dan 20,0 mg/L.

Prosedur dan pembuatan kurva kalibrasi

- a) Optimalkan alat SSA sesuai petunjuk penggunaan alat.
- b) Ukur masing-masing larutan kerja yang telah dibuat pada panjang gelombang 283,3 nm.
- c) Buat kurva kalibrasi untuk mendapatkan persamaan garis regresi.
- d) Lanjutkan dengan pengukuran contoh uji yang sudah dipersiapkan.

A.4.2. ANALISIS LOGAM SENG (Zn)**Bahan**

- a) air suling;
- b) asam nitrat, HNO_3 ;
- c) larutan standar logam seng, Zn; dan
- d) gas asetilen, C_2H_2 .

Peralatan

- a) SSA;
- b) lampu holow katoda Zn;
- c) gelas piala 250 mL;
- d) pipet ukur 5 mL; 10 mL dan 20 mL;
- e) labu ukur 100 mL;
- f) corong gelas;
- g) pemanas listrik;
- h) kertas saring whatman 40, dengan ukuran pori θ 0.42 μm ; dan
- i) labu semprot.

Pembuatan larutan kerja logam seng, Zn

- a) Pipet 0 mL; 0,5 mL; 1 mL; 2 mL; 5 mL; 10 mL dan 20 mL larutan baku seng, Zn 10 mg/L masing-masing ke dalam labu ukur 100 mL.
- b) Tambahkan larutan pengencer sampai tepat tanda tera sehingga diperoleh konsentrasi logam besi 0,0 mg/L; 0,05 mg/L; 0,1 mg/L; 0,2 mg/L; 0,5 mg/L; 1,0 mg/L dan 2,0 mg/L.

Prosedur dan pembuatan kurva kalibrasi

- c) Optimalkan alat SSA sesuai petunjuk penggunaan alat.
- d) Ukur masing-masing larutan kerja yang telah dibuat pada panjang gelombang 213,9 nm.
- e) Buat kurva kalibrasi untuk mendapatkan persamaan garis regresi.
- f) Lanjutkan dengan pengukuran contoh uji yang sudah di persiapkan.

A.5. PROSEDUR PEMBUATAN LIMBAH BUATAN

b. Dosis Pb murni

Pb (Timbal) yang dipergunakan adalah Pb murni yang akan dilarutkan dalam bentuk $Pb(NO_3)_2$. Pb murni yang dipergunakan berbentuk bubuk berwarna coklat.

Pembuatan Larutan $Pb(NO_3)_2$

- a. Prosedur pembuatan $Pb(NO_3)_2$ berdasarkan Standart Method
Larutkan 0,10000 g Pb murni pada 20 mL 1+1 HNO_3 dan encerkan hingga 1000 mL dengan aquades.
1,00 mL = 100 μ g Pb atau setara dengan konsentrasi 100 mg/L

- b. Perhitungan berdasarkan konsentrasi awal

Konsentrasi Pb pada limbah asli adalah sebesar 87,94 mg/L. Dalam penelitian ini akan dibuat stock larutan hingga volume 5 liter. Maka prosedur pembuatan $Pb(NO_3)_2$ adalah sebagai berikut :

- Besarnya dosis Pb murni adalah $87,94 \text{ mg} \times 5$ (untuk keperluan 5 liter) = 439,7 mg
- Perbandingan 1:1 untuk HNO_3 dan aquades, maka untuk kebutuhan larutan sebesar 5 liter diperlukan 50 mL HNO_3 dan 50 mL aquades.

c. Dosis $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$

Zn (Seng) yang dipergunakan adalah dalam bentuk $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$. Seng ini berbentuk butiran kasar seperti kristal-kristal kecil berwarna putih.

a. Prosedur pembuatan (0,25 M) $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ berdasarkan Vogel

Larutkan 72 gram Zink Sulfat Heptahidrat $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ dalam air dan encerkan sampai 1 liter.

Berdasarkan prosedur diatas, maka konsentrasi kandungan Zn^{2+} dalam $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ adalah :

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Ar Zn}}{\text{Mr } ZnSO_4 \cdot 7H_2O} \times \frac{\text{Massa}}{\text{Liter}} \\
 &= \frac{65,38}{287,54} \times \frac{72 \text{ gram}}{1 \text{ liter}} \\
 &= 16,37 \text{ gram/liter}
 \end{aligned}$$

b. Perhitungan berdasarkan konsentrasi awal

Konsentrasi Zn pada limbah asli adalah sebesar 65,38 mg/L. Untuk mendapatkan konsentrasi seperti pada limbah asli, maka massa Zink Sulfat Heptahidrat $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ yang harus dipergunakan adalah:

$$\begin{aligned}
 \text{Konsentrasi (mg/L)} &= \frac{\text{Ar Zn}}{\text{Mr } ZnSO_4 \cdot 7H_2O} \times \frac{\text{Massa}}{\text{Liter}} \\
 65,38 &= \frac{65,38}{287,54} \times a \\
 a &= 277,33 \text{ mg/l} \approx 0,2773 \text{ g/l}
 \end{aligned}$$

Sehingga kebutuhan Zn untuk pembuatan stok sebesar 5 L adalah sebesar 1,3865 g.

LAMPIRAN B

KURVA KALIBRASI

Dalam penelitian ini analisa Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) atau *Atomic Adsorben Spectrophotometry* (AAS) harus dibuat terlebih dahulu kurva kalibrasi. Definisi kurva kalibrasi adalah suatu kurva yang dibuat dari larutan-larutan standart yang diketahui atau yang diketahui konsentrasinya dan telah dikalibrasi. Dikalibrasi yang dimaksud adalah yang telah dibuat kurva kalibrasi untuk membantu mengetahui konsentrasi sampel yang dianalisa.

Cara membuat kurva kalibrasi :

- a. Dibuat larutan standart dari masing-masing unsur yang akan dianalisa, dimana larutan standart tersebut telah ditentukan konsentrasinya.
- b. Masing-masing larutan standart dianalisa sesuai dengan prosedur analisa yang ada.
- c. Dari analisa dengan menggunakan AAS, diperoleh nilai absorbansi masing-masing larutan standart.
- d. Dengan adanya data absorbansi dan konsentrasi larutan standart kemudian dicari persamaan regresinya dengan persamaan :
$$Y = A + Bx$$

Dimana :

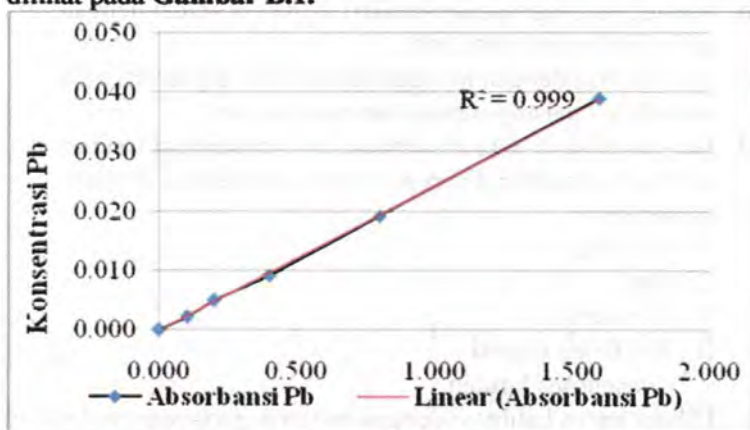
A : Konstanta
B : Koefisien regresi
x : Konsentrasi larutan
- e. Dibuat kurva kalibrasi dengan menarik garis regresi dari titik-titik yang diperoleh dengan bantuan rumus diatas. Pada kurva ini absorbansi diletakkan pada sumbu Y, sedangkan konsentrasi diletakkan pada sumbu X.
- f. Kemudian untuk mencari konsentrasi dari sampel yang dianalisa, maka data absorbansinya diplot pada kurva kalibrasi (sumbu Y) lalu ditarik garis lurus pada garis regresi. Setelah itu ditarik garis ke bawah sehingga diperoleh konsentrasi sampel.

Konsentrasi dan absorbansi untuk Kalibrasi Timbal (Pb) dapat dilihat pada **Tabel B.1.**

Tabel B.1. Kalibrasi Timbal (Pb)

Konsentrasi	Absorbansi Pb
0.000	0.000
0.1000	0.0022
0.2000	0.005
0.4000	0.0092
0.8000	0.0192
1.6000	0.039

Gambar grafik mengenai kurva kalibrasi Timbal (Pb) dapat dilihat pada **Gambar B.1.**



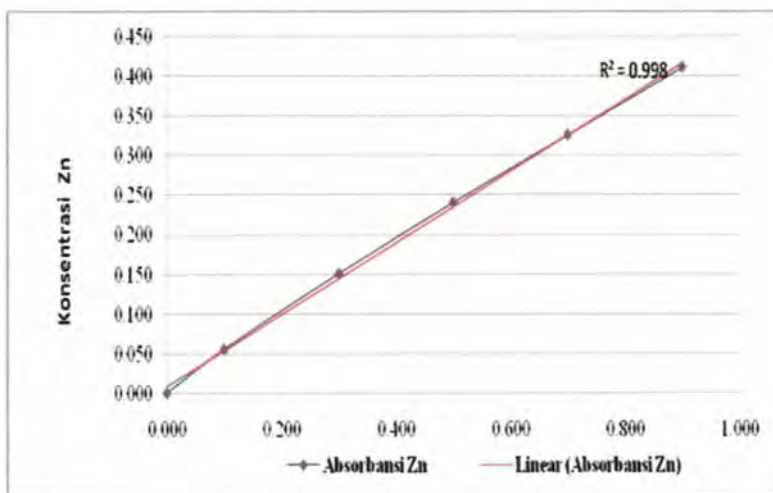
Gambar B.1. Kurva Kalibrasi Timbal (Pb)

Konsentrasi dan absorbansi untuk Kalibrasi Seng (Zn) dapat dilihat pada **Tabel B.2.**

Tabel B.2. Kalibrasi Seng (Zn)

Konsentrasi	Absorbansi Zn
0.000	0.000
0.1000	0.0553
0.3000	0.1506
0.5000	0.2404
0.7000	0.3257
0.9000	0.4109

Gambar grafik mengenai kurva kalibrasi Seng (Zn) dapat dilihat pada **Gambar B.2.**



Gambar B.2. Kurva Kalibrasi Seng (Zn)

LAMPIRAN C

HASIL ANALISIS PERCOBAAN

C.1. Hasil Spektrofotometri Serapan Atom Untuk Pengendapan Ca(OH)_2

Tabel C.1. menampilkan hasil analisis konsentrasi logam berat Pb terlarut limbah asli dan limbah buatan melalui uji Spektrofotometri Serapan Atom .

Tabel C.1. Konsentrasi Terlarut Pb

	Aksi	Sample ID	Absorbansi	Konsentrasi	Aktual Konsentrasi
1	AUTOZERO				
2	BLK		0,0013		
3	STD	0,1000 mg/L	0,0022	0,1000	
4	STD	0,2000 mg/L	0,0050	0,2000	
5	STD	0,4000 mg/L	0,0092	0,4000	
6	STD	0,8000 mg/L	0,0192	0,8000	
7	STD	1,6000 mg/L	0,0390	1,6000	
8	BLK		0,0010		
9	UNK [1]	A	2,1402	87,9400	87,9400
10	UNK [2]	B	0,5802	23,8400	23,8400
11	UNK [3]	C	0,1133	4,6550	4,6550
12	UNK [4]	D	0,0847	3,4799	3,4799
13	UNK [5]	E	0,0731	3,0050	3,0050
14	UNK [6]	F	0,4462	18,3350	18,3350
15	UNK [7]	G	0,0366	1,5022	1,5022
16	UNK [8]	H	0,0241	0,9920	0,9920
17	UNK [9]	I	0,1401	5,7550	5,7550
18	UNK [10]	J	0,0107	0,4410	0,4410
19	UNK [11]	K	0,0807	3,3175	3,3175
20	UNK [12]	L	0,4388	18,0300	18,0300
21	UNK [13]	M	0,0986	4,0500	4,0500
22	UNK [14]	N	0,0306	1,2584	1,2584
23	UNK [15]	O	0,0143	0,5872	0,5872
24	UNK [16]	P	0,1104	4,5350	4,5350

Tabel C.1. Konsentrasi Terlarut Pb (Lanjutan)

	Aksi	Sample ID	Absorbansi	Konsentrasi	Aktual Konsentrasi
25	UNK [18]	Q	0,4840	19,8890	19,8890
26	UNK [19]	R	0,0368	1,5129	1,5129
27	UNK [20]	S	0,0387	1,5895	1,5895
28	UNK [21]	T	0,7099	29,1700	29,1700
29	UNK [22]	U	0,8232	33,8250	33,8250

Sumber: Hasil AAS

Keterangan :Sampel ID merupakan kode atas perlakuan masing-masing sampel yang telah diolah dengan pengendapan.

- A : Limbah asli tanpa perlakuan
 B : Limbah asli pH 9 ;100 RPM
 C : Limbah asli pH 9,5 ;100 RPM
 D : Limbah asli pH 10 ;100 RPM
 E : Limbah asli pH 10,5 ;100 RPM
 F : Limbah asli pH 11 ;100 RPM
 G : Limbah asli pH 9 ;120 RPM
 H : Limbah asli pH 9,5 ;120 RPM
 I : Limbah asli pH 10 ;120 RPM
 J : Limbah asli pH 10,5 ;120 RPM
 K : Limbah asli pH 11 ;120 RPM
 L : Limbah buatan pH 9 ;100 RPM
 M : Limbah buatan pH 9,5 ;100 RPM
 N : Limbah buatan pH 10 ;100 RPM
 O : Limbah buatan pH 10,5 ;100 RPM
 P : Limbah buatan pH 11 ;100 RPM
 Q : Limbah buatan pH 9 ;120 RPM
 R : Limbah buatan pH 9,5 ;120 RPM
 S : Limbah buatan pH 10 ;120 RPM
 T : Limbah buatan pH 10,5 ;120 RPM
 U : Limbah buatan pH 11 ;120 RPM

Tabel C.2. menampilkan hasil analisis konsentrasi logam berat Zn terlarut limbah asli dan limbah buatan melalui uji AAS.

Tabel C.2. Konsentrasi Terlarut Zn

	Aksi	Sample ID	Absorbansi	Konsentrasi	Aktual Konsentrasi
1	AUTOZERO				
2	BLK		0,0020		
3	STD	0,0553 mg/L	0,0022	0,1000	
4	STD	0,1506 mg/L	0,0050	0,2000	
5	STD	0,2404 mg/L	0,0092	0,4000	
6	STD	0,3257 mg/L	0,0192	0,8000	
7	STD	0,4109 mg/L	0,0390	1,6000	
8	BLK		0.0031		
9	UNK [1]	A	1,5347	63,0600	63,0600
10	UNK [2]	B	1,0854	44,6000	44,6000
11	UNK [3]	C	0,0087	0,3592	0,3592
12	UNK [4]	D	0,0069	0,2838	0,2838
13	UNK [5]	E	0,0043	0,1764	0,1764
14	UNK [6]	F	0,0094	0,3857	0,3857
15	UNK [7]	G	0,7544	31,0000	31,0000
16	UNK [8]	H	0,0056	0,2317	0,2317
17	UNK [9]	I	0,0082	0,3378	0,3378
18	UNK [10]	J	0,0002	0,0090	0,0090
19	UNK [11]	K	0,0124	0,5112	0,5112
20	UNK [12]	L	0,7557	31,0500	31,0500
21	UNK [13]	M	0,2625	10,7870	10,7870
22	UNK [14]	N	0,1072	4,4060	4,4060
23	UNK [15]	O	0,0091	0,37455	0,37455
24	UNK [16]	P	0,2704	11,1120	11,1120
25	UNK [18]	Q	0,5227	21,4760	21,4760
26	UNK [19]	R	0,0074	0,3039	0,3039
27	UNK [20]	S	0,0288	1,1820	1,1820
28	UNK [21]	T	0,0686	2,8175	2,8175
29	UNK [22]	U	0,1863	7,6550	7,6550

Sumber : Hasil AAS

C.2. Hasil Spektrofotometri Serapan Atom Untuk Pengendapan CaCO_3

Tabel C.3. menampilkan hasil analisis konsentrasi logam berat Pb terlarut limbah asli dan limbah buatan melalui uji Spektrofotometri Serapan Atom.

Tabel C.3. Konsentrasi Terlarut Pb

	Aksi	Sample ID	Absorbansi	Konsentrasi	Aktual Konsentrasi
1	AUTOZERO				
2	BLK		0,0013		
3	STD	0,1000 mg/L	0,0022	0,1000	
4	STD	0,2000 mg/L	0,0050	0,2000	
5	STD	0,4000 mg/L	0,0092	0,4000	
6	STD	0,8000 mg/L	0,0192	08000	
7	STD	1,6000 mg/L	0,0390	1,6000	
8	BLK		0,0010		
9	UNK [1]	A1	2,1402	87,9400	87,9400
10	UNK [2]	B1	1,9714	81,0050	81,0050
11	UNK [3]	C1	1,8685	76,7750	76,7750
12	UNK [4]	D1	2,1078	86,6100	86,6100
13	UNK [5]	E1	1,8318	75,2700	75,2700
14	UNK [6]	F1	2,0922	85,9700	85,9700
15	UNK [7]	G1	1,8469	75,8900	75,8900
16	UNK [8]	H1	1,6200	66,5650	66,5650
17	UNK [9]	I1	1,8601	76,4300	76,4300
18	UNK [10]	J1	1,8114	74,4290	74,4290
19	UNK [11]	K1	1,8445	75,7900	75,7900

Tabel C.3. Konsentrasi Terlarut Pb (Lanjutan)

	Aksi	Sample ID	Absorbansi	Konsentrasi	Aktual Konsentrasi
22	UNK [14]	N1	1,9828	81,4750	81,4750
23	UNK [15]	O1	1,5745	64,6950	64,6950
24	UNK [16]	P1	1,5203	62,4700	62,4700
25	UNK [18]	Q1	1,7386	71,4400	71,4400
26	UNK [19]	R1	1,7200	70,6730	70,6730
27	UNK [20]	S1	1,6668	68,4900	68,4900
28	UNK [21]	T1	1,5931	65,4600	65,4600
29	UNK [22]	U1	1,5118	62,1200	62,1200

Sumber : Hasil AAS

Tabel C.4. menampilkan hasil analisis konsentrasi logam berat Zn terlarut limbah asli dan limbah buatan melalui uji AAS.

Tabel C.4. Konsentrasi Terlarut Zn

	Aksi	Sample ID	Absorbansi	Konsentrasi	Aktual Konsentrasi
1	AUTOZERO				
2	BLK		0,0020		
3	STD	0,0553 mg/L	0,0022	0,1000	
4	STD	0,1506 mg/L	0,0050	0,2000	
5	STD	0,2404 mg/L	0,0092	0,4000	
6	STD	0,3257 mg/L	0,0192	0,8000	
7	STD	0,4109 mg/L	0,0390	1,6000	
8	BLK		0,0031		
9	UNK [1]	A1	1,5347	63,0600	63,0600
10	UNK [2]	B1	1,5113	62,1000	62,1000
11	UNK [3]	C1	1,5028	61,7500	61,7500
12	UNK [4]	D1	1,5138	62,2000	62,2000
13	UNK [5]	E1	1,3543	55,6500	55,6500
14	UNK [6]	F1	1,3156	54,0600	54,0600
15	UNK [7]	G1	1,2777	52,5000	52,5000

Tabel C.4. Konsentrasi Terlarut Zn (Lanjutan)

	Aksi	Sample ID	Absorbansi	Konsentrasi	Aktual Konsentrasi
16	UNK [8]	H1	1,2918	53,0800	53,0800
17	UNK [9]	I1	1,1387	46,7890	46,7890
18	UNK [10]	J1	1,1032	45,3300	45,3300
19	UNK [11]	K1	1,1246	46,2100	46,2100
20	UNK [12]	L1	1,3624	55,9800	55,9800
21	UNK [13]	M1	1,4984	61,5700	61,5700
22	UNK [14]	N1	1,4597	59,9800	59,9800
23	UNK [15]	O1	1,4215	58,4100	58,4100
24	UNK [16]	P1	1,5213	62,5100	62,5100
25	UNK [18]	Q1	1,3300	54,6500	54,6500
26	UNK [19]	R1	1,2833	52,7300	52,7300
27	UNK [20]	S1	1,3387	55,0070	55,0070
28	UNK [21]	T1	1,3004	53,4320	53,4320
29	UNK [22]	U1	0,1411	5,7990	5,7990

Sumber : Hasil AAS

C.3. Hasil Analisis COD (*Chemical Oxidation Demand*)

Tabel C.4. menunjukkan hasil analisis COD pada masing-masing pengendapan.

Tabel C.4. Hasil Analisis COD

pH Awal	Analisis COD Ca(OH) ₂		Dosis Awal (g/L)	Analisis COD CaCO ₃	
	Kecepatan 100 RPM	mL Titran mg O ₂ /L		Kecepatan 100 RPM	mL Titran mg O ₂ /L
Limbah Asli	3,95	680	Limbah Asli	3,95	680
9,00	3,70	880	1,00000	4,00	640
9,50	3,80	800	2,00000	4,00	640
10,00	3,90	720	3,00000	3,95	680
10,50	4,00	640	4,00000	3,95	680
11,00	3,80	800	5,00000	3,95	680

Tabel C.4. Hasil Analisis COD (Lanjutan)

pH Awal	Analisis COD Ca(OH) ₂		Dosis Awal	Analisis COD CaCO ₃	
	Kecepatan 120 RPM			Kecepatan 120 RPM	
Limbah Asli	3,95	680	Limbah Asli	3,95	680
9,00	3,80	800	1,00000	3,95	680
9,50	3,90	720	2,00000	4,00	640
10,00	3,90	720	3,00000	4,10	560
10,50	4,00	640	4,00000	4,10	560
11,00	3,60	960	5,00000	4,15	520
Kecepatan 100 RPM	mL Titran	mg O ₂ /L	Kecepatan 100 RPM	mL Titran	mg O ₂ /L
Limbah Buatan	3,90	720	Limbah Buatan	3,90	720
9,00	3,90	720	1,00000	4,00	640
9,50	3,80	800	2,00000	3,95	680
10,00	3,90	720	3,00000	3,90	720
10,50	4,00	640	4,00000	4,00	640
11,00	3,75	840	5,00000	3,90	720
Kecepatan 120 RPM			Kecepatan 120 RPM		
Limbah Buatan	3,90	720	Limbah Buatan	3,90	720
9,00	3,90	720	1,00000	3,90	720
9,50	4,15	520	2,00000	4,00	640
10,00	3,80	800	3,00000	4,00	640
10,50	3,75	840	4,00000	4,15	520
11,00	3,50	1040	5,00000	4,15	520

Sumber : Hasil Perhitungan

C.4. Hasil Perhitungan Matematis Untuk Ksp

Contoh perhitungan.

Perhitungan Ksp Untuk Pembentukan $\text{Pb}(\text{OH})_2$.

Diketahui :

- $\text{Ksp Pb}(\text{OH})_2 = 1,2 \times 10^{-15}$
- pH akhir 6,72
- pOH = $14 - 6.72 = 7,28$
- $[\text{Pb}^{2+}] = \frac{87,94 \text{ mg/L}}{207,2} = 0,42 \text{ mmol/L} = 0,42 \times 10^{-3} \text{ M}$
- Harga hasil kali kelarutan (Qsp)
 - $\text{Pb}^{2+} \times (\text{OH})^2 = 0,42 \times 10^{-3} \times (10^{-7.28})^2$
 - $= 0,42 \times 10^{-3} \times 10^{-14.56}$
 - $= 1,156 \times 10^{-18}$
- $\text{Qsp} > \text{Ksp} = \text{Terjadi endapan}$
- $\text{Qsp} < \text{Ksp} = \text{Tidak terjadi endapan}$
- Dari perhitungan didapatkan nilai $\text{Qsp} < \text{Ksp}$, tidak terjadi endapan.
- Cara perhitungan ini berlaku untuk lain.
- Tabel C.5. dan C.6. menjelaskan mengenai perhitungan Ksp pada masing-masing logam.

Tabel C.5. Perhitungan Matematis Ksp Pada Pengendapan Timbal (Pb)

Pengendapan Pb(OH) ₂	Ksp	pH	pOH	pOH ²	Konsentrasi	Qsp	Korelasi	Keterangan
pH awal	1,2 . 10 ⁻¹⁵	9,00	5,00	-10,00	0,00042	4,2E-14	Qsp>Ksp	mengendap
	1,2 . 10 ⁻¹⁵	9,50	4,50	-9,00	0,00042	4,2E-13	Qsp>Ksp	mengendap
	1,2 . 10 ⁻¹⁵	10,00	4,00	-8,00	0,00042	4,2E-12	Qsp>Ksp	mengendap
	1,2 . 10 ⁻¹⁵	10,50	3,50	-7,00	0,00042	4,2E-11	Qsp>Ksp	mengendap
	1,2 . 10 ⁻¹⁵	11,00	3,00	-6,00	0,00042	4,2E-10	Qsp>Ksp	mengendap
LIMBAH ASLI								
Kecepatan 100 RPM	1,2 . 10 ⁻¹⁵	6,35	7,65	-15,30	0,00042	2,105E-19	Qsp<Ksp	Tidak mengendap
	1,2 . 10 ⁻¹⁵	10,28	3,72	-7,44	0,00042	1,5249E-11	Qsp>Ksp	mengendap
	1,2 . 10 ⁻¹⁵	10,59	3,41	-6,82	0,00042	6,357E-11	Qsp>Ksp	mengendap
	1,2 . 10 ⁻¹⁵	10,68	3,32	-6,64	0,00042	9,6216E-11	Qsp>Ksp	mengendap
	1,2 . 10 ⁻¹⁵	11,06	2,94	-5,88	0,00042	5,5367E-10	Qsp>Ksp	mengendap
Kecepatan 120 RPM	1,2 . 10 ⁻¹⁵	6,72	7,28	-14,56	0,00042	1,1568E-18	Qsp<Ksp	Tidak mengendap
	1,2 . 10 ⁻¹⁵	10,23	3,77	-7,54	0,00042	1,2113E-11	Qsp>Ksp	mengendap
	1,2 . 10 ⁻¹⁵	10,65	3,35	-6,70	0,00042	8,3801E-11	Qsp>Ksp	mengendap
	1,2 . 10 ⁻¹⁵	10,77	3,23	-6,46	0,00042	1,4563E-10	Qsp>Ksp	mengendap

Tabel C.5. Perhitungan Matematis Ksp Pada Pengendapan Timbal (Pb) (Lanjutan)

Pengendapan Pb(OH) ₂	Ksp	pH	pOH	pOH ²	Konsentrasi	Qsp	Korelasi	Keterangan
LIMBAH BUATAN								
Kecepatan 100 RPM	1,2 . 10 ⁻¹⁵	4,22	9,78	-19,56	0,00042	1,1568E-23	Qsp<Ksp	Tidak mengendap
	1,2 . 10 ⁻¹⁵	9,04	4,96	-9,92	0,00042	5,0495E-14	Qsp>Ksp	mengendap
	1,2 . 10 ⁻¹⁵	10,10	3,90	-7,80	0,00042	6,6566E-12	Qsp>Ksp	mengendap
	1,2 . 10 ⁻¹⁵	10,02	3,98	-7,96	0,00042	4,6052E-12	Qsp>Ksp	mengendap
	1,2 . 10 ⁻¹⁵	10,94	3,06	-6,12	0,00042	3,186E-10	Qsp>Ksp	mengendap
Kecepatan 120 RPM	1,2 . 10 ⁻¹⁵	4,38	9,62	-19,24	0,00042	2,4168E-23	Qsp<Ksp	Tidak mengendap
	1,2 . 10 ⁻¹⁵	9,20	4,80	-9,60	0,00042	1,055E-13	Qsp>Ksp	mengendap
	1,2 . 10 ⁻¹⁵	10,20	3,80	-7,60	0,00042	1,055E-11	Qsp>Ksp	mengendap
	1,2 . 10 ⁻¹⁵	10,70	3,30	-6,60	0,00042	1,055E-10	Qsp>Ksp	mengendap
	1,2 . 10 ⁻¹⁵	11,25	2,75	-5,50	0,00042	1,3282E-09	Qsp>Ksp	mengendap
Pengendapan PbCO₃	Ksp	pH	pOH	CaCO₃	Konsentrasi	Qsp	Korelasi	Keterangan
pH awal	7,4 . 10 ⁻¹⁴	9,00	5,00	0,001	0,00042	0,00042097	Qsp>Ksp	mengendap
	7,4 . 10 ⁻¹⁴	9,50	4,50	0,002	0,00042	0,00042194	Qsp>Ksp	mengendap
	7,4 . 10 ⁻¹⁴	10,00	4,00	0,003	0,00042	0,00042291	Qsp>Ksp	mengendap
	7,4 . 10 ⁻¹⁴	10,50	3,50	0,004	0,00042	0,00042389	Qsp>Ksp	mengendap
	7,4 . 10 ⁻¹⁴	11,00	3,00	0,005	0,00042	0,00042486	Qsp>Ksp	mengendap

Tabel C.5. Perhitungan Matematis Ksp Pada Pengendapan Timbal (Pb) (Lanjutan)

Pengendapan Pb(OH) ₂	Ksp	pH	pOH	pOH ²	Konsentrasi	Qsp	Korelasi	Keterangan
LIMBAH ASLI								
Kecepatan 100 RPM	$7,4 \cdot 10^{-14}$	4,50	9,50	0,001	0,00042	0,00042097	Qsp<Ksp	mengendap
	$7,4 \cdot 10^{-14}$	4,94	9,06	0,002	0,00042	0,00042194	Qsp<Ksp	mengendap
	$7,4 \cdot 10^{-14}$	5,02	8,98	0,003	0,00042	0,00042291	Qsp<Ksp	mengendap
	$7,4 \cdot 10^{-14}$	5,08	8,92	0,004	0,00042	0,00042389	Qsp<Ksp	mengendap
	$7,4 \cdot 10^{-14}$	5,14	8,86	0,005	0,00042	0,00042486	Qsp<Ksp	mengendap
Kecepatan 120 RPM	$7,4 \cdot 10^{-14}$	4,68	9,32	0,001	0,00042	0,00042097	Qsp<Ksp	mengendap
	$7,4 \cdot 10^{-14}$	5,13	8,87	0,002	0,00042	0,00042194	Qsp<Ksp	mengendap
	$7,4 \cdot 10^{-14}$	5,19	8,81	0,003	0,00042	0,00042291	Qsp<Ksp	mengendap
	$7,4 \cdot 10^{-14}$	5,20	8,80	0,004	0,00042	0,00042389	Qsp<Ksp	mengendap
	$7,4 \cdot 10^{-14}$	5,19	8,81	0,005	0,00042	0,00042486	Qsp<Ksp	mengendap
LIMBAH BUATAN								
Kecepatan 100 RPM	$7,4 \cdot 10^{-14}$	1,60	12,40	0,001	0,00042	0,00042097	Qsp<Ksp	mengendap
	$7,4 \cdot 10^{-14}$	1,64	12,36	0,002	0,00042	0,00042194	Qsp<Ksp	mengendap
	$7,4 \cdot 10^{-14}$	1,98	12,02	0,003	0,00042	0,00042291	Qsp<Ksp	mengendap
	$7,4 \cdot 10^{-14}$	4,10	9,90	0,004	0,00042	0,00042389	Qsp<Ksp	mengendap
	$7,4 \cdot 10^{-14}$	4,58	9,42	0,005	0,00042	0,00042486	Qsp<Ksp	mengendap

Tabel C.5. Perhitungan Matematis Ksp Pada Pengendapan Timbal (Pb) (Lanjutan)

Pengendapan Pb(OH) ₂	Ksp	pH	pOH	pOH ²	Konsentrasi	Qsp	Korelasi	Keterangan
Kecepatan 120 RPM	7,4 . 10 ⁻¹⁴	1,73	12,27	0,001	0,00042	0,00042097	Qsp<Ksp	mengendap
	7,4 . 10 ⁻¹⁴	1,77	12,23	0,002	0,00042	0,00042194	Qsp<Ksp	mengendap
	7,4 . 10 ⁻¹⁴	2,07	11,93	0,003	0,00042	0,00042291	Qsp<Ksp	mengendap
	7,4 . 10 ⁻¹⁴	4,22	9,78	0,004	0,00042	0,00042389	Qsp<Ksp	mengendap
	7,4 . 10 ⁻¹⁴	4,94	9,06	0,005	0,00042	0,00042486	Qsp<Ksp	mengendap

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel C.6. Perhitungan Matematis Ksp Pada Pengendapan Seng (Zn)

Pengendapan Zn(OH) ₂	Ksp	pH	pOH	pOH ²	Konsentrasi	Qsp	Korelasi	Keterangan
pH awal	1,2 . 10 ⁻¹⁷	9,00	5,00	-10,00	0,00042	4,2E-14	Qsp>Ksp	mengendap
	1,2 . 10 ⁻¹⁷	9,50	4,50	-9,00	0,00042	4,2E-13	Qsp>Ksp	mengendap
	1,2 . 10 ⁻¹⁷	10,00	4,00	-8,00	0,00042	4,2E-12	Qsp>Ksp	mengendap
	1,2 . 10 ⁻¹⁷	10,50	3,50	-7,00	0,00042	4,2E-11	Qsp>Ksp	mengendap
	1,2 . 10 ⁻¹⁷	11,00	3,00	-6,00	0,00042	4,2E-10	Qsp>Ksp	mengendap
LIMBAH ASLI								
Kecepatan 100 RPM	1,2 . 10 ⁻¹⁷	6,35	7,65	-15,30	0,00042	2,105E-19	Qsp<Ksp	Tidak mengendap

Tabel C.6. Perhitungan Matematis Ksp Pada Pengendapan Seng (Zn) (Lanjutan)

Pengendapan Zn(OH) ₂	Ksp	pH	pOH	pOH ²	Konsentrasi	Qsp	Korelasi	Keterangan
	1,2 . 10 ⁻¹⁷	10,28	3,72	-7,44	0,00042	1,5249E-11	Qsp>Ksp	mengendap
	1,2 . 10 ⁻¹⁷	10,59	3,41	-6,82	0,00042	6,357E-11	Qsp>Ksp	mengendap
	1,2 . 10 ⁻¹⁷	10,68	3,32	-6,64	0,00042	9,6216E-11	Qsp>Ksp	mengendap
	1,2 . 10 ⁻¹⁷	11,06	2,94	-5,88	0,00042	5,5367E-10	Qsp>Ksp	mengendap
Kecepatan 120 RPM	1,2 . 10 ⁻¹⁷	6,72	7,28	-14,56	0,00042	1,1568E-18	Qsp<Ksp	Tidak mengendap
	1,2 . 10 ⁻¹⁷	10,23	3,77	-7,54	0,00042	1,2113E-11	Qsp>Ksp	mengendap
	1,2 . 10 ⁻¹⁷	10,65	3,35	-6,70	0,00042	8,3801E-11	Qsp>Ksp	mengendap
	1,2 . 10 ⁻¹⁷	10,77	3,23	-6,46	0,00042	1,4563E-10	Qsp>Ksp	mengendap
	1,2 . 10 ⁻¹⁷	11,12	2,88	-5,76	0,00042	7,2988E-10	Qsp>Ksp	mengendap
LIMBAH BUATAN								
Kecepatan 100 RPM	1,2 . 10 ⁻¹⁷	4,22	9,78	-19,56	0,00042	1,1568E-23	Qsp<Ksp	Tidak mengendap
	1,2 . 10 ⁻¹⁷	9,04	4,96	-9,92	0,00042	5,0495E-14	Qsp>Ksp	mengendap

Tabel C.6. Perhitungan Matematis Ksp Pada Pengendapan Seng (Zn) (Lanjutan)

Pengendapan ZnCO ₃	Ksp	pH	pOH	CaCO ₃	Konsentrasi	Qsp	Korelasi	Keterangan
	$1,2 \cdot 10^{-17}$	10,10	3,90	-7,80	0,00042	6,6566E-12	Qsp>Ksp	mengendap
	$1,2 \cdot 10^{-17}$	10,02	3,98	-7,96	0,00042	4,6052E-12	Qsp>Ksp	mengendap
	$1,2 \cdot 10^{-17}$	10,94	3,06	-6,12	0,00042	3,186E-10	Qsp>Ksp	mengendap
Kecepatan 120 RPM	$1,2 \cdot 10^{-17}$	4,38	9,62	-19,24	0,00042	2,4168E-23	Qsp<Ksp	Tidak mengendap
	$1,2 \cdot 10^{-17}$	9,20	4,80	-9,60	0,00042	1,055E-13	Qsp>Ksp	mengendap
	$1,2 \cdot 10^{-17}$	10,20	3,80	-7,60	0,00042	1,055E-11	Qsp>Ksp	mengendap
	$1,2 \cdot 10^{-17}$	10,70	3,30	-6,60	0,00042	1,055E-10	Qsp>Ksp	mengendap
	$1,2 \cdot 10^{-17}$	11,25	2,75	-5,50	0,00042	1,3282E-09	Qsp>Ksp	mengendap
pH awal	$1,4 \cdot 10^{-11}$	9,00	5,00	0,001	0,00042	0,00042097	Qsp>Ksp	mengendap
ZnCO ₃	$1,4 \cdot 10^{-11}$	9,50	4,50	0,002	0,00042	0,00042194	Qsp>Ksp	mengendap
	$1,4 \cdot 10^{-11}$	10,00	4,00	0,003	0,00042	0,00042291	Qsp>Ksp	mengendap
	$1,4 \cdot 10^{-11}$	10,50	3,50	0,004	0,00042	0,00042389	Qsp>Ksp	mengendap
	$1,4 \cdot 10^{-11}$	11,00	3,00	0,005	0,00042	0,00042486	Qsp>Ksp	mengendap
LIMBAH ASLI								
Kecepatan 100 RPM	$1,4 \cdot 10^{-11}$	4,50	9,50	0,001	0,00042	0,00042097	Qsp<Ksp	mengendap
	$1,4 \cdot 10^{-11}$	4,94	9,06	0,002	0,00042	0,00042194	Qsp<Ksp	mengendap
	$1,4 \cdot 10^{-11}$	5,02	8,98	0,003	0,00042	0,00042291	Qsp<Ksp	mengendap

Tabel C.6. Perhitungan Matematis Ksp Pada Pengendapan Seng (Zn) (Lanjutan)

Pengendapan ZnCO ₃	Ksp	pH	pOH	CaCO ₃	Konsentrasi	Qsp	Korelasi	Keterangan
	$1,4 \cdot 10^{-11}$	5,08	8,92	0,004	0,00042	0,00042389	Qsp<Ksp	mengendap
	$1,4 \cdot 10^{-11}$	5,14	8,86	0,005	0,00042	0,00042486	Qsp<Ksp	mengendap
Kecepatan 120 RPM	$1,4 \cdot 10^{-11}$	4,68	9,32	0,001	0,00042	0,00042097	Qsp<Ksp	mengendap
	$1,4 \cdot 10^{-11}$	5,13	8,87	0,002	0,00042	0,00042194	Qsp<Ksp	mengendap
	$1,4 \cdot 10^{-11}$	5,19	8,81	0,003	0,00042	0,00042291	Qsp<Ksp	mengendap
	$1,4 \cdot 10^{-11}$	5,20	8,80	0,004	0,00042	0,00042389	Qsp<Ksp	mengendap
	$1,4 \cdot 10^{-11}$	5,19	8,81	0,005	0,00042	0,00042486	Qsp<Ksp	mengendap
LIMBAH BUATAN								
Kecepatan 100 RPM	$1,4 \cdot 10^{-11}$	1,60	12,40	0,001	0,00042	0,00042097	Qsp<Ksp	mengendap
	$1,4 \cdot 10^{-11}$	1,64	12,36	0,002	0,00042	0,00042194	Qsp<Ksp	mengendap
	$1,4 \cdot 10^{-11}$	1,98	12,02	0,003	0,00042	0,00042291	Qsp<Ksp	mengendap
	$1,4 \cdot 10^{-11}$	4,10	9,90	0,004	0,00042	0,00042389	Qsp<Ksp	mengendap
	$1,4 \cdot 10^{-11}$	4,58	9,42	0,005	0,00042	0,00042486	Qsp<Ksp	mengendap
Kecepatan 120 RPM	$1,4 \cdot 10^{-11}$	1,73	12,27	0,001	0,00042	0,00042097	Qsp<Ksp	mengendap
	$1,4 \cdot 10^{-11}$	1,77	12,23	0,002	0,00042	0,00042194	Qsp<Ksp	mengendap
	$1,4 \cdot 10^{-11}$	2,07	11,93	0,003	0,00042	0,00042291	Qsp<Ksp	mengendap
	$1,4 \cdot 10^{-11}$	4,22	9,78	0,004	0,00042	0,00042389	Qsp<Ksp	mengendap
	$1,4 \cdot 10^{-11}$	4,94	9,06	0,005	0,00042	0,00042486	Qsp<Ksp	mengendap



LAMPIRAN D
FOTO BAHAN, ALAT DAN HASIL PENELITIAN



Gambar D.1. Timbangan Analitik



Gambar D.2. pH meter



Gambar D.3. Spatula



Gambar D.4. Propipet-Pipet Volumetrik-Pipet Tetes



Gambar D.5. Buret



Gambar D.6. Erlenmeyer



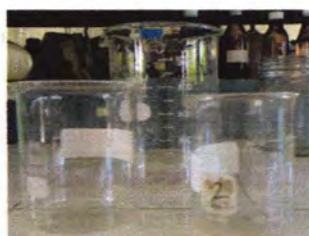
Gambar D.7. Alat Jar Tes



Gambar D.8. Vaccum Filter



Gambar D.9. Kertas Saring



Gambar D.10. Beaker Glass



Gambar D.11. Labu Ukur



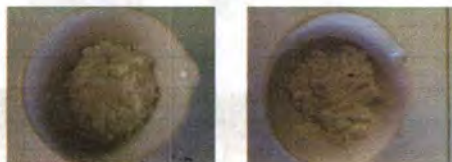
Gambar D.12. Tabung



Gambar D.13. Kompor



Gambar D.14.AAS



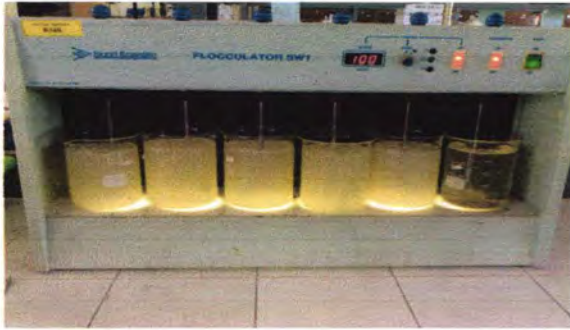
Gambar D.15. dan D.16.
Bubuk CaO dan CaCO₃



Gambar D.17. Sampel Limbah
Asli



Gambar D.18. Sampel Limbah
Buatan



Gambar D.19. Jar Test Limbah Asli Dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Kecepatan 100 RPM



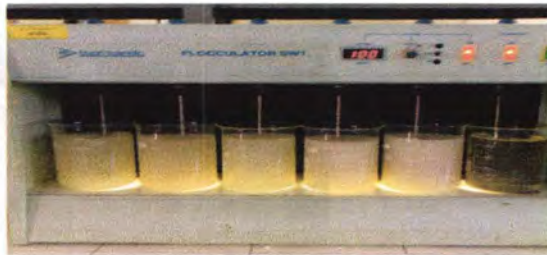
Gambar D.20. Jar Test Limbah Asli Dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Kecepatan 120 RPM



Gambar D.21. Jar Test Limbah Asli Dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Kecepatan 30 RPM



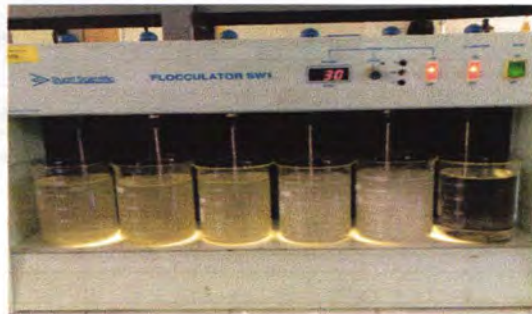
Gambar D.22. Proses Sedimentasi Limbah Asli Dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$



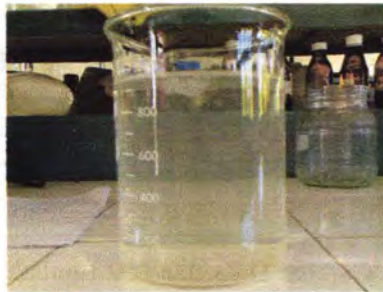
Gambar D.23. Jar Test Limbah Asli Dengan CaCO_3
Kecepatan 100 RPM



Gambar D.24. Jar Test Limbah Asli Dengan CaCO_3
Kecepatan 120 RPM



**Gambar D.25. Jar Test Limbah Asli Dengan CaCO_3
Kecepatan 30 RPM**



**Gambar D.26. Proses Sedimentasi Limbah Asli Dengan
 Ca(OH)_2**

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 10 April 1986 merupakan anak bungsu dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal SD dukuh Menanggal II/425, SLTP Negeri 3 Surabaya dan SMU Negeri 2 Surabaya. Penulis diterima di Jurusan Teknik Lingkungan pada tahun 2004. Penulis sempat aktif dalam Himpunan Mahasiswa Jurusan sebagai staf HI dan juga sempat melalang buana di luar organisasi jurusan untuk berasimilasi dengan rekan-rekan lintas jurusan di ITS.