



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS PENURUNAN KADAR SIANIDA MENGGUNAKAN METODE  
*PASSIVE TREATMENT* PADA LIMBAH *TAILING* TAMBANG EMAS  
(Studi Kasus : PT. ANTAM (Persero) Tbk UBPE Pongkor)**

**SKRIPSI**

**ALFI SYAFIRA**

**1106068680**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
UNIVERSITAS INDONESIA  
DEPOK  
2015**

244/FT.TL.01/SKRIP/6/2016



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS PENURUNAN KADAR SIANIDA MENGGUNAKAN METODE  
*PASSIVE TREATMENT* PADA LIMBAH *TAILING* TAMBANG EMAS  
(Studi Kasus : PT. ANTAM (Persero) Tbk UBPE Pongkor)**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana**

**ALFI SYAFIRA**

**1106068680**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
UNIVERSITAS INDONESIA  
DEPOK  
2015**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**CYANIDE REDUCTION ANALYSIS USING PASSIVE TREATMENT  
METHOD FROM GOLD MINE TAILING WASTE  
(Case Study: PT. ANTAM (Persero) Tbk UBPE Pongkor)**

**FINAL REPORT**

**ALFI SYAFIRA**

**1106068680**

**FACULTY OF ENGINEERING  
ENVIRONMENTAL ENGINEERING PROGRAM  
UNIVERSITY OF INDONESIA  
DEPOK  
2015**

244/FT.TL.01/SKRIP/6/2016



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**CYANIDE REDUCTION ANALYSIS USING PASSIVE TREATMENT  
METHOD FROM GOLD MINE TAILING WASTE**

**(Case Study: PT. ANTAM (Persero) Tbk UBPE Pongkor)**

**FINAL REPORT**

**Proposed as one of the requirement to obtain Bachelor's Degree**

**ALFI SYAFIRA**

**1106068680**

**FACULTY OF ENGINEERING  
ENVIRONMENTAL ENGINEERING PROGRAM  
UNIVERSITY OF INDONESIA**

**DEPOK**

**2015**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dan benar

Nama : Alfi Syafira

NPM : 1106068680

Tanda Tangan : 

Tanggal : 22 Juni 2015

## STATEMENT OF ORIGINALITY

The final report is the result of my own research, and all the references either quoted or cited here have been stated correctly.

Nama : Alfi Syafira

NPM : 1106068680

Tanda Tangan : 

Tanggal : 22nd June 2015

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Alfi Syafira  
NPM : 1106068680  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Judul Skripsi : Analisis Penurunan Kadar Sianida  
Menggunakan Metode *Passive Treatment*  
pada Limbah *Tailing* Tambang Emas (Studi  
Kasus: PT. ANTAM (Persero) Tbk UBPE  
Pongkor)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Dr. Ir Setyo Sarwanto Moersidik, DEA (.....)  
Pembimbing 2 : Hanies Ambarsari, BSc., M.ApplSC., PhD (.....)  
Penguji : Dr. Nyoman Suwartha, S.T., M.T., M.Agr. (.....)  
Penguji : Dr. Cindy Rianti Priadi, S.T., M.Sc. (.....)

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 22 Juni 2015

## STATEMENT OF LEGITIMATION

This final report submitted by

Name : Alfi Syafira  
Student ID : 1106068680  
Major : Teknik Lingkungan  
Title : Cyanide Reduction Analysis Using Passive Treatment Method from Gold Mine Tailing Waste (Case Study: PT. ANTAM (Persero) Tbk UBPE Pongkor)

Has been successfully defended in front of the examiners and was accepted as part of the necessary requirement to obtain Engineering Bachelor Degree in Environmental Engineering Program, Faculty of Engineering, University of Indonesia.

### BOARD OF EXAMINERS

Advisor 1 : Dr. Ir Setyo Sarwanto Moersidik, DEA   
Advisor 2 : Hanies Ambarsari, BSc., M.ApplSC., PhD   
Examiner : Dr. Nyoman Suwartha, S.T., M.T., M.Agr. (.....)  
Examiner : Dr. Cindy Rianti Priadi, S.T., M.Sc. (.....)

Defined in : Depok  
Date : 22<sup>nd</sup> June 2015

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, kasih sayang dan hidayahnya sehingga dapat terselesaikannya skripsi ini. Skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik dalam program studi Teknik Lingkungan.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dari berbagai pihak, dari masa kuliah sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, rasa terima kasih sebesar-besarnya turut diungkapkan kepada:

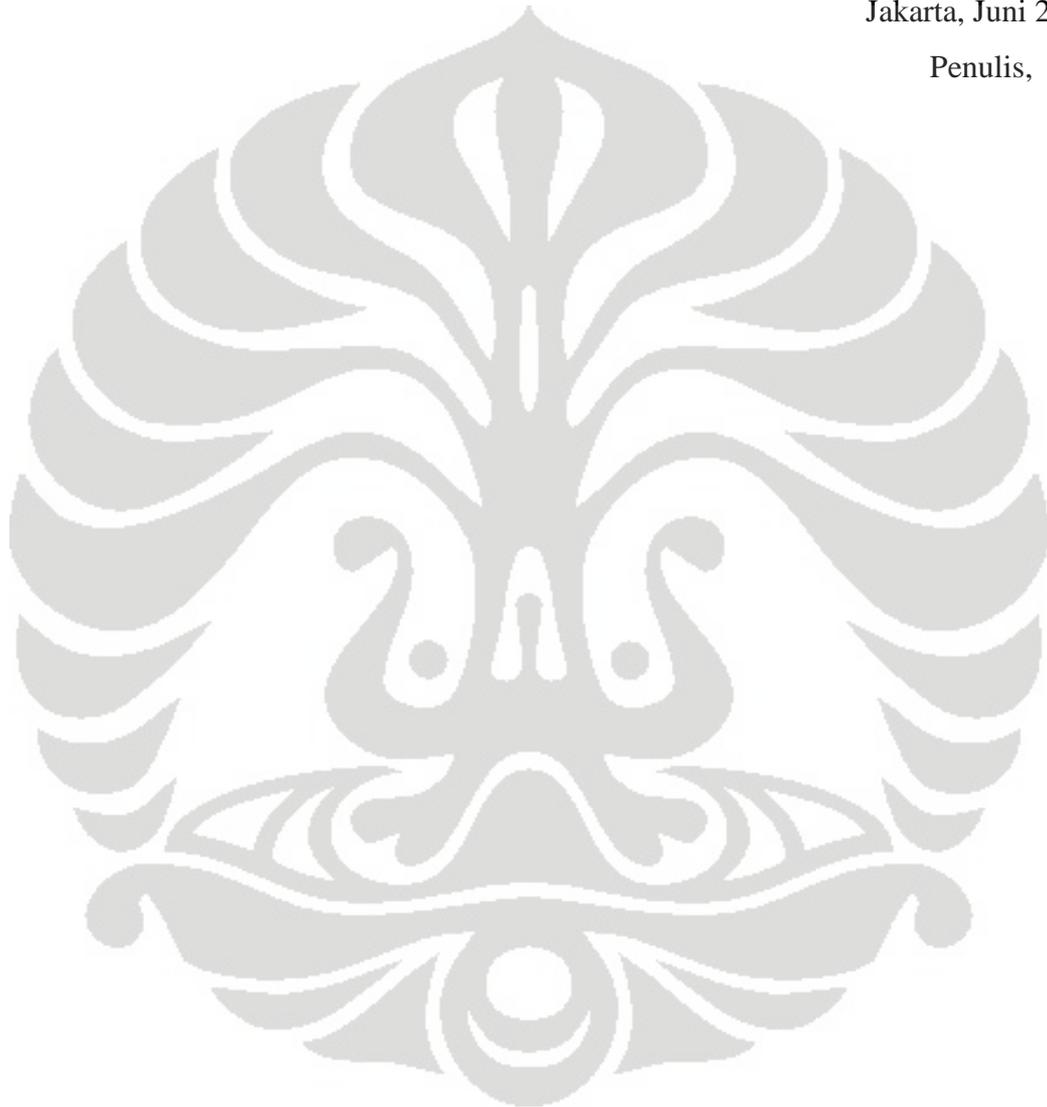
1. Dr. Ir. Setyo Sarwanto Moersidik, DEA dan Hanies Ambarsari, BSc., M.ApplSc., PhD selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing selama pelaksanaan dan penyusunan laporan skripsi ini;
2. Dr. Nyoman Suwartha, ST., MT., MAgr. dan Dr. Cindy Rianti Priadi, ST., M.Sc selaku dosen penguji yang telah memberikan berbagai masukan dalam penyempurnaan skripsi ini;
3. Kedua orang tua penulis, terimakasih kepada Mama dan Papa atas segala kerja keras, pengorbanan, perhatian, nasihat, kasih sayang dan dukungan yang tanpa batas. Adik penulis, Nadia Ulfa, yang telah menghibur dan menyemangati penulisan skripsi hingga menjadi lebih mudah. Serta terimakasih juga kepada segenap keluarga besar atas seluruh doa dan kepercayaannya. Penelitian dan penulisan skripsi ini akan jauh lebih sulit tanpa kehadiran Mama, Papa, Nadia dan mereka semua;
4. Pak Edi, Pak Yadi dan Pak Chandra dari PT. ANTAM (Persero) Tbk UBPE Pongkor yang telah membantu memberikan izin penelitian dan pengambilan sampel *tailing* yang dibutuhkan untuk skripsi ini;
5. Pihak BTL, Puspitek, yang telah mengizinkan dalam penggunaan lahan pada *green house* sebagai tempat pelaksanaan penelitian;

6. Staf karyawan Departemen Teknik Sipil yang telah membantu proses penyelesaian skripsi ini, terkhusus kepada Mba Ami, Mba Fitri dan Mba Dian;
7. Ibu Ani selaku laboran dari Laboratorium IPB Terpadu yang telah membantu pemeriksaan sampel di laboratorium;
8. Keluarga Departemen Teknik Sipil FTUI 2011, Mitria Widianingias yang telah menginspirasi penelitian skripsi ini, dukungan semangat dari Aulia Qisthi, Rima Nadhira, Diza Rahmania Zawatki, Tuti Ferina, Fathima Asyahidatu Zahra, Nesti Gayatri, Nurjalila Hafita Budi Sari, Feby Widyaputri Darmawan, Ratih Dwi Anggraeni, Dhia Atikah Aliyyu, dan teman-teman lainnya yang tidak mampu disebutkan satu persatu. Terimakasih atas kebersamannya dalam mengarungi perkuliahan ini. Semoga tangan-tangan Tuhan terus bekerja hingga kelak kita semua dapat menjadi anak yang selalu bersemangat dalam meraih kesuksesan;
9. Teman-teman PI kepengurusan kepanitiaan BKUI15, Siti Huwaida Hanif, Nisrina Zakiyah Ulfah, M Andhitya, Ditho Arisetyo, Yummi Zahra, Dewi Elvianida, Allyssa Yvonne Jasmine, Winony Mutiara, Fransisco Caisar dan Zalva Abigail yang meskipun berbeda program dan fakultas namun tetap saling mendukung melalui *supply* gosip, doa, cerita, saran dan waktu luangnya untuk seketika mencari hiburan kala penat melanda;
10. Sahabat penulis sedari SMA, Augina Era Pangestika, M. Rizqy Fauzi, M. Rifqy Maulana, Tengku Omar dan rekan-rekan seperjuangan lainnya, yang telah bersedia menjadi tempat berkeluh kesah serta memicu semangat penulis untuk bersama-sama menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya;
11. Salman Hafizh, selaku partner terbaik, sebagai pribadi yang *literally* selalu ada dalam keadaan apapun, suka maupun duka, terus-menerus menyemangati penyelesaian skripsi ini. Terimakasih atas segala bantuan, kebaikan hati, kesabaran, ketulusan, dan kasih sayangnya.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa masih banyaknya kekurangan dalam skripsi ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diperlukan untuk kemajuan ilmu pengetahuan bersama. Semoga skripsi ini bisa memberikan kontribusi dan manfaat di ilmu pengetahuan khususnya pada bidang Teknik Lingkungan.

Jakarta, Juni 2015

Penulis,



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS  
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademika Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Alfi Syafira  
NPM : 1106068680  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Departemen : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya saya yang berjudul :

**ANALISIS PENURUNAN KADAR SIANIDA MENGGUNAKAN METODE  
*PASSIVE TREATMENT* PADA LIMBAH *TAILING* TAMBANG EMAS  
(Studi Kasus : PT. ANTAM (Persero) Tbk UBPE Pongkor)**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini, Universitas Indonesia berhak untuk menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dari sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan saya ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 3 Juni 2015

Yang Menyatakan



(Alfi Syafira)

**STATEMENT OF AGREEMENT OF FINAL REPORT PUBLICATION  
FOR ACADEMIC PURPOSE**

---

As a civita academica of Universitas Indonesia, I, the undersigned

Name : Alfi Syafira  
Student ID : 1106068680  
Major : Environmental Engineering  
Department : Civil Engineering  
Faculty : Engineering  
Type of Work : Final Report

for the sake of science development, hereby agree to provide Universitas Indonesia **Non-exclusive Royalty-Free Right** for my scientific work entitled

**CYANIDE REDUCTION ANALYSIS USING PASSIVE TREATMENT  
METHOD FROM GOLD MINE TAILING WASTE  
(Case Study: PT. ANTAM (Persero) Tbk UBPE Pongkor)**

together with the entire documents (if necessary). With the Non-exclusive Royalty-Free Right, Universitas Indonesia has right to store, convert, manage in the form of database, keep, and publish my final report as long as list my name as the author and copy right owner.

I certify that the above statement is true

Signed in : Depok  
Date : June 3th, 2015

The Declarer

  
(Alfi Syafira)

## ABSTRAK

Nama : Alfi Syafira  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Judul : Analisis Penurunan Kadar Sianida Menggunakan Metode *Passive Treatment* pada Limbah *Tailing* Tambang Emas (Studi Kasus: PT. ANTAM (Persero) Tbk UBPE Pongkor)

Peluruhan emas dengan teknik sianidasi pada tambang emas menghasilkan *by product* berupa *tailing* yang mengandung senyawa toksik sianida. Penurunan kadar sianida pada *tailing* dapat dicapai melalui metode *passive treatment* dengan sisten lahan basah buatan. Penelitian eksperimental berskala *pilot plant* dilaksanakan selama 10 hari dengan sistem aliran *batch* menggunakan tanaman *Typha latifolia*. Rata-rata reduksi sianida oleh *Typha latifolia* adalah sebesar 73,61%, 75,09%, 81,17%, 75,53% dengan reduksi maksimal sebesar 94,44%. Konsentrasi sianida telah turun memenuhi baku mutu pada hari ke-2 hingga mencapai 0,01 mg/L pada hari ke-4. Dari hasil penelitian dapat dilihat efektivitas penyerapan sianida oleh tanaman sebesar 6,07% sedangkan penurunan lain dipengaruhi oleh faktor luar seperti pH dan suhu. Melalui perhitungan SPSS, diketahui faktor pH berperan lebih signifikan ( $\beta = 0,779$ ;  $p < 0,01$ ) dibandingkan suhu ( $\beta = 0,336$ ;  $p < 0,01$ ).

**Kata kunci:**

*Tailing Tambang Emas, Sianida, Lahan Basah Buatan, Typha Latifolia.*

## ABSTRACT

Name : Alfi Syafira  
Major : Environmental Engineering  
Title : Cyanide Reduction Analysis Using Passive Treatment Method from Gold Mine Tailing Waste (Case Study: PT. ANTAM (Persero) Tbk UBPE Pongkor)

Decay gold by cyanidation techniques on a gold mining process produces by-product in a form of tailings containing cyanide toxic compounds. Decreased levels of cyanide in tailings could be achieved through passive treatment methods with artificial wetland system. Pilot plant-scale experimental study was conducted over 10 days with batch flow system using plants *Typha latifolia*. The average reduction of cyanide by *Typha latifolia* amounted to 73.61%, 75.09%, 81.17%, 75.53% with maximum reduction 94.44%. The concentration of cyanide dropped meeting the quality standards on the second day and dropped up to 0.01 mg/L on day 4. From the results, the effectiveness of cyanide uptake also can be seen by 6.07%, whereas other percentage is influenced by external factors such as pH and temperature. Through the calculation of SPSS, pH factor is proven to be more significant in the reduction process ( $\beta = 0.779$ ;  $p < 0.01$ ) than the temperature is ( $\beta = 0.336$ ;  $p < 0.01$ ).

**Keyword:**

*Gold Mining Tailing, Cyanide, Constructed Wetlands, Typha Latifolia.*

## DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	i
STATEMENT OF ORIGINALITY .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
STATEMENT OF LEGITIMATION .....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	viii
STATEMENT OF AGREEMENT OF FINAL REPORT PUBLICATION FOR ACADEMIC PURPOSE .....	ix
ABSTRAK.....	x
ABSTRACT .....	xi
DAFTAR ISI .....	xii
DATAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>5</b>
1.1    LATAR BELAKANG .....	5
1.2    IDENTIFIKASI DAN RUMUSAN MASALAH .....	6
1.3    TUJUAN PENELITIAN .....	7
1.4    MANFAAT PENELITIAN .....	8
1.5    RUANG LINGKUP PENELITIAN .....	8
1.6    SISTEMATIKA PENULISAN.....	8
<b>BAB 2 KAJIAN PUSTAKA .....</b>	<b>10</b>
2.1    PERTAMBANGAN EMAS .....	10
2.1.1 <i>Emas</i> .....	10
2.1.2 <i>Sumber Emas</i> .....	12
2.1.3 <i>Pertambangan Emas</i> .....	13
2.1.4 <i>Pengolahan Bijih Emas</i> .....	15
2.1.5 <i>Kandungan Sianida</i> .....	16
2.2    LIMBAH TAMBANG EMAS.....	19
2.2.1 <i>Tailing</i> .....	19
2.2.2 <i>Air Asam Tambang (AAT)</i> .....	21
2.2.3 <i>Dampak Limbah Tambang Terhadap Lingkungan</i> .....	22
2.2.4 <i>Peraturan Mengenai Limbah Tambang Emas</i> .....	23

2.3	PENGOLAHAN LIMBAH TAMBANG EMAS.....	24
2.3.1	<i>Pengolahan Secara Aktif (Active Treatment)</i> .....	24
2.3.2	<i>Pengolahan Secara Pasif (Passive Treatment)</i> .....	25
2.4	SISTEM LAHAN BASAH BUATAN.....	26
2.4.1	<i>Gambaran Umum Sistem Lahan Basah Buatan</i> .....	26
2.4.2	<i>Sistem dan Jenis Lahan Basah Buatan</i> .....	26
2.4.3	<i>Proses Penghilangan Logam pada Lahan Basah Buatan</i> .....	30
2.4.4	<i>Kriteria Lahan Basah Buatan</i> .....	32
2.4.5	<i>Komponen Penyusun Lahan Basah Buatan</i> .....	32
2.4.6	<i>Aplikasi pada Pertambangan</i> .....	34
2.4.7	<i>Typha latifolia</i> .....	35
2.5	PENELITIAN TERDAHULU.....	37
2.6	HIPOTESIS.....	48
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN.....</b>		<b>49</b>
3.1	JENIS PENELITIAN.....	49
3.2	DATA PENELITIAN.....	49
3.3	SUBJEK PENELITIAN.....	50
3.3.1	<i>Sianida</i> .....	50
3.3.2	<i>Tanah</i> .....	50
3.4	VARIABEL PENELITIAN.....	50
3.4.1	<i>Variabel Terikat</i> .....	50
3.4.2	<i>Variabel Bebas</i> .....	51
3.5	KERANGKA PENELITIAN.....	52
3.6	PERSIAPAN PENELITIAN.....	53
3.6.1	<i>Persiapan Reaktor Lahan Basah</i> .....	53
3.6.2	<i>Tahap Aklimatisasi</i> .....	55
3.7	PROSEDUR PENELITIAN.....	56
3.7.1	<i>Pengambilan Limbah Tailing Tambang Emas</i> .....	56
3.7.2	<i>Pengujian Karakteristik Limbah Tailing</i> .....	56
3.7.3	<i>Pembuatan Limbah Tailing Sintetis</i> .....	56
3.7.4	<i>Pengaliran Limbah ke Lahan Basah Buatan</i> .....	57
3.7.5	<i>Pengambilan Limbah untuk Pengujian Kualitas</i> .....	57
3.7.6	<i>Pengukuran Sianida pada Sampel Lahan Basah Buatan</i> .....	57
3.7.7	<i>Pengukuran pH Limbah pada Sampel Lahan Basah Buatan</i> .....	58
3.7.8	<i>Pengukuran Temperatur Limbah pada Sampel Lahan Basah Buatan</i> .....	58
3.8	PENGUMPULAN DATA.....	58
3.9	PENGOLAHAN DATA.....	58
3.9.1	<i>Persentase Penurunan Kadar Sianida</i> .....	58
3.9.2	<i>Korelasi Parameter pH dan Suhu terhadap Penurunan Kadar Sianida</i> .....	59
3.10	LOKASI DAN WAKTU PENELITIAN.....	59

3.11	LOKASI STUDI PENELITIAN.....	61
3.11.1	<i>PT. ANTAM (Persero) UBPE Pongkor.....</i>	61
3.11.2	<i>Kondisi Tailing PT. ANTAM (Persero) UBPE Pongkor.....</i>	61
3.11.3	<i>Kandungan Sianida Tailing PT. ANTAM (Persero) UBPE Pongkor .....</i>	61
3.11.4	<i>Sistem Produksi dan Pengolahan Limbah PT. ANTAM (Persero) UBPE Pongkor .....</i>	62
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>63</b>
4.1	TAHAPAN PERSIAPAN PENELITIAN .....	63
4.1.1	<i>Karakteristik Limbah Asli.....</i>	63
4.1.2	<i>Persiapan Limbah Sintetis .....</i>	64
4.1.3	<i>Tahap Aklimatisasi .....</i>	65
4.1.4	<i>Fase Pengamatan .....</i>	67
4.2	PENURUNAN KADAR SIANIDA PADA LAHAN BASAH BUATAN.....	68
4.2.1	<i>Analisis Penurunan Kadar Sianida .....</i>	69
4.2.2	<i>Analisis Penurunan Kadar Sianida pada Reaktor Kontrol Positif dan Kontrol Negatif.....</i>	75
4.2.3	<i>Analisis Penurunan Kadar Sianida pada Reaktor Pengecekan .....</i>	77
4.3	FAKTOR PENGARUH LAIN PENURUNAN KADAR SIANIDA .....	79
4.3.1	<i>Faktor Derajat Keasaman (pH).....</i>	79
4.3.2	<i>Faktor Suhu.....</i>	80
4.4	KORELASI ANTAR PH DAN SUHU TERHADAP PENURUNAN KADAR SIANIDA (CN) .....	82
4.5	APLIKASI LAHAN BASAH BUATAN PADA LOKASI PERTAMBANGAN EMAS .....	83
4.5.1	<i>Lahan Basah Buatan Free Water Surface (FWS).....</i>	83
4.6	HIPOTESIS DAN HASIL PENELITIAN.....	84
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>85</b>
5.1	KESIMPULAN .....	85
5.2	SARAN.....	85
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>87</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>91</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Emas .....	11
Tabel 2.2 Negara Penghasil Emas Terbanyak.....	12
Tabel 2.3 Karakteristik Proses dan Limbah Kegiatan Tambang.....	14
Tabel 2.4 Tata Nama Komponen Sianida .....	16
Tabel 2.5 Klasifikasi Air Asam Tambang Berdasarkan pH.....	22
Tabel 2.6 Baku Mutu Air Limbah Bagi Kegiatan Pengolahan Bijih Emas dan atau Tembaga.....	23
Tabel 2.7 Agen Kimiawi pada Netralisasi Aktif.....	25
Tabel 2.8 Kriteria Desain Lahan Basah Buatan .....	32
Tabel 2.9 Klasifikasi <i>Typha latifolia</i> .....	35
Tabel 2.10 Penelitian Terdahulu .....	37
Tabel 3.1 Jenis dan Sumber Data yang Dibutuhkan pada Penelitian.....	49
Tabel 3.2 Desain Lahan Basah Buatan .....	53
Tabel 3.3 Rincian Reaktor Penelitian yang Digunakan .....	54
Tabel 3.4 Proses Aklimatisasi Reaktor Pengolahan Lahan Basah Buatan .....	55
Tabel 3.5 Metode Pengujian Parameter Berdasarkan Standar Pengujian .....	56
Tabel 3.6 Pengumpulan Data .....	58
Tabel 3.7 <i>Timeline</i> Jadwal Penelitian.....	60
Tabel 3.8 Kandungan Sianida pada Limbah <i>Tailing</i> PT. ANTAM (Persero) UBPE Pongkor .....	62
Tabel 4.1 Kandungan Sianida Limbah <i>Tailing</i> PT. ANTAM UBPE Pongkor .....	63
Tabel 4.2 Karakteristik Limbah <i>Tailing</i> pada <i>Tailing Dam</i> .....	64
Tabel 4.3 Karakteristik Limbah <i>Tailing</i> pada Unit Detokfisikasi.....	64
Tabel 4.4 Karakteristik Limbah <i>Tailing</i> pada <i>Tailing Treatment Unit</i> .....	64
Tabel 4.5 Persentase Penurunan Kadar Sianida pada Reaktor 1, 2, 3 dan 4.....	70
Tabel 4.6 Persentase Penurunan Lahan Basah Buatan Berdasarkan Dosis .....	73
Tabel 4.7 Persentase Penurunan Kadar Sianida pada Reaktor Kontrol Positif dan Kontrol Negatif .....	75
Tabel 4.8 Efektivitas Penurunan Kadar Sianida pada Reaktor Pengolahan.....	76
Tabel 4.9 Efektivitas Penurunan Kadar Sianida pada Reaktor Kontrol Positif dan Kontrol Negatif .....	76
Tabel 4.10 Persentase Penurunan Kadar Sianida pada Reaktor Pengecekan.....	77
Tabel 4.11 Tabel Kriteria Desain Lahan Basah Buatan FWS.....	84

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Logam Emas.....	10
Gambar 2.2 Peta Lokasi Sumber Emas di Dunia.....	13
Gambar 2.3 Tambang Terbuka .....	14
Gambar 2.4 Tambang Bawah Tanah.....	14
Gambar 2.5 Klasifikasi Sianida.....	17
Gambar 2.6 Distribusi Ukuran Partikel <i>Tailing</i> , <i>Coal Spoils</i> , dan <i>Waste Rocks</i> ..	20
Gambar 2.7 Potongan Melintang Kolam <i>Tailing</i> .....	21
Gambar 2.8 Jenis Lahan Basah Buatan.....	27
Gambar 2.9 Elemen Dasar Lahan Basah Buatan Air Permukaan Bebas .....	28
Gambar 2.10 Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan Horizontal .....	29
Gambar 2.11 Tipikal Lahan Basah Buatan Aliran Vertikal .....	29
Gambar 2.12 <i>Typha latifolia</i> .....	36
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	52
Gambar 3.2 Tampak Atas Reaktor Lahan Basah Buatan.....	54
Gambar 3.3 Potongan Melintang A-A Reaktor Lahan Basah Buatan .....	55
Gambar 16. Sistem Pengelolaan Limbah Cair PT. ANTAM (Persero) UBPE Pongkor .....	62
Gambar 4.1 Pengisian Limbah ke dalam Reaktor Lahan Basah Buatan pada Awal Fase Pengamatan Penelitian.....	68
Gambar 4.2 Reaktor Lahan Basah Buatan pada Penelitian.....	69
Gambar 4.3 Tampak Samping Lahan Basah Buatan FWS .....	84

## BAB 1 PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sebagai negara yang kaya akan sumber daya alamnya, menurut Indonesia Mining Asosiation, Indonesia memiliki cadangan emas sebanyak 2,3% dari cadangan emas dunia dan menduduki peringkat ke-6 dalam produksi emas di dunia yakni berkisar 6,7%. Produksi emas di Indonesia tentunya bertujuan untuk mendapatkan bahan tambang emas yang bernilai ekonomis tinggi. Kegiatan eksploitasi bahan tambang emas di Indonesia yang telah berlangsung lama, tercatat telah diusahakan lebih dari 1000 tahun lalu, dan telah banyak tersebar di berbagai pulau, mulai dari Pulau Sumatera, Pulau Jawa, Pulau Kalimantan dan Papua. Kegiatan industri penambangan turut berkontribusi positif dalam meningkatkan nilai pertumbuhan ekonomi nasional, meningkatkan pendapatan asli daerah, menampung tenaga kerja, meningkatkan ekonomi dan usaha mikro masyarakat, dan meningkatkan kualitas SDM juga derajat kesehatan masyarakat (Salim, 2007).

Dalam setiap proses pada kegiatan industri, produk samping (*by product*) merupakan salah satu proses yang tidak dapat dihindari, baik yang dapat dimanfaatkan kembali ataupun tidak termanfaatkan lagi, seperti limbah. Pertambangan emas mengacu pada proses ekstraksi logam dengan menggunakan bahan kimia yang terakumulasi pada limbah ataupun *tailing* yang dihasilkan. *Tailing* merupakan istilah terhadap limbah yang dihasilkan dari proses penggerusan bijih (ore) yang akan diambil mineral berharganya (Satriago, 1996). Umumnya, tailing berwujud lumpur ataupun *slurry*, dengan komposisi sekitar 50% lumpur batuan dan 50% air.

Proses ekstraksi emas adalah proses memisahkan dan memekatkan emas. Proses pemisahan secara gravitasi dapat menjadi pilihan, namun sulit untuk dilakukan pada konsentrasi dan tingkat perbedaan kepadatan emas yang rendah. Sehingga ketika proses pemisahan fisik tidak tercapai, emas dipisahkan dari unsur-unsur lainnya dengan metode hidrometalurgi yakni perlarutan kimia dalam sianida, yang disebut dengan sianidasi. Senyawa sianida telah digunakan sejak tahun 1887

dan kini sekitar 13% produksi hidrogen sianida digunakan pada bidang pertambangan. Senyawa sianida masih merupakan senyawa kimia pilihan utama untuk teknik ekstraksi emas, dikarenakan teknik ekstraksi lainnya hanya tersedia dalam situasi-situasi terbatas. Ekstraktan alternatif pengganti sianida untuk pelindian emas dan perak dari bijih kurang efektif (Mudder, et al., 2001). Limbah sianida dalam proses ekstraksi emas akan dibuang menuju fasilitas penyimpanan *tailing*.

Sianida adalah senyawa yang termasuk B-3 (Bahan Berbahaya dan Beracun), sehingga pada pemakaiannya sebagai pelarut proses pengambilan logam emas, konsentrasinya dibatasi sampai 1500 ppm. (Siregar & Yulianto, 1999). Dari proses pengolahan bijih secara sianidasi akan ditimbulkan limbah cair yang dikenal sebagai *tailing effluent* yang mengandung sianida sehingga harus diolah agar tidak berbahaya bagi lingkungan (Sutoto, 2007). Sianida dengan tingkat toksisitas yang tinggi dapat menimbulkan bahaya terhadap lingkungan dan kesehatan makhluk hidup bahkan mampu menyebabkan kematian pada ekosistem air, satwa darat dan juga manusia. Akan tetapi, sianida bersifat non-toksik terhadap tanaman akibat penyerapan sianida oleh tanaman dan tanah.

*Passive Treatment* adalah pengolahan limbah secara pasif dengan proses bio-geokimiawi, yang berlangsung menerus secara alami berfungsi meningkatkan pH dan pengikatan serta pengendapan logam. Sistem *passive treatment* yang digunakan untuk pengolahan limbah *tailing* penambangan emas adalah lahan basah buatan aerobik berskala laboratorium dengan penggunaan tanaman *Typha latifolia*.

Penelitian sistem pengolahan limbah *tailing* dari penambangan emas disesuaikan untuk memenuhi standar baku mutu lingkungan seperti yang tercantum dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 202 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan atau Kegiatan Pertambangan Bijih Emas dan atau Tembaga.

## **1.2 Identifikasi dan Rumusan Masalah**

Pengolahan bijih pada industri tambang emas di Indonesia umumnya masih menggunakan metode hidrometalurgi dengan logam berat sianida, sehingga proses akhir ekstraksi emas kerap menghasilkan limbah cair, yang disebut limbah

*tailing*, yang mengandung sianida (Suyartono, 2003). Kadar sianida dalam limbah *tailing* industri pertambangan bervariasi, dapat dibawah ataupun diatas baku mutu lingkungan. Berdasarkan literatur, konsentrasi sianida pada industri pertambangan emas PT. ANTAM (Persero) Tbk UBPE Pongkor pada kolam *tailing* nyatanya mencapai 0,99 mg/L (Hidayati, et al., 2005). Sehingga diperlukan pengolahan lanjut, agar konsentrasi kandungan sianida dapat turu memenuhi standar baku mutu lingkungan dan tidak mencemari lingkungan dalam jangka waktu yang pendek dan panjang.

Diperlukan pengolahan terhadap kandungan sianida yang melebihi ambang batas baku mutu, dimana salah satu cara pengolahan alternatifnya adalah dengan metode *passive treatment*. Metode *passive treatment* yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode lahan basah buatan dengan tanaman *Typha latifolia* untuk mengurangi kandungan sianida pada limbah. Dari identifikasi masalah dan metode yang dilakukan pada penelitian ini, maka rumusan masalah dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a) Bagaimanakah kadar sianida, nilai pH dan suhu dalam limbah tailing tambang emas PT. ANTAM (Persero) Tbk UBPE Pongkor?
- b) Bagaimanakah kemampuan tumbuhan *Typha latifolia* dalam mereduksi kadar sianida yang terkandung pada limbah?
- c) Bagaimanakah korelasi antara faktor pH dan suhu dalam penurunan kadar sianida?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk :

- a) Mengetahui kadar sianida, nilai pH dan suhu dalam limbah tailing tambang emas PT. ANTAM (Persero) Tbk UBPE Pongkor
- b) Menganalisis kemampuan tumbuhan *Typha latifolia* dalam mereduksi kadar sianida yang terkandung pada limbah
- c) Mengetahui korelasi antara parameter pH dan suhu dalam penurunan kadar sianida

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini antara lain :

- a) Manfaat akademis :
  - Sebagai referensi pengkajian lanjut mengenai metode *passive treatment* dengan lahan basah buatan
  - Sebagai informasi dan masukan penggunaan tumbuhan *Typha latifolia* dalam mengurangi konsentrasi sianida
- b) Manfaat praktis :
  - Memberikan salah satu alternatif metode penurunan kadar sianida yang terkandung di limbah tailing tambang emas
  - Memberikan masukan atas salah satu alternatif metode penurunan kadar pencemar sianida yang dapat diterapkan

#### 1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup penelitian yang dilakukan adalah :

- a. Limbah tambang emas yang diteliti merupakan limbah sintetis yang disesuaikan dengan literatur limbah tambang emas hasil pemrosesan biji emas oleh PT. ANTAM (Persero) Tbk UBPE Pongkor.
- b. Parameter penelitian yang diteliti meliputi pH, temperatur dan kadar sianida.
- c. Metode pengolahan *passive treatment* yang digunakan merupakan lahan basah buatan menggunakan tanaman *Typha latifolia*.

#### 1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut :

##### BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, identifikasi dan rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, dan juga sistematika penulisan skripsi.

##### BAB 2 KAJIAN PUSTAKA

Bab dua akan berisi kajian pustaka yang akan membahas menyeluruh dasar-dasar teori yang berkaitan dengan penelitian seperti pertambangan emas dan limbah

yang dihasilkannya, pengelolaan dan pengolahan *passive treatment* terhadap limbah tambang emas, pengetahuan umum dan khusus mengenai lahan basah buatan, dan gambaran mengenai *Typha latifolia* serta kemampuannya untuk mengurangi pencemar di dalam air. Kajian pustaka ini akan menjadi dasar dalam analisis hasil penelitian.

### BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi metode yang digunakan dalam proses penulisan skripsi dan penelitian yang dilakukan seperti jenis penelitian, data penelitian, subjek penelitian, variabel penelitian, kerangka penelitian, persiapan penelitian, prosedur penelitian, pengumpulan data, pengolahan data, lokasi dan waktu penelitian, serta lokasi studi penelitian.

### BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan berisi data-data yang dikumpulkan selama penelitian, pengolahan yang dilakukan kepada data-data tersebut, dan analisis mengenai data yang dihasilkan dengan melihat kajian pustaka yang telah dilakukan sebagai acuan dalam membuat analisis.

### BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab terakhir ini akan berisi kesimpulan penelitian yang diambil berdasarkan tujuan dari penelitian, kajian pustaka, dan analisis serta saran yang diberikan terkait dengan penelitian yang dilakukan

## BAB 2

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Pertambangan Emas

##### 2.1.1 Emas

Emas merupakan salah satu elemen pada tabel periodik kimia, yang diklasifikasikan sebagai golongan *native element* dengan simbol Au yang berasal dari bahasa latin, *aurum*. Emas berbentuk kristal *isometric octahedron* atau *dodecahedron*, memiliki karakteristik yang lunak, elastis, mengkilap, berwarna kuning dan memiliki massa yang berat. Sifat emas yang lunak dan elastis, dengan kisaran kekerasan antara 2,5 – 3 (skala Mohs), memudahkannya untuk ditempa menjadi bentuk batangan, pelat-pelat pelapis ataupun lembaran-lembaran tipis. Berat emas dan kilau warna kuningnya yang tahan lama tanpa pudar, menjadikan emas sebagai logam mulia yang dinilai sangat berharga sejak 5500 tahun yang lalu.



Gambar 2.1 Logam Emas

Sumber: <http://www.csiro.au/~media/CSIROau/Portals/Gold.jpg>, diakses pada 15/10/2014

Emas dapat berbentuk sebagai elemen bebas didalam tanah ataupun lautan, namun umumnya, emas berasosiasi dengan perak, kuarsa ( $\text{SiO}_2$ ), kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ), timah, *tellurium*, seng ataupun tembaga. Sifat emas yang mudah larut, serta sifatnya yang *siderophile* (suka akan besi) dan *chalcophile* (suka akan belerang), menyebabkan emas banyak berikatan dengan mineral-mineral besi ataupun stabil pada besi (magnetit/hematit). Mineral pembawa emas juga berasosiasi dengan endapan sulfida yang telah teroksidasi. Mineral pembawa emas terdiri dari emas

nativ, elektrum, emas telurida, sejumlah paduan dan senyawa emas dengan unsur-unsur belerang, antimon, dan selenium.

Tabel 2.1 Karakteristik Emas

<b>Nomor Atomik</b>	79
<b>Berat Atomik</b>	196.966569
<b>Fase (Suhu Kamar)</b>	Padat
<b>Klasifikasi Elemen</b>	Logam
<b>Massa Jenis (Suhu Kamar)</b>	19.3 g/cm <sup>3</sup>
<b>Massa Jenis (Titik Lebur)</b>	17.31 g/cm <sup>3</sup>
<b>Titik Lebur</b>	1337.33 K (1064.18°C)
<b>Titik Didih</b>	3129 K (2856°C)
<b>Kalor Peleburan</b>	12,55 kJ/mol
<b>Kalor penguapan</b>	324 kJ/mol
<b>Kapasitas Kalor</b>	(25 °C) 25.418 J/(mol·K)

Sumber : <http://education.jlab.org/itselemental/ele079.html>, diakses pada 15/10/2014

Emas dapat ditemukan dalam berbagai macam bentuk; logam emas murni, campuran perak dengan kadar kandungan diatas 15%, campuran dengan *tellerium*, *selenium*, *bismuth*, *mercury*, tembaga, besi, *rhodium* dan platinum; dan berbentuk mineral oksida, silikat, karbonat, sulfat maupun sulfit.

1. Emas murni merupakan butiran emas dengan kadar kandungan diatas 99,8%. Namun, umumnya emas ditemukan dengan kandungan 85-95% dan bercampur dengan perak.
2. Emas elektrum merupakan campuran emas dengan perak, dengan kandungan perak antara 25-55%. Elektrum berwarna kuning coklat dan memiliki berat jenis lebih rendah dari emas; 13-16 gr/cm<sup>3</sup>.
3. Bijih emas *telluride* ditemukan berbentuk mineral *sylvanite* {(Au,Ag)Te<sub>2</sub>} dengan campuran 3% perak, *calaverite* (AuTe<sub>2</sub>) dengan campuran 3% perak, *pentzine* (Ag<sub>3</sub>AuTe<sub>2</sub>), *krennerite* {(Au<sub>0.8</sub>,Ag<sub>0.2</sub>)Te<sub>2</sub>} dengan sedikit campuran perak, *montbrayite* {(Au,Sb)<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>} yang bercampur dengan Antimon untuk mempertahankan bentuknya, *kostovite* (AuCuTe<sub>4</sub>) dengan

campuran tembaga, dan *nagyagite*  $\{Pb_5Au(Te,Sb)_4S_{5-8}\}$  dengan campuran kuarsa.

### 2.1.2 Sumber Emas

Kelimpahan relatif emas didalam kerak bumi diperkirakan sebesar 0,004 g/ton, termasuk sekitar 0,001 g/ton terdapat didalam perairan laut. Emas ditemukan pada beragam penjuru dunia, berikut merupakan daftar dan peta lokasi negara penghasil emas terbesar di dunia :

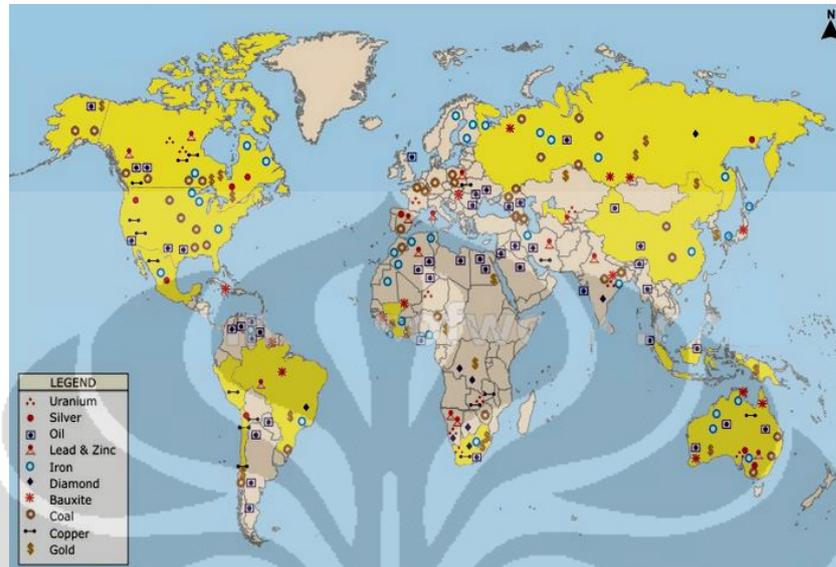
Tabel 2.2 Negara Penghasil Emas Terbanyak

<b>Negara</b>	<b>Produksi Emas (metric ton)</b>
China	345
Australia	255
Amerika Serikat	230
Rusia	190
Afrika Selatan	190
Peru	170
Indonesia	120
Ghana	100
Canada	90
Uzbekistan	90
Brazil	65
Mexico	60
Papua Nugini	60
Chili	40

Sumber : <http://www.mapsofworld.com/minerals/world-gold-producers.html>, diakses pada 15/10/2014

Cina, sebagai negara penghasil emas terbesar, menghasilkan 345 metrik ton emas per tahunnya. Negara penghasil emas kedua terbesar adalah Australia diikuti oleh Amerika Serikat, Rusia, Afrika Selatan, Peru, Indonesia, Ghana, Kanada, Uzbekistan, Brasil, Meksiko, Papua Nugini, dan Chile. Sedangkan India,

yang merupakan konsumen emas terbesar, membeli sekitar 800 ton emas setiap tahunnya.



Gambar 2.2 Peta Lokasi Sumber Emas di Dunia

Sumber : <http://www.mapsofworld.com/minerals/world-gold-producers.html>, diakses pada 15/10/2014

### 2.1.3 Pertambangan Emas

Kegiatan pertambangan disesuaikan dengan bentuk, sebaran, posisi bahan galian dan pertimbangan kondisi tanah penutup atau batuan induk/batuan sampingnya, serta kondisi struktur geologi. Komoditas tambang emas terbagi atas dua tipe; yakni tambang terbuka dan bawah tanah.

Tambang terbuka merupakan lahan bukaan yang berhubungan langsung dengan atmosfer udara, yang bertujuan untuk mengambil bijih dan akan terus terbuka tanpa ada penimbunan selama pengambilan bijih berlangsung. Sedangkan tambang bawah tanah, merupakan cara dengan aktivitas kerja yang tidak berhubungan langsung dengan udara luar. Kegiatan pertambangan bawah tanah dilakukan di bawah tanah dengan terlebih dahulu membuat jalan masuk berupa sumuran atau terowongan batu.

Kedua tambang emas terbuka ataupun bawah tanah, secara umum akan menghasilkan limbah seperti yang tertera pada tabel 2.3.



Gambar 2.3 Tambang Terbuka

Sumber ; <http://www.syafrilhernendi.com/1364/tambang-terbuka-open-pit-mine>, diakses pada 2/11/2014



Gambar 2.4 Tambang Bawah Tanah

Sumber : <http://infotambang.com/clients/infotambang>, diakses pada 2/11/2014

Tabel 2.3 Karakteristik Proses dan Limbah Kegiatan Tambang

Komoditas	Tipe Tambang	Proses Pengolahan	Limbah Utama
Emas - Perak	- Terbuka - Bawah tanah	- Sianida - Elusi - <i>Elektrowining</i> - Penggerusan - Amalgamasi	- Air tambang - Limbah batuan/ <i>overburden</i> - Larutan sisa proses - <i>Tailing</i> - Bijih sisa

Sumber : EPA/310-R-95-008, 1995

#### 2.1.4 Pengolahan Bijih Emas

Proses pengolahan bijih bertujuan untuk mengatur ukuran partikel bijih, menghilangkan bagian-bagian yang tidak diinginkan, meningkatkan kualitas, kemurnian atau kadar bahan yang diproduksi (Suyartono, 2003). Pengolahan bijih bergantung pada jenis tambang namun pada umumnya terdiri dari proses *beneficiation*, yakni pemrosesan konsentrat bijih untuk diolah lanjut diikuti dengan pengolahan metalurgi atau *refining*. Hasil dari proses ini merupakan konsentrat bijih dan limbah dalam bentuk *tailing* serta emisi debu.

Pengolahan metalurgi bertujuan untuk mengisolasi logam dari konsentrat bijih dengan metode pirometalurgi, hidrometalurgi, elektrometalurgi, ataupun metode kombinasi anataranya. Metode pirometalurgi berguna untuk memisahkan emas dengan bijihnya pada kadar yang tinggi. Proses ini membutuhkan waktu relatif singkat dengan penggunaan suhu tinggi hingga mencapai 2000°. Proses pirometalurgi seperti *roasting* (pemanggangan) dan *smelting* dapat menyebabkan terjadinya gas buang (beleran oksida, partikulat dan logam berat) ke atmosfer dan terak. Metode hidrometalurgi merupakan pemisahan dengan penggunaan larutan atau reagen kimia untuk menangkap atau melarutkan logamnya. Bahan kimia yang digunakan bersifat berbahaya seperti sianida, raksa dan asam kuat. Metode ini dapat diaplikasikan pada kadar emas yang rendah. Metode hidrometalurgi pada umumnya menghasilkan bahan pencemar dalam bentuk cair, yang akan terbuang ke kolam penampung *tailing* jika tidak digunakan lagi. Metode elektrometalurgi adalah pemanfaatan teknik elektrokimia (elektrolisis) dalam memperoleh emas. Elektrometalurgi dinilai tidak efisien untuk digunakan dalam skala besar, akibat kebutuhan energi listriknya yang tinggi.

Umumnya, metode hidrometalurgi, terutama dengan penggunaan reagen sianida, paling sering diterapkan dikarenakan nilainya yang ekonomis juga tingkat efektifitas dan efisiensinya yang tinggi. Sianida merupakan reagen yang paling sering digunakan untuk mengisolasi emas untuk eksploitasi emas skala industri (Hiskey, 1985; Lee, 1994). Proses pemisahan emas dengan reagen sianida disebut dengan sianidasi.

## 2.1.5 Kandungan Sianida

### 2.1.5.1 Sianida

Sianida merupakan kelompok senyawa anorganik dan organik dengan gugus fungsional siano,  $\text{CN}^-$ , sebagai struktur utama. Ion sianida memiliki muatan negatif tunggal dan terdiri dari atom karbon yang terikat *triple* pada atom nitrogen,  $-\text{C}\equiv\text{N}$ . Senyawa sianida memiliki komponen kimiawi yang kompleks, dikarenakan kehadirannya dengan bentuk yang dapat berbeda-beda. Sianida dapat diklasifikasikan menjadi 5 kelompok; sianida bebas, senyawa sianida sederhana, sianida kompleks lemah, sianida kompleks kuat, dan sianida kompleks sangat kuat (Smith & Mudder, 1991).

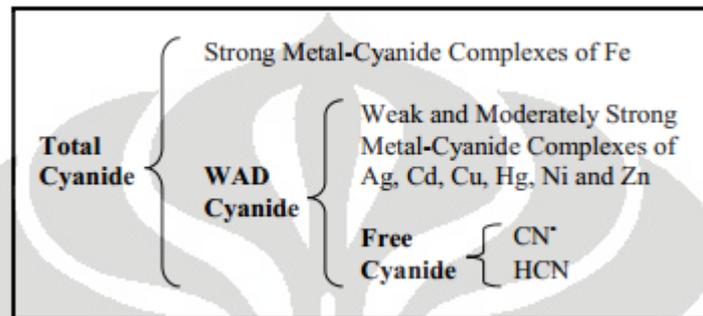
Tabel 2.4 Tata Nama Komponen Sianida

Kelompok Sianida	Formula Kimiawi
Sianida bebas	$\text{CN}^-_{(\text{aq})}$
	$\text{HCN}_{(\text{aq})}$
Senyawa sederhana	$\text{NaCN}_{(\text{s})}$
	$\text{KCN}_{(\text{s})}$
	$\text{Ca}(\text{CN})_{2(\text{s})}$
	$\text{Hg}(\text{CN})_{2(\text{s})}$
	$\text{Zn}(\text{CN})_{2(\text{s})}$
	$\text{Zn}(\text{CN})_{2(\text{s})}$
	$\text{Cd}(\text{CN})_{2(\text{s})}$
	$\text{CuCN}_{(\text{s})}$
	$\text{Ni}(\text{CN})_{2(\text{s})}$
	$\text{AgCN}_{(\text{s})}$
	$\text{Zn}(\text{CN})_{2(\text{s})}$
Kompleks lemah	$\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}$
	$\text{Cd}(\text{CN})_3^-$
	$\text{Cd}(\text{CN})_4^{2-}$
	$\text{Cu}(\text{CN})_2^-$
Kompleks kuat	$\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-}$
	$\text{Cu}(\text{CN})_4^{3-}$
	$\text{Ni}(\text{CN})_4^{2-}$
	$\text{Ag}(\text{CN})_2^-$
Kompleks sangat kuat	$\text{Au}(\text{CN})_2^-$
	$\text{Co}(\text{CN})_6^{4-}$
	$\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$

(lanjutan tabel 2.4)

Kelompok Sianida	Formula Kimiawi
Kompleks sangat kuat	$\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$
<i>Thiocyanate</i>	$\text{SCN}^-$
<i>Cyanate</i>	$\text{CNO}^-$

Sumber : *The Chemistry and Treatment of Cyanide Wastes*, 1991



Gambar 2.5 Klasifikasi Sianida

Sumber : *Overview of Cyanide Treatment Methods*, 2001

Sianida bebas merupakan bentuk sianida paling beracun, dikarenakan kemampuan toksisitas yang tinggi pada konsentrasi yang relatif rendah. Sedangkan sianida kompleks memiliki tingkat toksisitas yang berbeda-beda, bergantung pada stabilitasnya (Lottermser, 2010). Semakin stabil kompleks, maka akan semakin rendah tingkat toksisitasnya.

#### 2.1.5.2 Efek Sianida Bagi Lingkungan dan Kesehatan

Sianida dengan tingkat toksisitas yang tinggi dapat menimbulkan bahaya terhadap lingkungan dan kesehatan makhluk hidup. Bahaya sianida terbagi pada :

##### 1. Ekosistem Air

Pada konsentrasi yang tinggi, sianida bereaksi cepat dalam lingkungan perairan dan sangat berpotensi membunuh ekosistem perairan (Kossof, et al., 2014). Sensitivitas organisme air terhadap sianida berbeda-beda, namun pada umumnya ikan merupakan organisme air yang paling sensitif.

## 2. Satwa Liar Darat

Sianida dapat meracuni berbagai spesies hewan liar, terutama spesies burung dan mamalia. Larutan sisa sianida pada genangan atau pelepasan air ke lingkungan, umumnya menjadi sumber utama kematian satwa liar.

## 3. Kesehatan Manusia

Sianida meracuni manusia melalui pernafasan, tertelan ataupun adsorpsi kulit. Sianida dan garam sianida memberikan efek racun yang cepat, dalam dosis 60 - 90 mg dapat menyebabkan kematian manusia.

## 4. Tanaman

Sianida bersifat non-toksik terhadap tanaman akibat penyerapan sianida oleh tanah. Kondisi tanah yang kering, semi-kering, ataupun mengandung banyak tanah liat memberi efek pengayaan yang berbeda terhadap sianida (Shehong et al., 2005).

Terjadinya insiden keracunan sianida pada lingkungan pertambangan kerap berasal dari pengelolaan limbah ataupun desain bendungan dan konstruksi yang buruk, serta sistem pemeliharaan yang tidak baik.

### 2.1.5.3 Sianida pada Pertambangan Emas

Sianida merupakan bahan kimia industri yang kerap digunakan dalam industri pertambangan sebagai reagen kimia pengesktraksi emas. Industri pertambangan menggunakan 13% dari total produksi hidrogen sianida di dunia, dimana sisa 87% digunakan untuk proses industri lain (*Environment Australia*, 2003). Penggunaan Sianida dalam industri pertambangan telah berlangsung lama, sejak tahun 1987. Sekitar 80% produksi emas di dunia menggunakan sianida dalam ekstraksi, yakni sekitar 2500 ton emas produksi dunia.

Proses pelarutan emas dengan sianida, yang merupakan proses hidrometalurgi, melibatkan campuran antara bubur basah bijih yang ditumbuk halus dengan natrium sianida. pH bubur dikondisikan menjadi basa dengan penambahan alkali, kemudian ditambahkan oksigen untuk menyempurnakan reaksi (Adams, 2001). Emas selanjutnya dipekatkan dengan penyerapan karbon aktif, kemudian larutan emas pekat direduksi menjadi emas logam secara elektrolisa dan dilebur untuk menghasilkan emas batangan.

Pada saat ini, banyak tambang dari segi teknologi dan/atau ekonomi akan tidak dapat beroperasi tanpa sianida. Konsumsi sianida umumnya merupakan komponen utama dari total biaya operasional pabrik yang memproduksi emas. Dibutuhkan sekitar 0,3-0,4 gram sianida per ton bijih tipikal yang diperlukan untuk melarutkan dan mengekstrak emas. Namun dalam prakteknya, konsumsi sianida berkisar 300 gram per ton hingga lebih dari 2000 gram per ton untuk ekstraksi emas yang efisien.

## 2.2 *Limbah Tambang Emas*

### 2.2.1 *Tailing*

*Tailing* adalah campuran dari bebatuan hancur dan cairan hasil pengolahan ekstraksi logam, mineral, bahan bakar ataupun batubara dari industri pertambangan (Kossof, et al., 2014). *Tailing* bisa dikatakan merupakan produk sampingan ataupun *by-product* dari industri pertambangan. *Tailing* sianidasi merupakan residu yang dihasilkan dari industri tambang emas yang mengekstraksi emas dengan proses sianidasi, yakni pencucian bijih emas dengan sianida (Lv., et al., 2014). Air limbah *tailing* sianidasi dapat mengandung konsentrasi sianida yang tinggi (García, 2003). Efluen *tailing* dengan kandungan logam dan asam yang tinggi harus dinetralkan terlebih dahulu sebelum dibuang ke air baku.

Karakteristik fisik dan kimia *tailing* berbeda-beda, bergantung dari jenis bijihnya. Karakteristik ini meliputi: komposisi mineralogi dan geokimia; berat jenis partikel *tailing*; pengendapan; hubungan permeabilitas vs densitas; tingkat plastisitas tanah; perilaku konsolidasi; karakteristik reologi/viskositas; karakteristik kekuatan; pori air kimiawi; dan properti *leaching* (Environment Australia 1995).

*Tailing* terdiri dari 2 bentuk, yaitu padatan dan cairan. Padatan *tailing* umumnya dikelola dengan mencampurkan air ke dalam kolam *tailing*. Sehingga, kolam *tailing* berisikan cairan dengan kandungan bahan kimia yang tinggi. Berikut merupakan penjelasan *tailing*.

#### a. Proses Kimiawi

Pengolahan bijih melalui benefisi mineral dan hidrometalurgi menggunakan air tanah ataupun air permukaan, yang pada operasionalnya disebut dengan air proses. Pengolahan tersebut menggunakan proses

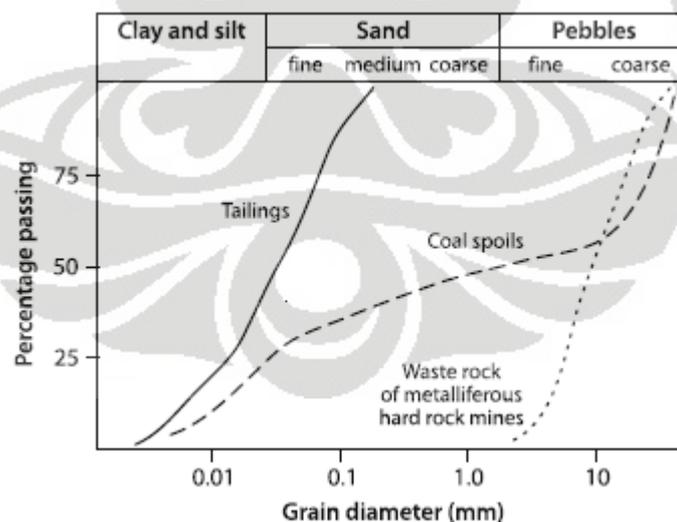
kimiawi seperti pengapungan, reagen, modifikasi, flokulan/koagulan, agen hidrometalurgi, dan oksidan. Cairan berisi padatan yang tersisa dari proses kimiawi pengolahan bijih, yang mengandung bahan kimia organik, sianida, asam sulfat, dan reagen lainnya, akan disalurkan ke kolam *tailing* (Lottermser, 2010).

b. Cairan *Tailing*

Cairan ataupun air *tailing* merupakan istilah yang digunakan terhadap air permukaan pada kolam penyimpanan *tailing* dan air yang terkandung dalam pori-pori padatan *tailing*. Cairan *tailing* memiliki variabel, sifat dan asiditas yang berbeda-beda bergantung pada teknik pengolahan yang digunakan oleh industri pertambangan emas.

c. Padatan *Tailing*

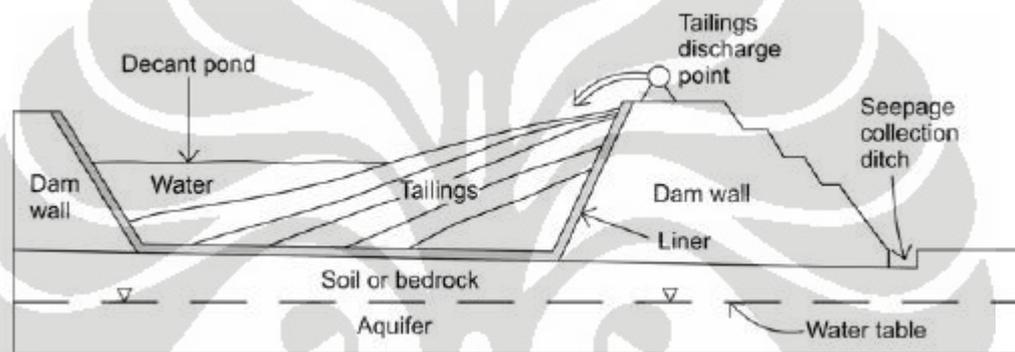
Pada industri pertambangan emas modern, lebih dari 99,99% dari bijih mineral yang ditambang dan diproses menjadi *tailing*. Butiran *tailing* memiliki *range* ukuran tanah liat hingga pasir, 2  $\mu\text{m}$  - 2 mm. Butiran *tailing* diluar daripada *range* ukuran tersebut, disebut dengan lendir. *Tailing* kering umumnya mengandung 70 - 80% wt ukuran partikel pasir dan 20 - 30 % wt ukuran partikel tanah liat halus (Younger, 2002).



Gambar 2.6 Distribusi Ukuran Partikel *Tailing*, *Coal Spoils*, dan *Waste Rocks*

Sumber : *Mine Water Hydrogeology and Geochemistry*, 2002

Kebanyakan *tailing* yang terbentuk pada industri pertambangan emas akan disalurkan menuju fasilitas penyimpanan *tailing*, yang biasa disebut dengan kolam *tailing*. Kolam *tailing* merupakan kolam sedimentasi residu proses pengolahan bijih dan air proses. Bentuknya bervariasi, yang disesuaikan dengan standar konstruksi fasilitas penyimpanan *tailing*. Pada kolam penyimpanan *tailing*, *tailing* yang masuk akan mengendap dan menghasilkan supernatan. Supernatan adalah badan air hasil pemrosesan yang telah terpisah dengan padatan *tailing* dalam fasilitas penyimpanan *tailing*, ditambah dengan limpasan hujan yang terkumpul. (Environmental, 2007)



Gambar 2.7 Potongan Melintang Kolam *Tailing*

Sumber : *Mine Wastes Characterization, Treatment and Environmental Impacts*, 2010

### 2.2.2 Air Asam Tambang (AAT)

*Tailing*, terutama *tailing* sulfida, berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, yaitu membentuk air asam tambang (AAT) yang terjadi akibat oksidasi mineral sulfida dan oksigen melalui reaksi oksidasi yang menghasilkan sejumlah mol ion  $H^+$  diiringi dengan turunnya nilai pH larutan (Gautama & Ashari, 2014). Air asam tambang memiliki unsur terlarut yang sangat banyak, dengan variabel kandungan unsur berbeda-beda, sesuai dengan jenis pertambangannya. Sehingga, pengklasifikasian AAT adalah berdasarkan pH dengan kondisi :

- a. Tidak memperhitungkan pH yang netral dan tingkat salinitas sangat tinggi
- b. Tidak memperhitungkan konsentrasi akibat senyawa proses kimiawi
- c. Tidak memperhitungkan besi, mangan dan aluminium
- d. Tidak memperhitungkan konsentrasi  $Fe^{2+}$  dan  $Fe^{3+}$

Klasifikasi AAT didasarkan pada 4 tingkat keasamannya, yakni, sangat asam, asam, netral basa dan *saline*.

Tabel 2.5 Klasifikasi Air Asam Tambang Berdasarkan pH

Kelas	Karakteristik
Sangat Asam	pH < 1, dihasilkan melalui reaksi <i>sulfideoxidation</i> dan hidrolisis
Asam	pH < 5.5, keasaman akibat oksidasi Fe kaya sulfida
Netral Basa	pH 6 – 10, produksi asam dan reaksi penyangga menjaga keseimbangan pH
<i>Saline</i>	pH bervariasi, mempengaruhi konsentrasi ion air

Sumber : *Mine Wastes Characterization, Treatment and Environmental Impacts*, 2010

### 2.2.3 Dampak Limbah Tambang Terhadap Lingkungan

Pada pengoperasian industri tambang emas, limbah dari bendungan *tailing*, buangan limbah tambang, *heap leach pads*, dan timbunan bijih dapat berisikan padatan tersuspensi dan kontaminan terlarut seperti asam, garam, logam berat, metaloid dan sulfat. Limbah yang berasal dari tambang tersebut tidak boleh langsung dibuang ke lingkungan, tanpa adanya pengolahan khusus (Lottermser, 2010). Berikut merupakan dampak dari limbah tambang :

a. Kontaminasi Air Permukaan

Wilayah terkontaminasi *tailing* akan mengalami penurunan secara alamiah akibat efek sedimen, kelarutan, dan penyerapan oleh partikel solid di sungai dan daratan. (Kossof, et al., 2014). Kontaminasi dapat berpengaruh pada saluran air hilir untuk memancing, irigasi, persediaan penyiraman dan pasokan air minum.

b. Kontaminasi Ekosistem Perairan

Konsentrasi logam, metaloid, tingkat keasaman tinggi dapat melebihi batas ambang toksisitas ekosistem air, dan menyebabkan degradasi kehidupan di

perairan (Seal, et al., 2008). Bahkan bisa terjadi penurunan keanekaragaman hayati, perubahan spesies, penurunan jumlah spesies dan membunuh spesies perairan (Luís, et al., 2009).

c. Kontaminasi Sedimen

Limbah tambang yang dilepaskan ke perairan lokal akan menyebabkan pengendapan konstituen terlarut yang mencemari saluran sungai dengan mineral. Transportasi dan deposisi partikel limbah, akan mengkontaminasi tanah dan sedimen dalam bentuk padatan (Lottermser, 2010).

d. Kontaminasi Air Tanah

Kontaminasi air tanah dapat berasal dari kerja tambang, kolam *tailing*, tumpukan bebatuan sisa, *heap leach pads*, timbunan bijih, kolam dan tanah terkontaminasi (Eary, et al., 2003). Tingkat kontaminan bergantung dari interaksi tanah, sedimen dan bebatuan yang mengkontaminasi air tanah.

#### 2.2.4 Peraturan Mengenai Limbah Tambang Emas

Baku mutu air limbah industri pertambangan emas dengan menggunakan proses sianidasi telah diatur dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 202 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan atau Kegiatan Pertambangan Bijih Emas dan atau Tembaga.

Tabel 2.6 Baku Mutu Air Limbah Bagi Kegiatan Pengolahan Bijih Emas dan atau Tembaga

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum	Metode Analisis
pH		6 – 9	SNI 06-6989-11-2004
TSS	mg/L	200	SNI 06-6989-3-2004
Cu*	mg/L	2	SNI 06-6989-6-2004
Cd*	mg/L	0,1	SNI-06-6989-18-2004
Zn*	mg/L	5	SNI 06-6989-7-2004
Pb*	mg/L	1	SNI 06-6989-8-2004
As*	mg/L	0,5	SNI 06-2913-1992
Ni*	mg/L	0,5	SNI 06-6989-22-2004
Cr*	mg/L	1	SNI 06-6989-14-2004

(lanjutan tabel 2.6)

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum	Metode Analisis
CN**	mg/L	0,5	SNI 19-1504-1989
Hg*	mg/L	0,005	SNI 06-2462-1991

Sumber : Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 202 Tahun 2004

Keterangan :

- \* = Sebagai konsentrasi total ion logam terlarut
- \*\* = Parameter khusus untuk pengolahan bijih emas yang menggunakan proses Cyanidasi.
- CN dalam bentuk CN bebas.
- \*\*\* = Jika ada versi yang telah diperbaharui, maka digunakan versi yang terbaru

## 2.3 Pengolahan Limbah Tambang Emas

### 2.3.1 Pengolahan Secara Aktif (*Active Treatment*)

Pengolahan secara aktif atau disebut dengan *active treatment* seperti curah hujan kimiawi dan penggunaan bioreaktor, dapat berlaku efektif dalam mencapai baku mutu kualitas air lingkungan. Akan tetapi, pengolahan aktif menghabiskan energi, reagen dan tenaga kerja, pengeluaran operasional dan pasca-operasional yang bisa dibilang tidak sedikit (Lindsay, et al., 2011). Pengolahan aktif terbukti dan handal dalam mengatasi limbah tambang, namun memiliki biaya dan bahan kimiawi yang tinggi. (Younger, et al., 2002). Pengolahan aktif umumnya menggunakan dosis bahan kimia dengan kapur atau lumpur terhidradi kalsium hidroksida yang berguna menetralkan asam akibat presipitasi logam. (Waters, et al., 2008).

Pengolahan secara aktif dapat berupa netralisasi aktif dengan pendekatan pengolahan yang melakukan pengumpulan lindi, penggunaan bahan kimia yang sesuai dan mencampurkannya dengan limbah yang diolah. Netralisasi aktif merupakan pengolahan aktif yang memiliki kegunaan :

1. Sebagai agen netralisasi

Agan netralisasi yang umum digunakan tertera pada tabel 2.7.

Tabel 2.7 Agen Kimiawi pada Netralisasi Aktif

<b>Nama Umum</b>	<b>Nama Kimiawi</b>	<b>Formula Kimiawi</b>
<i>Limestone</i>	<i>Calcium carbonate</i>	CaCO <sub>3</sub>
Kapur/Kaustik Kapur	<i>Calcium oxide</i>	CaO
<i>Hydrated Lime</i>	<i>Calcium hydroxide</i>	Ca(OH) <sub>2</sub>
<i>Dolomite</i>	<i>Calcium-magnesium carbonate</i>	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Magnesia Kaustik	<i>Magnesium hydroxide</i>	Mg(OH) <sub>2</sub>
Magnesit	<i>Magnesium carbonate</i>	MgCO <sub>3</sub>
Soda Abu	<i>Sodium carbonate</i>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
Soda Kaustik	<i>Sodium hydroxide</i>	NaOH
Ammonia	<i>Anhydrous ammonia</i>	NH <sub>3</sub>
<i>Kiln Dust</i>		CaO dan Ca(OH) <sub>2</sub>
<i>Fly Ash</i>		CaCO <sub>3</sub> dan CaO

Sumber : *Managing Sulphidic Mine Wastes And Acid Drainage*, 1997

2. Sebagai pencampuran

Agen kimiawi terdispersi ke dalam limbah, pada kadar dan dosis tertentu sebagai agen netralisasi.

3. Sebagai prosedur dalam menunda oksidasi besi

Besi dijaga tetap dalam bentuk Fe<sup>2+</sup> hingga logam lain mengendap dan alkalinitas yang ditingkatkan telah larut.

4. Sebagai kolam pengendapan ataupun reaktor PPN dalam menghilangkan logam.

### 2.3.2 Pengolahan Secara Pasif (*Passive Treatment*)

Pengolahan secara pasif adalah pengolahan yang menggunakan aliran air alami dan kimia dan proses biologis dalam mengurangi konsentrasi logam terlarut dan menetralkan keasaman. Pengolahan pasif merupakan alternatif dari pengolahan aktif, yang memiliki nilai ekonomis, dikarenakan tidak memerlukan penambahan bahan kimia secara terus menerus dan dapat beroperasi lanjut menggunakan proses biogeokimiawi yang terdapat dalam rekaya biosistem (Younger, et al., 2002).

Metode yang umum digunakan dalam pengolahan pasif adalah *Anoxic Limestone Drains (ALDs)*, *Sucessive Alkalinity Producing Systems (SAPS)*, *Wetland*, *Aerobic Wetland*, *Anaerobic Wetland*, *Bioreactor*, *Aeration Pond* dan *Algae - filled rock filter*. Dalam mereduksi logam sianida dan meningkatkan nilai pH, tidak seluruh metode pengolahan pasif bisa diaplikasikan. Dimana pada penelitian ini digunakan metode *Aerobic Wetland*, sebagai pengkondisian pH dan penurunan kadar sianida yang sesuai.

## **2.4 Sistem Lahan Basah Buatan**

### **2.4.1 Gambaran Umum Sistem Lahan Basah Buatan**

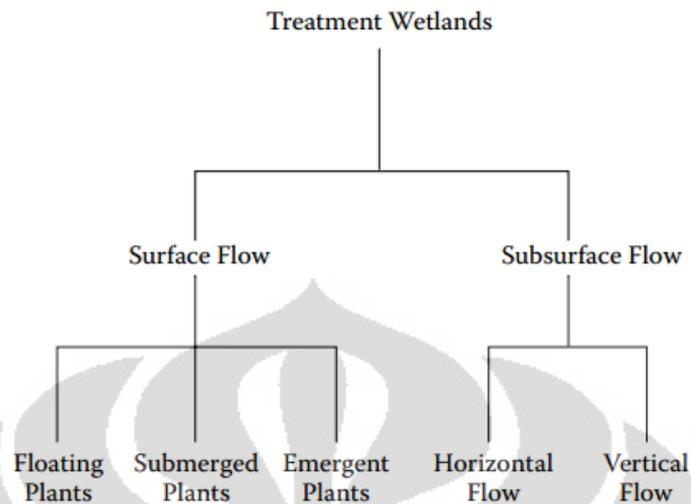
Lahan basah buatan adalah sistem rekayasa yang dirancang dan dibangun dengan memanfaatkan proses alamiah, yang melibatkan lahan basah vegetasi dan berasosiasi dengan mikroba dalam mengolah limbah (Vymazal, 2014). Lahan basah buatan bisa digunakan untuk berbagai tipe limbah.

Pada awalnya, penerapan lahan basah buatan adalah untuk limbah domestik dan perkotaan. Seiring berjalannya waktu dan perkembangan teknologi, sistem lahan basah buatan dapat diterapkan diberbagai bidang pekerjaan, seperti pada industri, air limpasan hujan perkotaan dan pertanian, air tambang, remediasi air tanah, dan lain-lain.

Pertimbangan desain sistem lahan basah buatan bervariasi, bergantung dari lokasi penggunaannya. Lahan basah buatan direkayasa untuk jenis selain dari air limbah, dengan serangkaian langkah pengolahan yang didesain sesuai dengan laju aliran dan pemuatan yang diharapkan. Secara umum, semakin berat beban sistem penerima, maka semakin besar sistem lahan basah buatan yang diperlukan agar sistem efektif dalam menghilangkan kontaminan. Beban terberat merupakan volume air buangan ataupun volume dengan konsentrasi kontaminan yang tinggi.

### **2.4.2 Sistem dan Jenis Lahan Basah Buatan**

Lahan basah buatan dirancang untuk menekankan karakteristik tertentu dari ekosistemnya untuk meningkatkan kapasitas pengolahan. Pengolahan lahan basah buatan terdiri atas berbagai jenis. Dasar dari sistem lahan basah ditampilkan dalam gambar 2.8.



Gambar 2.8 Jenis Lahan Basah Buatan

Sumber : *Treatment Wetlands Second Edition*, 2008

Dalam penerapannya kini, terdapat tiga jenis lahan basah buatan yang umum digunakan, dengan varian tata letak, media, jenis tanaman dan pola aliran yang berbeda-beda, yaitu :

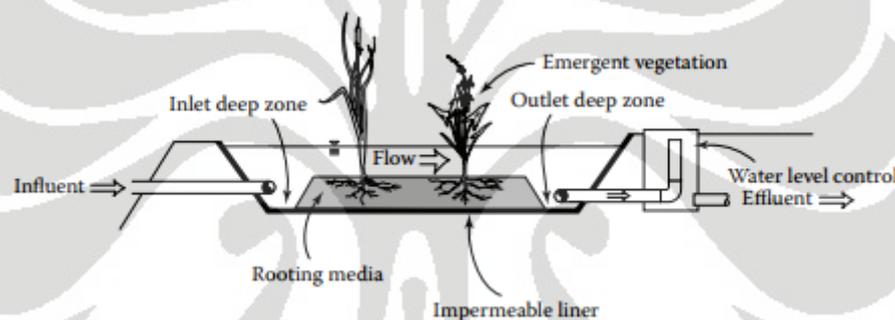
- a. Air permukaan bebas (*free water surface*)  
Merupakan lahan basah buatan dengan area perairan terbuka, berbentuk seperti rawa alami.
- b. Aliran bawah permukaan horizontal (*horizontal subsurface flow*)  
Merupakan lahan basah buatan dengan penanaman batuan kerikil pada bawah permukaan vegetasi lahan basah. Aliran air dijaga tetap pada bawah permukaan, mengalir secara horizontal dari inlet menuju outlet.
- c. Lahan basah aliran vertikal  
Distribusi seluruh aliran air melewati bagian atas permukaan pasir ataupun kerikil yang tertanam bersama dengan vegetasi lahan basah. Air dikondisikan seperti merembes melalui zona akar tanaman.

#### 2.4.2.1 Air Permukaan Bebas (*Free Water Surface*)

Lahan basah buatan air permukaan bebas merupakan area dengan perairan terbuka, dengan jenis vegetasi yang mengambang dan tanaman yang muncul

terlihat. Seperti dengan kinerja lahan basah umumnya, tipe ini mengolah limbah melalui proses sedimentasi, filtrasi, oksidasi, reduksi, adsorpsi dan curah hujan. Tipe lahan basah ini cocok digunakan dalam segala iklim, merupakan tipe pilihan pengolahan paling eksklusif untuk pengolahan limbah perkotaan, pertanian, dan air limpasan industri dikarenakan kemampuannya menangani desakan arus dan perubahan aliran (Kadlec & Wallace, 2008).

Lahan basah buatan air permukaan bebas membutuhkan lahan yang luas, tapi umumnya lebih mudah untuk dirancang, dibangun dan dikelola. Bentuk fisiknya terdiri dari cekungan dangkal dengan tanaman yang ditanam *submergent* dan muncul pada permukaan, mentolerir tanah jenuh dan kondisi aerobik (Lorion, 2001). Aliran air mengalir dari ujung ke ujung cekungan lahan.



Gambar 2.9 Elemen Dasar Lahan Basah Buatan Air Permukaan Bebas

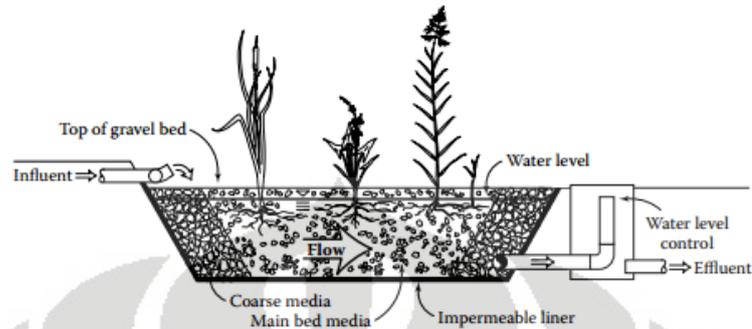
Sumber : *Treatment Wetlands Second Edition*, 2008

#### 2.4.2.2 Aliran Bawah Permukaan Horizontal

Lahan basah buatan dengan aliran bawah permukaan horizontal terdiri dari penanaman batuan kerikil pada bawah permukaan vegetasi lahan basah. Tipe lahan basah ini dirancang sebagai pengolahan limbah primer sebelum pembuangan ke lahan ataupun permukaan air baku. Limbah dialirkan ke bawah permukaan media sehingga mengalir diantara akar dan rizoma tanaman. Dikarenakan aliran alir yang tidak tergenang, maka resiko paparan organisme patogen bisa diminimalkan.

Pada penerapannya, limbah yang digunakan pada tipe lahan basah buatan ini memiliki laju aliran yang kecil, dikarenakan pertimbangan ruang dan biaya. Lahan basah buatan aliran bawah permukaan horizontal umumnya terdiri dari pipa

inlet, tanah liat ataupun pelapis sintetis, media filter, vegetasi, tanggul dan pipa outlet dengan kontrol tingkat air (Kadlec & Wallace, 2008).

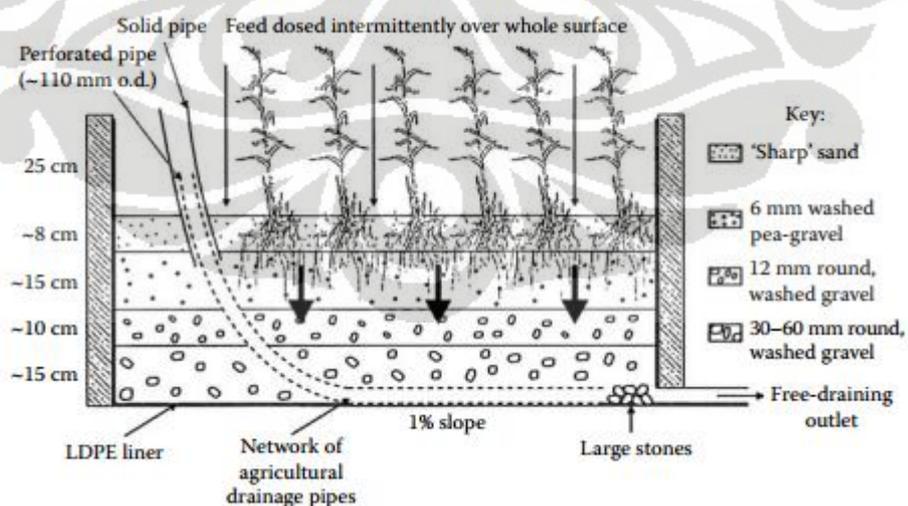


Gambar 2.10 Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan Horizontal

Sumber : *Small-scale constructed wetland treatment systems: Feasibility, design criteria, and O&M requirements*, 2006

#### 2.4.2.3 Lahan Basah Buatan Aliran Vertikal

Pengembangan lahan basah buatan aliran vertikal adalah untuk menyediakan tingkat transfer oksigen yang lebih tinggi, sehingga menghasilkan efluen yang ternitrifikasi. Lahan basah buatan aliran vertikal memiliki banyak varian. Jenis yang paling umum digunakan di Eropa adalah jenis dengan permukaan yang meluap, dengan konfigurasi *single-pass*.



Gambar 2.11 Tipikal Lahan Basah Buatan Aliran Vertikal

Sumber : *Reed Beds and Constructed Wetlands Wastewater Treatment*, 1996

#### 2.4.2.4 Sistem *Batch* Lahan Basah Buatan

Sistem operasi *batch* pada lahan basah buatan merupakan sistem dengan penambahan dan pengurasan air secara episodik, hanya pada waktu tertentu. Sistem *batch* merupakan alternatif dari sistem lahan basah buatan.

#### 2.4.3 Proses Penghilangan Logam pada Lahan Basah Buatan

Pengolahan limbah oleh lahan basah buatan terdiri dari beberapa mekanisme. Penghilangan kontaminan kebanyakan melalui proses sedimentasi, degradasi mikroba, presipitasi dan penyerapan oleh tanaman. Penyerapan logam berat oleh sistem lahan basah dapat melalui tanah lahan basah atau sedimen, atau dari bahan organik. Penyerapan logam pada lahan basah berasal dari berbagai proses biogeokimia, termasuk proses aerobik dan anaerobik pada permukaan air, tanaman membusuk dan sedimen (Sobolewsk, 2006). Sheoran & Sheoran (2006) menjabarkan proses penghilangan logam berat pada lahan basah buatan secara fisik, kimiawi dan biologis, sebagai berikut :

a. Proses penghilangan secara fisik

- Pengendapan dan sedimentasi

Pengendapan dan sedimentasi dapat secara efektif menghilangkan kandungan logam berat dalam limbah (ITRC, 2003). Logam berat secara tidak langsung terserap ke dalam substrat dan biota. Proses sedimentasi mengendapkan logam berat yang terkandung dalam limbah ke dalam sedimen. Sehingga, kandungan logam pada permukaan perairan lahan basah mengalami penurunan.

b. Proses penghilangan secara kimiawi

- Sorpsi

Penyerapan merupakan proses kimiawi yang paling utama dalam menghilangkan logam berat dalam jangka waktu panjang ataupun pendek. Penyerapan merupakan transfer ion dari air ke tanah, dari fase cair menuju fase padat.

- Adsorpsi

Logam berat teradsorpsi dalam tanah dan senyawa organik melalui tarikan elektrostatis dan akan berbentuk sebagai atom logam. Lebih dari 50% logam berat terserap dengan mudah ke partikel pada lahan basah dan dihilangkan melalui proses sedimentasi.

- Oksidasi dan hidrolisis logam

Logam besi, aluminium dan mangan dapat berubah bentuk menjadi senyawa terlarut melalui proses hidrolisis dan/atau oksidasi. Proses tersebut menyebabkan pembentukan berbagai oksida, *oxyhydroxides* dan hidroksida.

- Presipitasi dan co-presipitasi

Presipitasi dan co-presipitasi dalam penghapusan logam berat merupakan mekanisme serap penting pada sedimen lahan basah. Presipitasi bergantung pada kelarutan  $K_{sp}$  logam berat, pH lahan basah dan konsentrasi ion logam dan anion yang relevan.

- Karbonat logam

Logam berat dapat membentuk karbonat pada kondisi perairan dengan konsentrasi bikarbonat yang tinggi. Pembentukan karbonat berlangsung ketika produksi bakteri pada alkalinitas bikarbonat pada lahan basah substansial.

- Sulfida logam

Penghilangan sulfat pada lahan basah buatan bergantung pada substrat yang mampu menopang pertumbuhan bakteri anaerob penghasil hidrogen sulfida. Logam berat akan bereaksi dengan hidrogen sulfida kemudian berbentuk menjadi sulfida logam yang tidak larut.

c. Proses penghilangan secara biologis

- Metabolisme bakteri

Mikroorganisme dan proses metabolismenya berperan besar dalam penyerapan, penyimpanan dan penghilangan logam berat, seperti tembaga, sulfat, kromium, uranium dan selenium

#### 2.4.4 Kriteria Lahan Basah Buatan

Efisiensi lahan basah dipengaruhi hidrologi, dimensi ukuran, waktu tinggal air limbah, hidrolis, kedalaman dan rasio panjang:lebar. Berikut merupakan kriteria desain lahan basah buatan yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 2.8 Kriteria Desain Lahan Basah Buatan

	Satuan	<i>Overland Flow</i>	<i>Surface Flow</i>	<i>Sub Surface Flow</i>	<i>Ponds</i>	<i>Storm Water Ponds</i>
Kebutuhan <i>Pre Treatment</i>		Preliminer atau sekunder	Preliminer atau sekunder	Preliminer atau sekunder	Preliminer atau sekunder	Area sedimentasi
Area Spesifik	ha 1000/m <sup>3</sup> d	6 – 67	0,8 – 12	0,25 – 3,5	0,2 – 1,5	-
Area Spesifik	m <sup>2</sup> PE	10 – 25	3 – 25	1 – 10	2 – 5	-
Laju Pembebanan Hidrolik	cm/hari	1 – 10	0,5 – 12	3 – 40	5 – 20	-
Waktu Detensi	hari	-	7 – 10	1 – 15	0,5 – 14	0,1 – 5
Kedalaman Air	m	< 0,1	0,1 – 0,5	0,5 – 2 kedalaman filter	1,5 – 4	0,5 – 1,5
Rasio P:L		5 : 1	2 : 1	4:1 – 10:1	1:1	15:1

Sumber : Vymazal *et.al*, 1998; Kadlec and Knight, 1996 dalam Antoinette, 2014

#### 2.4.5 Komponen Penyusun Lahan Basah Buatan

Lahan basah buatan memiliki rancangan komponen penyusun yang terdiri dari air, substrat, dan umumnya, tumbuhan vaskular. Komponen tersebut dapat dimanipulasi dan dikontrol selama operasional lahan basah buatan. Komponen lainnya yang tidak kalah penting adalah komunitas mikroba yang berkembang secara alami. Berikut merupakan komponen-komponen penyusun lahan basah buatan sesuai dengan *Environmental Protection Agency* :

##### 2.4.5.1 Air

Hidrologi adalah faktor desain paling penting dalam perancangan lahan basah buatan, dikarenakan fungsinya yang menghubungkan seluruh kinerja lahan

basah. Hidrologi merupakan faktor utama penentuan kesuksesan penerapan lahan basah buatan. Hidrologi berpengaruh pada beberapa aspek penting, yakni :

- a. Sedikit perubahan hidrologi dapat berdampak signifikan terhadap lahan basah buatan dan efektivitas pengolahannya
- b. Dikarenakan area permukaan yang besar dengan kedalaman yang dangkal, lahan basah buatan berinteraksi kuat dengan kondisi atmosfer berupa curah hujan dan evapotranspirasi
- c. Kepadatan vegetasi lahan basah sangat mempengaruhi hidrologi, sebagai penghalang jalur aliran air dan menghalangi paparan angin dan matahari

#### 2.4.5.2 Substrat, Sedimen dan Sampah

Substrat digunakan sebagai komponen penyusun lahan basah buatan termasuk diantaranya tanah, pasir, kerikil, batu dan bahan organik, seperti kompos. Sedimen dan sampah, turut mengendap pada lahan basah buatan dikarenakan kecepatan air yang rendah dan produktivitas yang tinggi. Substrat, sedimen dan sampah penting pada sistem lahan basah buatan dikarenakan :

- a. Mendukung kehidupan banyak organisme.
- b. Permeabilitas substrat mempengaruhi pergerakan air.
- c. Transformasi kimiawi dan biologis berlangsung pada substrat.
- d. Substrat sebagai media penyimpanan untuk bertahun-tahun.
- e. Akumulasi sampah meningkatkan jumlah bahan organik pada lahan basah buatan. Bahan organik merupakan media pertukaran material dan mikroba melekat, merupakan sumber karbon, dan sumber energi beberapa reaksi biologis pada lahan basah buatan.

#### 2.4.5.3 Vegetasi

Tumbuhan vaskular (tanaman tinggi) dan tanaman non-vaskular (algae) merupakan faktor penting dalam lahan basah buatan. Fotosintesis yang dilakukan oleh algae meningkatkan kandungan oksigen terlarut pada air, yang mempengaruhi nutrisi dan reaksi logam. Tumbuhan vaskular berperan dalam mengolah limbah cair dan limpasan, dengan beberapa cara :

- a. Menstabilkan substrat dan membatasi aliran saluran

- b. Memperlambat kecepatan air, memungkinkan penyerapan karbon, nutrisi dan elemen lain ke dalam jaringan tanaman
- c. Mentransfer gas antara atmosfer dan sedimen
- d. Kebocoran oksigen dari struktur tanaman bawah permukaan membentuk oksigen *microsites* di dalam substrat
- e. Akar dan batangnya memberikan lahan pelekatan mikroba
- f. Menyumbang sampah ketika tumbuhan mati dan membusuk

#### 2.4.5.4 Mikroorganisme

Mikroorganisme, termasuk bakteri, ragi, jamur, protozoa dan kulit alga, mempengaruhi karakteristik dasar lahan basah. *Biomass* mikroorganisme merupakan penyedia utama karbon organik dan nutrisi lahan basah buatan. Berikut merupakan aktivitas yang dilakukan mikroorganisme :

- a. Mengubah sejumlah besar zat organik dan zat anorganik menjadi tidak berbahaya atau tidak larut
- b. Mereduksi/oksidasi kondisi substrat sehingga mempengaruhi kapasitas lahan basah buatan
- c. Terlibat dalam daur ulang nutrisi

Mikroorganisme yang terkandung dapat berupa mikroorganisme aerobik ataupun anaerobik. Komunitas mikroorganisme dalam lahan basah buatan dapat dipengaruhi oleh zat-zat beracun seperti pestisida dan logam berat, sehingga diperlukan pengelolaan khusus untuk mencegah kerusakan konsentrasi kimia.

#### 2.4.6 Aplikasi pada Pertambangan

Pada tahun 1980-an, penerapan lahan basah buatan digunakan untuk mengolah air asam tambang di Amerika Serikat. Pada tahun itu, dibangun lebih dari 300 lahan basah buatan yang berfungsi untuk meningkatkan pH dan mengurangi konsentrasi zat besi dan/atau mangan di industri pertambangan (Kleinman & Hedin, 1989). Pengolahan konvensional air lindi lokasi pertambangan mencakup gradasi permukaan dan re-konturing, untuk mengurangi arus dan *buffering* seyawa kimiawi serta curah hujan, untuk meningkatkan kualitas air. Proses tersebut membutuhkan biaya dan siklus hidup yang relatif tinggi, sehingga

pengembangan alternatif pengolahan yang lebih efektif lebih diminati, yakni lahan basah buatan. Metode lahan basah buatan memiliki desain yang sederhana, tanpa perubahan signifikan. Seiring dengan perkembangan teknologi, pengolahan lahan basah buatan kini diterapkan terhadap air limbah tambang logam dan *limbah tailing* yang mengandung lindi.

#### 2.4.7 *Typha latifolia*

Tanaman *Typha latifolia* merupakan jenis spesies *bullrush* yang biasanya tumbuh di dalam atau di sekitar rawa-rawa. *Typha latifolia* merupakan jenis tanaman yang baik untuk ditanami pada lahan basah, mudah ditangani, tidak memerlukan banyak biaya perawatan serta memiliki ketahanan yang tinggi terhadap perubahan cuaca dan kondisi lingkungan. Biasanya tanaman ini tumbuh di dalam air dengan kedalaman 0,8 meter dan dapat tumbuh setinggi 1,5 meter hingga 3 meter. Berikut merupakan klasifikasi *Typha latifolia* :

Tabel 2.9 Klasifikasi *Typha latifolia*

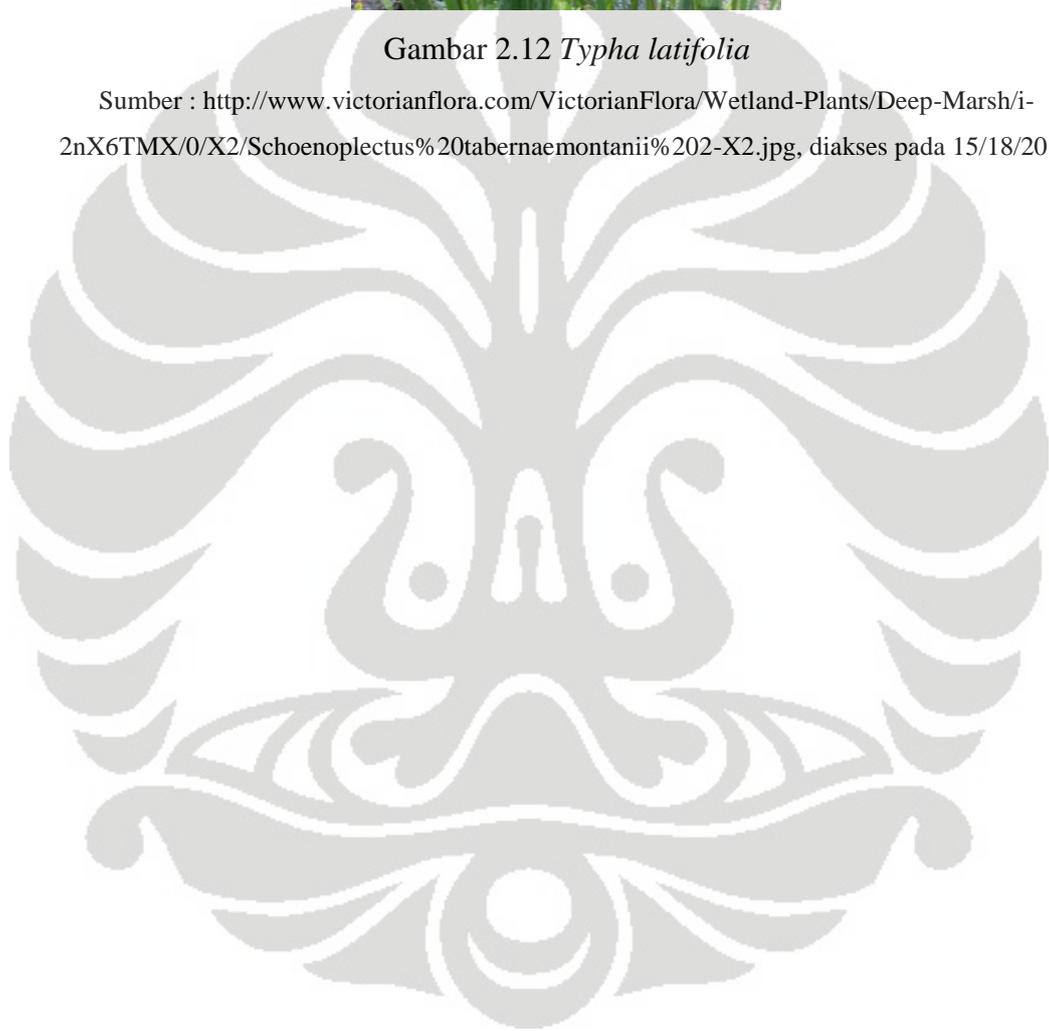
Tingkatan	Nama Ilmiah	Nama Umum
<i>Kingdom</i>	<i>Plantae</i>	Tanaman
<i>Subkingdom</i>	<i>Tracheobionta</i>	Tanaman vaskular
<i>Superdivision</i>	<i>Spermatophyta</i>	Tanaman berbiji
<i>Division</i>	<i>Magnoliophyta</i>	Tanaman berbunga
<i>Class</i>	<i>Liliopsida</i>	Monokotil
<i>Subclass</i>	<i>Commelinidae</i>	
<i>Order</i>	<i>Typhales</i>	
<i>Family</i>	<i>Typhaceae</i>	Keluarga <i>cattail</i>
<i>Genus</i>	<i>Typha L.</i>	<i>Cattail</i>
<i>Spesies</i>	<i>Typha latifolia L.</i>	<i>Broadleaf cattail</i>

Sumber : <http://plants.usda.gov/core/profile?symbol=tyla>, diakses pada 10/12/2014



Gambar 2.12 *Typha latifolia*

Sumber : <http://www.victorianflora.com/VictorianFlora/Wetland-Plants/Deep-Marsh/i-2nX6TMX/0/X2/Schoenoplectus%20tabernaemontanii%202-X2.jpg>, diakses pada 15/18/2014



## 2.5 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.10 Penelitian Terdahulu

No	Judul	Pengarang	Tujuan	Tahun	Metode Penelitian	Variabel	Parameter	Hasil
1	<i>Wetland remediation of cyanide and hydrocarbons</i>	Timothy P. Gessner, Robert H. Kadlec, Richard P. Reaves	Menginvestigasi penggunaan lahan basah <i>free water surface</i> untuk mengurangi polutan kompleks dan sianida bebas yang terkandung dalam air tanah pada wilayah yang dahulu digunakan sebagai tempat pembuangan industri aluminium	2005	Terdapat 2 <i>cell</i> lahan basah : 1) Lahan basah pertama berukuran 5 m x 5 m dan dilapisi bentonite, dengan penggunaan tanaman <i>Schoenoplectus tabernaemontani</i> . 2) Lahan basah kedua berukuran 7 m x 12 m dan dilapisi PVC, dengan penggunaan tanaman <i>Typha latifolia</i> .	Variabel bebas : kadar sianida dan hidrokarbon  Variabel kontrol : Debit, besi, DRO, GRO, sianida bebas, total sianida, fluor, BTEX, nitrat-nitrogen, ammonia-nitrogen, fosfor, pH dan DO	Kadar sianida dan hidrokarbon	Sianida bebas dan sianida total hilang sebesar 88% pada cell 1 dan sebesar 56% pada cell 2.

(lanjutan tabel 2.12)

No	Judul	Pengarang	Tujuan	Tahun	Metode Penelitian	Variabel	Parameter	Hasil
2	<i>Passive Treatment for the removal of residual cyanide in drainage from closed gold mine tailing ponds</i>	R. Álvarez1, A. Ordóñez, T. Martínez, J. Loredo, F.Pendás, P. Younger	Melakukan percobaan pengolahan limbah yang mengandung sianida (dan logam) dengan metode <i>passive treatment</i> , guna menemukan teknik <i>constructed wetland</i> yang efektif dan berkelanjutan	2004	Skala Laboratorium : (1) <i>Aerobic/Anaerobic Wetland</i> . Volume 375 L Dengan Ukuran 1,5 M X 0,5 M X 0,5 M. Bahan Terbuat Dari Kontainer Baja Galvanis. Kontainer Terbagi Menjadi 15 Bagian, Aliran Air Pada Sirkuit Arus Sepanjang 7 M. Bagian bawah diisi lapisan tipis <i>limestone</i> & 30 cm kompos porositas 45%. Waktu tinggal selama 7 hari. Tanaman yang digunakan <i>Typha Latifolia</i> . Penelitian berjalan selama 60 hari.	Variabel bebas : HCN/CN <sup>-</sup>  Variabel kontrol : Debit, pH, potensi redoks, konduktivitas listrik	HCN/CN <sup>-</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pH menurun dari 8,5 menjadi 7,5</li> <li>- Konduktivitas listrik menurun dari 10 mS/cm menjadi 6,5 mS/cm</li> <li>- HCN tervolatisasi</li> <li>- Terjadi pembentukan <i>cyanate</i></li> <li>- Penyisihan CNwad sebesar 90%</li> <li>- Penyisihan Cu sebesar 98%</li> <li>- <i>Typha Latifolia</i> menyerap merkuri 12x, besi 4x, tembaga 32x dan timbal 2x.</li> </ul>

(lanjutan tabel 2.12)

No	Judul	Pengarang	Tujuan	Tahun	Metode Penelitian	Variabel	Parameter	Hasil
3	<i>Constructed Wetlands Use for Cyanide and Metal Removal From Gold Mill Effluents</i>	Ignacio Rodríguez García	Memberikan latar belakang informasi efektivitas dan kesesuaian <i>constructed wetlands</i> untuk penghilangan sianida dan logam lainnya yang berasal dari efluen tambang emas	2003	<i>Wetland</i> skala laboratorium : Berbahan struktur <i>stainlesssteel</i> . Volume reaktor 375 L, dengan dimensi 1,5 m x 0,5 m x 0,5 m. 7 m jalan berliku untuk aliran limbah. Pada bagian bawah diisi dengan kompos dengan porositas 45% tebal 30 cm (320 L). Volume limbah yang digunakan 144 L. Debit limbah 10 ml/min selama eksperimen. Tanaman yang digunakan adalah <i>Typha latifolia</i> .	Variabel Bebas : Sianida WAD dan Tembaga  Variabel kontrol : Debit, pH, konduktivitas listrik, waktu tinggal	Sianida WAD, tembaga, pH, konduktivitas listrik	- pH menurun 1 s/d 1,5 unit - Konduktivitas listrik meningkat - Penyisihan sianida WAD sebesar 90,36 % - Penyisihan tembaga sebesar 97,99 %

(lanjutan tabel 2.12)

No	Judul	Pengarang	Tujuan	Tahun	Metode Penelitian	Variabel	Parameter	Hasil
4	<i>Wetland treatment at extremes of pH ; a review</i>	W. M. Mayes, L. C. Batty, P. L. Younger, A. P. Jarvis, M. Koiv, C. Vohla, U. Mander	Mendokumentasikan pembuktian terbaru atas kegunaan <i>constructed wetlands</i> dalam mengolah limbah dengan kadar asam ataupun alkali yang tinggi	2008	<i>Review</i> pengolahan <i>constructed wetlands</i> pada limbah dengan tingkat asiditas dan alkalinitas tinggi		<i>Constructed Wetlands</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Constructed wetlands</i> asam berkemampuan mengurangi sulfat, mengenerasi alkalinitas dan menghilangkan logam dalam limbah melalui penggunaan kompos</li> <li>- <i>Constructed wetlands</i> alkali menggunakan mikroorganisme untuk mempercepat reaksi <i>buffer</i>.</li> </ul>

(lanjutan tabel 2.12)

No	Judul	Pengarang	Tujuan	Tahun	Metode Penelitian	Variabel	Parameter	Hasil
5	<i>Treatment of Waters Polluted With Radioactive Elements and Heavy Metals by Means of a Laboratory Passive System</i>	S. N. Groudev, S. G. Bratcova, K. Komnitsas	Mengembangkan sistem pengolahan alami dengan menggunakan proses biologis dan geokimia untuk meningkatkan kualitas air	2004	Percobaan skala laboratorium sistem pengolahan pasif dengan menggunakan unit anaerobik pereduksi sulfat, <i>cell</i> produksi alkalinitas dan <i>constructed wetlands</i> .  <i>Construted wetlands</i> yang digunakan memiliki volume 180 L dengan dimensi 120 cm x 60 cm x 25 cm. Dari bagian bawah reaktor diisi campuran lapisan kompos dan tanah setebal 20 cm. Tanaman yang digunakan adalah <i>Typha latifolia</i> dan genus <i>Scirpus</i> , <i>Eleocharis</i> dan <i>Charex</i> . Algae yang digunakan adalah genus <i>Zygnemophyta</i> dan <i>Marsilea</i> .	Variabel bebas : Uranium, Radium, Sulfat, Nitrat, Amonia, Klorida, pH, TSS, Besi, Mangan, Tembaga, Zinc, Kadmium, Arsenik, Molybdenum  Variabel kontrol : Debit, pH, temperatur	Uranium, Radium, Sulfat, Nitrat, Amonia, Klorida, pH, TSS, Besi, Mangan, Tembaga, Zinc, Kadmium, Arsenik, Molybdenum	- <i>Construted Wetlands</i> mampu mereduksi Sulfat dengan baik dikarenakan bakteri aerobik - <i>Constructed Wetlands</i> menurunkan konsentrasi senyawa organik terlarut dalam limbah secara signifikan - Penggunaan <i>constructed wetlands</i> secara terpisah tanpa pengolahan sebelumnya juga dapat menurunkan polutan logam berat bila pada kondisi pH lebih dari 4,5.

(lanjutan tabel 2.12)

No	Judul	Pengarang	Tujuan	Tahun	Metode Penelitian	Variabel	Parameter	Hasil
6	<i>Passive Mine Water Treatment : The Correct Approach?</i>	Margarete Kalin	Untuk mengetahui penerapan sistem <i>constructed wetlands</i> yang efektif dan mendapatkan pendekatan yang berkelanjutan	2004	Melakukan studi literatur dari berbagai penelitian <i>constructed wetlands</i> yang telah dilaksanakan terhadap limbah industri tambang		<i>Constructed Wetlands</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Constructed wetlands</i> ataupun <i>passive treatment</i> merupakan komponen penting restorasi ekologi dikarenakan kapasitas sedimennya, bukan kapasitas olahannya, seperti <i>biomineralization</i></li> <li>- <i>Constructed wetlands</i> mengolah TSS dan menyediakan sumber karbon terhadap ekologi mikroba pada sedimen untuk mendukung <i>biomineralization</i></li> <li>- Solusi terhadap limbah industri tambang adalah dengan strategi pengolahan geomikrobiologi, seperti <i>constructed wetlands</i></li> </ul>

(lanjutan tabel 2.12)

No	Judul	Pengarang	Tujuan	Tahun	Metode Penelitian	Variabel	Parameter	Hasil
7	Pengolahan Air Asam Tambang Menggunakan Sistem "Passive Treatment"	Cynthia Henny, Guruh Satria Ajie, Evi Susanti	Meningkatkan kualitas AMD agar bisa digunakan sebagai sumber air bersih dan untuk mencegah pencemaran lingkungan	2010	<p>Pengolahan pasif dengan gabungan sistem <i>Anoxic Limestone Drains</i> dan <i>Constructed Wetlands</i>.</p> <p>Sistem CW :</p> <p>1) Sistem aerobik dengan ukuran 2 m x 0,5 m x 1 m dengan tanaman <i>Eichornia sp.</i></p> <p>2) Sistem anaerobik dengan ukuran 2 m x 2 m x 1 m. Lapisan (bawah ke atas) adalah liner, gravel 10 cm, pasir, kompos 40 cm, tanah 20 cm. Tanaman yang digunakan adalah <i>Lepironia sp.</i></p> <p>Debit 500 L/d dan HRT 5,5 hari.</p>	<p>Variabel bebas : Turbiditas, konduktivitas, pH, suhu, logam berat</p> <p>Variabel kontrol : Debit, oksigen, temperatur, pH</p>	Turbiditas, konduktivitas, pH, suhu, logam Fe, Sulfat, Aluminium	<p>Sistem <i>Constructed Wetlands</i> mampu untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Meningkatkan pH dari 2,8 menjadi 7.</li> <li>- Menurunkan turbiditas</li> <li>- Menurunkan konduktivitas</li> <li>- Menyisihkan logam Fe mencapai 100 %</li> <li>- Menyisihkan sulfat 67 % – 90 %</li> <li>- Menyisihkan Al 93 % – 97 %</li> <li>- Mengolah limbah hingga memenuhi standar baku mutu</li> </ul>

(lanjutan tabel 2.12)

No	Judul	Pengarang	Tujuan	Tahun	Metode Penelitian	Variabel	Parameter	Hasil
8	<i>Application of a constructed wetland for industrial wastewater treatment: A pilot-scale study</i>	T. Y. Chen, C. M. Kao, T. Y. Yeh, H. Y. Chien, A. C. Chao	Untuk mengetahui efisiensi dan kapasitas <i>constructed wetlands</i> pada penghilangan polutan limbah industri	2005	Penelitian terhadap 4 reaktor <i>constructed wetlands free water surface</i> . Dimensi untuk setiap reaktor 4 m x 1 m x 1 m. Perbedaan reaktor adalah penggunaan tanaman yang berbeda : 1) <i>Pistia stratiotes</i> L. 2) <i>Ipomoea aquatica</i> 3) <i>Phragmites communis</i> L. 4) <i>Typha orientalis</i> Presl.  Media yang digunakan adalah vesikel bioballs keramik dan kerikil kecil, dengan diameter 1 cm.	Variabel bebas : Efisiensi penghilangan COD, BOD, SS, TP, NH <sub>3</sub> -N  Variabel kontrol : HRT, debit, media	COD, BOD, SS, TP, NH <sub>3</sub> -N	<i>Constructed wetlands</i> dapat menurunkan polutan SS sebesar 81 %, dan TP sebesar 35%.

(lanjutan tabel 2.12)

No	Judul	Pengarang	Tujuan	Tahun	Metode Penelitian	Variabel	Parameter	Hasil
9	<i>Destruction of cyanide in gold mill effluents: biological versus chemical treatments</i>	Ata Akcil	Dokumentasi dan <i>review</i> kemajuan penggunaan pengolahan biologis dan kimiawi efluen industri emas, logam sianida	2013	Studi literatur terhadap beberapa pengolahan biologis dan 10 proses pengolahan kimiawi limbah industri tambang emas		Pengolahan biologis dan pengolahan kimiawi	Efektivitas pengolahan sianida dapat berbeda-beda bergantung dengan pengolahan yang diterapkan, namun kini pengolahan biologis lebih umum diterapkan

(lanjutan tabel 2.12)

No	Judul	Pengarang	Tujuan	Tahun	Metode Penelitian	Variabel	Parameter	Hasil
10	<i>Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment</i>	U. Stottmeister, A. Wießner, P. Kuschik, U. Kappelmeyer, M. Kästner, O. Bederski, R. A. Müller, H. Moorman	Tinjauan mendalam pada mekanisme tanaman dan mikroorganisme di <i>constructed wetlands</i> , saat penghilangan koontaminan pada air limbah	2003	Studi literatur terhadap tanaman dan mikroorganisme		Tanaman dan mikroorganisme	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mikroorganisme berperan dalam nitrifikasi dan denitrifikasi, seperti prses <i>physicochemical</i>, di <i>constructed wetlands</i></li> <li>- Tanaman mampu mentolerir konsentrasi tinggi dari nutrisi dan logam berat, menyerapnya ke dalam jaringan badan tanamannya</li> </ul>

(lanjutan tabel 2.12)

No	Judul	Pengarang	Tujuan	Tahun	Metode Penelitian	Variabel	Parameter	Hasil
11	<i>Wetland-based passive treatment systems for gold ore processing effluents containing residual cyanide, metals and nitrogen species.</i>	Alvarez R, Ordóñez A, Loredó J, Younger PL.	Penelitian skala laboratorium	2013	Skala laboratorium pengolahan <i>constructed wetlands</i> aerobik dan anaerobik	Variabel bebas : Sianida terlarut, Cu, nitrit dan nitrat  Variabel kontrol : Debit, pH, suhu	Sianida terlarut, Cu, nitrit dan nitrat	- Penurunan kadar sianida terlarut sebesar 21,6 % - Penurunan kadar tembaga sebesar 98%

Penerapan lahan basah buatan sebagai salah satu metode dari pengolahan pasif lebih disukai dibandingkan dengan pengolahan aktif, dikarenakan pengelolaannya yang minim dan biayanya yang lebih ekonomis. Penggunaan tanaman di unit lahan basah buatan dapat metolerir konsentrasi nutrisi limbah dan logam berat, dengan cara menyerapnya ke dalam jaringan tubuh tanaman (Stottmeister, et al., 2003). Lahan basah buatan juga menyediakan sumber karbon terhadap ekologi mikroba dari sedimen pendukungnya (Kalin, 2004). Lahan basah buatan dapat diterapkan untuk limbah industri, dan juga dapat dijadikan solusi pengolahan limbah *tailing* tambang emas.

Limbah *tailing* mengandung berbagai unsur logam berat, salah satunya adalah sianida. Penggunaan lahan basah buatan untuk menghilangkan kadar sianida dengan *Typha latifolia* pada limbah *tailing* terbukti efektif, dengan persentase penghilangan yang mencapai 90,36% (García, 2003). Dalam mengelola dan mengakali pH limbah *tailing* yang tidak netral, maka diperlukan pengkondisian alkali pada lahan basah buatan. Hal ini dikarenakan lahan basah buatan dapat beroperasi menurunkan kandungan logam bila limbah berada pada kondisi pH lebih dari 4,5 (Groudev, et al., 2004).

## 2.6 Hipotesis

Akumulasi penyerapan logam sianida (Cn) limbah *tailing* tambang emas oleh tumbuhan *Typha latifolia* pada lahan basah buatan dapat berlangsung hingga 80%.

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang menggunakan metode eksperimental dalam menganalisis penurunan kandungan kadar sianida dalam limbah *tailing* industri pertambangan emas. Metode eksperimental merupakan bagian daripada metode penelitian kuantitatif, yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang terkendalikan (Sugiyono, 2006). Metode eksperimental yang dilaksanakan berkaitan dengan variabel kontrol dan variabel terikat yang dapat menunjukkan hasil penelitian.

### 3.2 Data Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan data primer dan data sekunder. Data yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jenis dan Sumber Data yang Dibutuhkan pada Penelitian

Data Sekunder	Sumber Data
Penelitian-penelitian terdahulu mengenai : 1. Efektivitas tumbuhan dalam mengurangi polutan sianida 2. Komposisi lahan basah buatan	Studi literatur
Lokasi PT. Antam (Persero) Tbk UBPE Pongkor Kualitas limbah <i>tailing</i> PT. Antam (Persero) Tbk UBPE Pongkor	PT. Antam (Persero) Tbk UBPE Pongkor dan Studi Literatur
Data Primer	Sumber Data
Kadar polutan sianida pada air limbah dalam reaktor lahan basah buatan	Penelitian dan pengukuran langsung
Nilai pH dan suhu pada air limbah dalam reaktor lahan basah buatan	Penelitian dan pengukuran langsung

Sumber : Olahan Penulis, 2014

### 3.3 Subjek Penelitian

#### 3.3.1 Sianida

Sianida yang ditinjau pada penelitian ini didasari oleh studi literatur kadar yang terkandung dalam limbah *tailing* PT. ANTAM (Persero) Tbk UBPE Pongkor. Pengujian karakteristik kadar sianida dilakukan sebelum proses pengolahan limbah, yakni sebelum limbah disalurkan ke reaktor lahan basah buatan. Limbah *tailing* tersebut kemudian dimasukkan ke dalam reaktor lahan basah buatan dengan penambahan tanaman, tanah dan npk, sehingga tanaman diasumsikan tidak kekurangan nutrisi. Sedangkan untuk kadar sianida yang ditinjau pada penelitian, menggunakan limbah sintesis dengan kandungan kadar sianida yang divariasikan berdasarkan ambang baku mutu lingkungan sianida dan literatur kandungan sianida limbah *tailing* PT. ANTAM (Persero) Tbk UBPE Pongkor. Limbah sintesis yang digunakan adalah sebanyak 15 L per reaktornya.

#### 3.3.2 Tanah

Tanah merupakan substrat yang digunakan pada lahan basah buatan, sebagai media tanam tanaman. Tanah yang digunakan adalah tanah rawa. Penggunaan tanah rawa adalah untuk kesesuaian tanaman dengan media tanamnya pada keadaan natural. Tanah digunakan pada tahap aklimatisasi dan pada fase pengamatan. Tanah mengalami pergantian sebanyak 1x, yakni pada awal fase pengamatan untuk menghindari penggunaan tanah tercemar usai tahap aklimatisasi.

### 3.4 Variabel Penelitian

Variabel penelitian didefinisikan sebagai segala sesuatu dengan bentuk apapun yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari lebih lanjut sehingga didapat informasi yang kemudian dapat ditarik kesimpulan terhadap hal tersebut. Terdapat dua variabel yang digunakan dalam penelitian ini; variabel terikat dan variabel bebas.

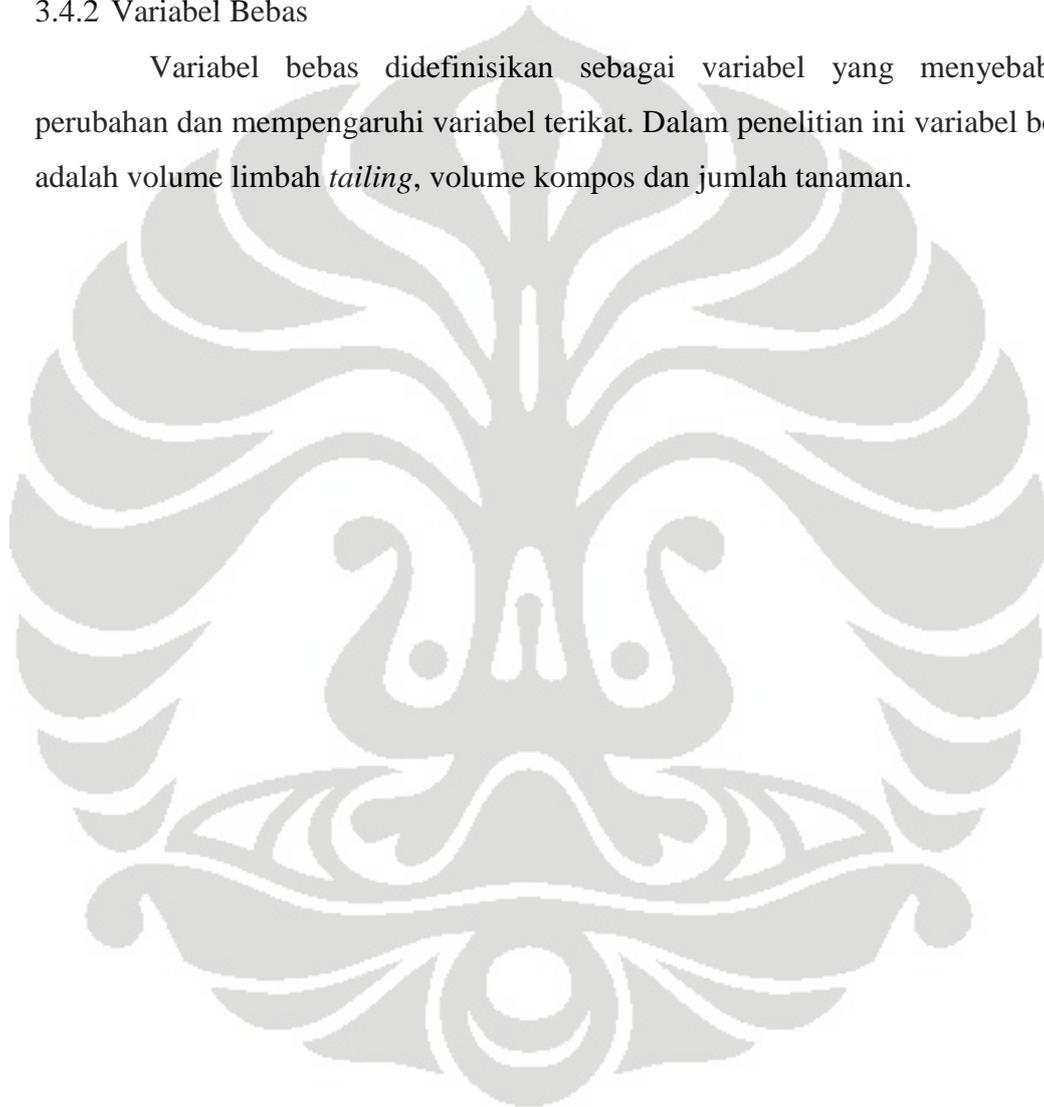
#### 3.4.1 Variabel Terikat

Pada penelitian ini variabel terikat merupakan kadar sianida dalam air limbah *tailing* sintesis. Konsentrasi sianida divariasikan menjadi 0,7 mg/L dan 1

mg/L. Pemilihan konsentrasi 0,7 mg/L didasari oleh kadar sianida yang sedikit diatas ambang batas baku mutu lingkungan. Sedangkan pemilihan konsentrasi 1 mg/L adalah sesuai dengan kadar sianida pada limbah *tailing* PT. Antam (Persero) Tbk UBPE Pongkor pada literatur yang dinyatakan mengandung sianida mencapai 0,99 mg/L.

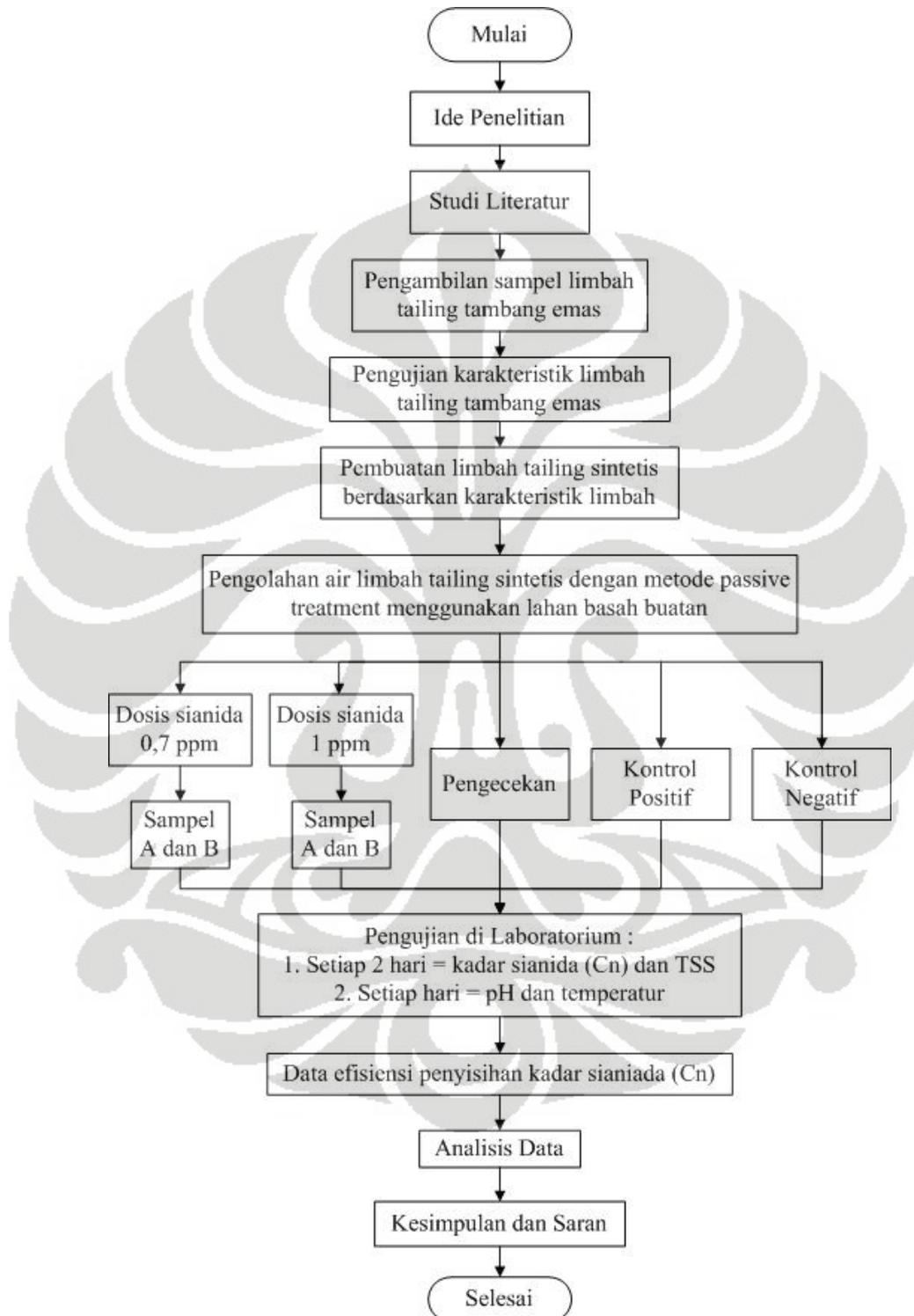
### 3.4.2 Variabel Bebas

Variabel bebas didefinisikan sebagai variabel yang menyebabkan perubahan dan mempengaruhi variabel terikat. Dalam penelitian ini variabel bebas adalah volume limbah *tailing*, volume kompos dan jumlah tanaman.



### 3.5 Kerangka Penelitian

Berikut merupakan kerangka penelitian, pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Sumber : Olahan Penulis, 2014

### 3.6 Persiapan Penelitian

#### 3.6.1 Persiapan Reaktor Lahan Basah

Lahan basah disediakan dengan memperhatikan komposisi lapisan substrat dan vegetasinya. Lahan basah yang digunakan adalah tipe *batch* sejumlah 7 buah. Reaktor lahan basah yang digunakan berbahan dasar plastik dengan ukuran diameter 43 cm dan tinggi 45 cm. Berikut merupakan tabel desain lahan basah buatan pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Desain Lahan Basah Buatan

Spesifikasi	Satuan
Diameter	43 cm
Tinggi	45 cm
Volume limbah	15 L
Tipe lahan basah	<i>Batch</i>
Lapisan dasar : - Tanah - Kerikil	30 cm
Jenis tanaman	<i>Typha latifolia</i>
Jarak antar tanaman	10 cm
Jumlah tanaman	5 tangkai

Sumber : Olahan Penulis, 2014

Seluruh bagian permukaan dasar reaktor lahan basah buatan dilapisi dengan kerikil, yang kemudian ditimbun dengan tanah setebal 30 cm sebagai media tanam vegetasi. Vegetasi yang digunakan adalah *Typha latifolia* yang ditanam dengan jarak tanam  $\pm 10$  cm antar tangkainya dalam satu reaktor lahan basah buatan. Pupuk npk ditambahkan sebanyak satu sendok teh untuk menyokong pertumbuhan tanaman.

Pada penelitian ini, digunakan reaktor lahan basah buatan sebanyak 7 buah. 1 reaktor lahan basah buatan berisikan limbah *tailing* PT. ANTAM (Persero) Tbk UBPE Pongkor dengan penggunaan tanaman, media tanah dan npk, sebagai pengecekan. 1 reaktor lainnya merupakan kontrol positif penelitian yang hanya berisikan limbah sianida 0,7 mg/L dan tanaman, tanpa penggunaan tanah dan npk. Sedangkan untuk 1 reaktor kontrol negatif hanya berisikan limbah *tailing* sintesis dengan kandungan sianida diatas ambang baku mutu, yakni 0,7 mg/L. 4 lahan basah

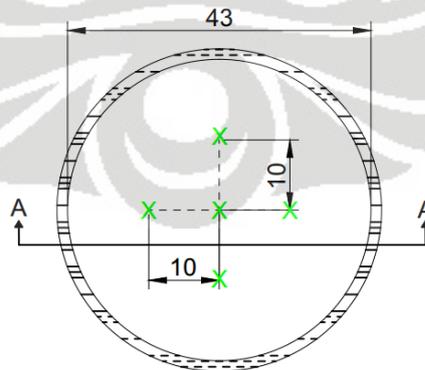
buatan lainnya merupakan objek penelitian yang dikondisikan secara *duplo*. Dimana terdapat dua reaktor lahan basah buatan dengan limbah sintesis yang dikondisikan memiliki kadar sianida 0,7 mg/L dan dua reaktor lainnya dengan kadar sianida 1 mg/L.

Tabel 3.3 Rincian Reaktor Penelitian yang Digunakan

Reaktor Lahan Basah	Jumlah	Jenis Limbah	Dosis Sianida	Komposisi
Sampel Penelitian	2	Sintetis	0,7 mg/L	Limbah, tanaman, npk, tanah, kerikil
	2	Sintetis	1 mg/L	
Kontrol Positif	1	Sintetis	0,7 mg/L	Limbah, tanaman
Kontrol Negatif	1	Sintetis	0,7 mg/L	Limbah
Pengecekan	1	<i>Tailing</i> PT. ANTAM Tbk UBPE Pongkor	Sesuai kandungan pada limbah	Limbah, tanaman, npk, tanah, kerikil

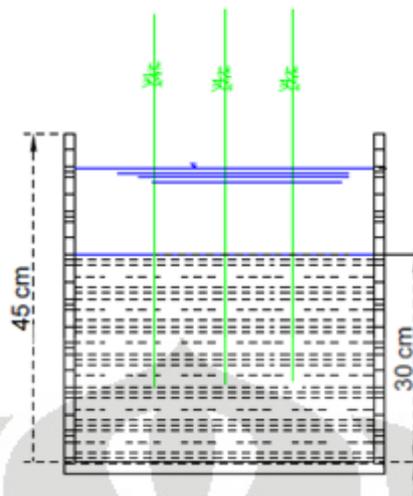
Sumber : Olahan Penulis, 2014

Penggunaan reaktor pada penelitian tidak divariasikan. Pemilihan ukuran reaktor berdasarkan jumlah volume total yang mampu ditampung oleh reaktor yang memenuhi kebutuhan penelitian. Berikut merupakan desain gambar reaktor yang digunakan pada penelitian :



Gambar 3.2 Tampak Atas Reaktor Lahan Basah Buatan

Sumber : Olahan Penulis, 2014



Gambar 3.3 Potongan Melintang A-A Reaktor Lahan Basah Buatan

Sumber : Olahan Penulis, 2014

### 3.6.2 Tahap Aklimatisasi

Tahap aklimatisasi dilakukan diawal untuk mengkondisikan tanaman agar terbiasa dengan limbah yang mengandung sianida. Tahap aklimatisasi dilakukan terlebih dahulu sebelum penelitian berlangsung dengan cara memasukkan air limbah sintesis secara bertahap, untuk menghindari tanaman mengalami *shock loading*. Tahap aklimatisasi dilaksanakan pada reaktor lahan basah buatan, dimana setelah proses selesai maka air akan dikuras dan tanah kembali diganti. Aklimatisasi berakhir pada hari ke-delapan, dengan kata lain merupakan hari ke-nol penelitian menggunakan 100% air limbah *tailing*. Proses aklimatisasi reaktor pengolahan lahan basah buatan dapat dilihat pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Proses Aklimatisasi Reaktor Pengolahan Lahan Basah Buatan

Hari ke	Limbah Sintetis	Air Bersih
0	0%	100%
2	20%	80%
4	50%	50%
6	80%	20%
8	100%	0%

Sumber : Olahan Penulis, 2014

### 3.7 Prosedur Penelitian

#### 3.7.1 Pengambilan Limbah *Tailing* Tambang Emas

Limbah *tailing* diambil langsung dari PT. ANTAM (Persero) Tbk UBPE Pongkor menggunakan jerigen plastik. Pengambilan limbah sebanyak  $\pm 15$  L dengan metode pengambilan contoh sesaat (*grab sampel*), yaitu pengambilan air limbah yang diambil sesaat pada satu lokasi tertentu, sesuai dengan SNI 6989.59:2008. Limbah sampel yang telah diambil kemudian dibawa ke laboratorium sebanyak 500 ml untuk pengujian kandungan sianida, sedangkan pH dan temperatur diukur secara *in situ*.

#### 3.7.2 Pengujian Karakteristik Limbah *Tailing*

Pengujian karakteristik awal kandungan sianida pada limbah dilaksanakan sebelum pelaksanaan penelitian yakni sebelum limbah *tailing* disalurkan ke reaktor pengecekan. Metode pengujian yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.4.

Tabel 3.5 Metode Pengujian Parameter Berdasarkan Standar Pengujian

Parameter	Standar Pengujian	Prinsip Metode Pengujian
Sianida	SNI 6989.77:2011	Metode pengukuran sianida dengan spektrofotometri.
pH	SNI 06-6989.11-2004	Metode pengukuran pH dengan menggunakan pH meter.
Suhu	SNI 06-6989.23-2005	Penggunaan termometer pada pengujian suhu.

Sumber : Olahan Penulis, 2014

#### 3.7.3 Pembuatan Limbah *Tailing* Sintetis

Dikarenakan keterbatasan volume *tailing* yang diperoleh dari PT. ANTAM (Persero) Tbk UBPE Pongkor, maka diperlukan pembuatan limbah *tailing* sintetis dengan variasi dosis sianida sebesar 0,7 mg/L dan 1 mg/L. Proses pembuatan limbah sintetis dilakukan dengan perhitungan dan perlakuan seakurat mungkin untuk menghindari adanya kesalahan dosis awal pada limbah. Kesesuaian dosis sianida dapat diketahui setelah proses pengecekan sianida pada lab.

#### 3.7.4 Pengaliran Limbah ke Lahan Basah Buatan

Limbah *tailing* sintetis akan dialirkan ke 6 reaktor pengolahan. Pengaliran hanya sekali dilakukan dikarenakan lahan basah buatan merupakan tipe *batch*. Pengaliran limbah dilaksanakan saat tahap aklimatisasi dan penelitian berlangsung.

Pada tahap aklimatisasi, limbah dialirkan sebanyak 5x yakni pada H<sub>0</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>4</sub>, H<sub>6</sub> dan H<sub>8</sub>. Pada H<sub>0</sub>, sebanyak 15 L limbah sintetis dialirkan ke reaktor penelitian dan kemudian didiamkan selama 2 hari kedepan. Ketika H<sub>2</sub>, air limbah kemudian dikuras sampai tidak terdapat genangan limbah pada reaktor, kemudian kembali dialirkan air limbah 15 L dan didiamkan hingga H<sub>4</sub> tahap aklimatisasi. Begitu seterusnya proses yang berlangsung hingga hari H<sub>8</sub> tahap aklimatisasi.

Pada fase penelitian, pengaliran air limbah hanya berlangsung sekali pada awal penelitian, yakni pada H<sub>0</sub>. Limbah yang telah dialirkan kemudian didiamkan selama 10 hari penelitian, hingga H<sub>10</sub>.

#### 3.7.5 Pengambilan Limbah untuk Pengujian Kualitas

Pengujian kualitas sianida air limbah yang berada dalam reaktor pengolahan dilakukan sebanyak 2 hari sekali selama 10 hari penelitian. Air limbah diambil sebanyak 500 ml sesuai dengan kebutuhan volume untuk pengujian sianida dan disimpan ke dalam botol plastik tidak transparan. Metode pengambilan air limbah untuk uji kualitas sesuai dengan SNI 6989.59:2008, dengan metode contoh gabungan waktu dan tempat yaitu campuran contoh sampel yang diambil dari titik yang berbeda pada waktu yang sama dengan volume yang sama. Pengambilan air limbah dilakukan sebanyak 10x di 10 titik dengan pipet volumetric 50 ml untuk setiap 1 buah reaktor.

#### 3.7.6 Pengukuran Sianida pada Sampel Lahan Basah Buatan

Pengukuran sianida pada sampel reaktor lahan basah buatan dilakukan pada H<sub>0</sub>, yakni hari ke-1 pengaliran limbah ke reaktor lahan basah buatan untuk mengetahui dosis awal limbah. Selanjutnya, pengukuran kembali dilakukan pada H<sub>2</sub>, H<sub>4</sub>, H<sub>6</sub>, H<sub>8</sub>, hingga H<sub>10</sub>. Pengukuran kandungan sianida pada limbah diukur langsung melalui air limbah, sesuai dengan metode SNI 6989.77:2011 tentang uji

kadar sianida pada air limbah dengan metode spektrofotometri, dengan jumlah sampel unit tiap pengujian sebanyak 500 ml.

### 3.7.7 Pengukuran pH Limbah pada Sampel Lahan Basah Buatan

Pengukuran pH limbah dilaksanakan pada sampel lahan basah buatan setiap harinya selama penelitian berlangsung. Pengukuran pH diukur langsung melalui air limbah, sesuai dengan metode SNI 06-6989.11-2004 tentang cara uji derajat keasaman (pH) dengan menggunakan alat pH meter.

### 3.7.8 Pengukuran Temperatur Limbah pada Sampel Lahan Basah Buatan

Pengukuran temperatur limbah dilaksanakan pada sampel lahan basah buatan setiap harinya selama pengoperasian reaktor lahan basah buatan. Pengukuran temperatur diukur langsung melalui air limbah, sesuai dengan metode SNI 06-6989.23-2005 tentang cara uji suhu dengan termometer.

## 3.8 Pengumpulan Data

Dari percobaan yang dilakukan maka didapatkan data-data terkait penelitian, seperti yang tercantum pada tabel 3.5.

Tabel 3.6 Pengumpulan Data

No.	Tujuan Penelitian	Data	Status Data	Analisa Data
1	Mengetahui kadar sianida, nilai pH dan suhu dalam limbah <i>tailing</i> industri tambang emas	Sianida, pH, temperatur	Primer	Analisa Kuantitatif
2	Mengetahui kadar sianida, nilai pH dan suhu dalam limbah sintetis	Sianida, pH, temperatur	Primer	Analisa Kuantitatif

Sumber : Olahan Penulis, 2014

## 3.9 Pengolahan Data

### 3.9.1 Persentase Penurunan Kadar Sianida

Perhitungan persentase penurunan kandungan sianida pada air limbah *tailing* dan limbah sintetis dengan pengolahan lahan basah buatan, diketahui melalui perhitungan :

$$\% \text{ penyisihan} = \frac{C_o - C_t}{C_o} \times 100\% \quad (3.1)$$

Keterangan :

Co : konsentrasi awal (mg/L)

Ct : konsentrasi akhir (mg/L)

### 3.9.2 Korelasi Parameter pH dan Suhu terhadap Penurunan Kadar Sianida

Untuk mengetahui korelasi parameter pH dan suhu menggunakan *software* statistik IBM SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) ver. 22. dengan metode analisis regresi linear.

### 3.10 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Balai Teknologi Lingkungan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Serpong. Pemilihan lokasi penempatan reaktor diletakkan pada tempat yang cukup terhadap cahaya matahari. Pemeriksaan parameter penelitian dilakukan di Laboratorium Balai Teknologi Lingkungan, BPPT. Berikut merupakan tabel rencana waktu penelitian, pada tabel 3.6.

Tabel 3.7 *Timeline* Jadwal Penelitian

Kegiatan Penelitian	Waktu Penelitian																																			
	Oktober				November				Desember				Januari				Februari				Maret				April				Mei				Juni			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur	■	■	■	■																																
Perizinan Lokasi Penelitian					■	■	■	■																												
Penyusunan Proposal Penelitian	■	■	■	■								■																								
Sidang Seminar												■																								
Pengumpulan Data Sekunder												■	■	■	■	■																				
Persiapan dan Pembuatan Reaktor												■	■	■	■	■																				
Persiapan tanaman												■	■	■	■	■																				
Pengoperasian Lahan Basah Buatan																	■	■	■	■	■	■	■	■												
Pengambilan Data Penelitian																									■	■	■	■								
Pengolahan dan Analisis Data																									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Diskusi dengan Dosen Pembimbing	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Penyusunan Laporan	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Sidang Skripsi																																				■

### 3.11 Lokasi Studi Penelitian

#### 3.11.1 PT. ANTAM (Persero) UBPE Pongkor

Penelitian ini dilakukan di industri pertambangan emas PT. Aneka Tambang (ANTAM) Tbk Unit Bisnis Penambangan Emas (UBPE) Pongkor. Lokasi tambang PT. ANTAM UBPE Pongkor berada di Desa Bantar Karet, Kecamatan Nanggung, Kabupaten Bogor, yang terletak sejauh 54 km arah barat daya kota Bogor, dengan ketinggian lokasi 500 m – 700 m dpl. Luas wilayah Kuasa Penambangan (KP) Eksploitasi berdasarkan KW 98 PP 0138 adalah seluas 6.047 Ha. PT. ANTAM UBPE Pongkor bersebelahan dengan kawasan Taman Nasional Gunung Halimun-Salak (TNGHS). Wilayah eksploitasi terletak pada koordinat  $106^{\circ}30'01,0''$  BT -  $106^{\circ}35'38,0''$  BT dan  $6^{\circ}36'37,2''$  LS -  $6^{\circ}48'11,0''$  LS.

Industri PT. ANTAM UBPE Pongkor merupakan salah industri pertambangan bawah tanah. Penggunaan lahan permukaan dibatasi untuk area perkantoran, area pabrik olahan dan gudang, area penghancuran bijih dan area perkantoran tambang. Kegiatan pertambangan bawah tanah adalah menggunakan sistem *cut and fill*, yakni metode pengambilan bijih emas dan pengisian kembali rongga kosong yang ditambang dengan material *tailing*.

#### 3.11.2 Kondisi *Tailing* PT. ANTAM (Persero) UBPE Pongkor

Aktivitas penambangan PT. ANTAM (Persero) UBPE Pongkor menghasilkan *tailing* berbentuk *slurry*, dengan campuran padatan dan air dengan persen solid sekitar 60%. *Tailing* disalurkan menuju *tailing dam* sehingga mengalami pengendapan secara alamiah. Pengendapan *tailing* adalah pada bagian hilir sehingga pada bagian ini terdapat material yang paling halus. Pada bagian hulu, *tailing* telah berbentuk padatan yang siap dikeruk dan diambil.

#### 3.11.3 Kandungan Sianida *Tailing* PT. ANTAM (Persero) UBPE Pongkor

Berdasarkan literatur, diketahui bahwa limbah *tailing* PT. ANTAM (Persero) UBPE Pongkor cenderung memiliki tekstur pasir. Kandungan sianida pada limbah *tailing* PT. ANTAM (Persero) UBPE Pongkor dapat dilihat pada tabel 3.8.

Tabel 3.8 Kandungan Sianida pada Limbah *Tailing* PT. ANTAM (Persero) UBPE Pongkor

Jenis Limbah	PT. ANTAM
	Cn (mg/L)
Tanah	0,155
Air 1	0,999
Air 2	0,121
Air 3	0,006

Sumber : Potensi *Centrocoma pubescence*, *Calopogonium mucunoide* dan *Micania cordata* dalam Membersihkan Logam Kontaminan pada Limbah Penambangan Emas, 2005

#### 3.11.4 Sistem Produksi dan Pengolahan Limbah PT. ANTAM (Persero) UBPE Pongkor

Proses sianidasi digunakan PT. ANTAM (Persero) UBPE Pongkor sebagai metode pengambilan logam emas dengan cara ekstraksi menggunakan senyawa sianida. Sianida merupakan senyawa yang termasuk B-3 (Bahan Berbahaya dan Beracun), sehingga pada pemakaiannya terdapat pembatasan konsentrasi sampai 1500 mg/L. Produk sampingan yang dihasilkan proses tersebut berupa limbah yang mengandung senyawa sianida. Berikut merupakan diagram alir proses pengolahan bijih emas pada PT. ANTAM (Persero) UBPE Pongkor.



Gambar 4. Sistem Pengelolaan Limbah Cair PT. ANTAM (Persero) UBPE Pongkor

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Tahapan Persiapan Penelitian

##### 4.1.1 Karakteristik Limbah Asli

Pada penelitian ini, limbah asli yang digunakan berasal dari limbah *tailing* PT. ANTAM (Persero) UBPE Pongkor. Bila merujuk pada literatur, maka karakteristik sianida yang terkandung pada limbah adalah sbb :

Tabel 4.1 Kandungan Sianida Limbah *Tailing* PT. ANTAM UBPE Pongkor

Jenis Limbah	PT. ANTAM
	Cn (mg/L)
Tanah	0,155
Air 1	0,999
Air 2	0,121
Air 3	0,006

Sumber : Potensi *Centrocoma pubescence*, *Calopogonium mucunoide* dan *Micania cordata* dalam Membersihkan Logam Kontaminan pada Limbah Penambangan Emas, 2005

Dari literatur diketahui bahwa air limbah *tailing* mengandung sianida dengan rentang antara 0 mg/L hingga 1 mg/L. Media limbah *tailing* dalam literatur juga diketahui diambil pada kolam *tailing dam* PT. ANTAM (Persero) UBPE Pongkor (Hidayati, et al., 2005).

Namun pada kondisi asli, terdapat perbedaan kadar sianida yang terkandung dalam limbah *tailing*. Pada penelitian ini, telah diambil limbah *tailing* pada waktu dan titik yang berbeda sebanyak tiga kali. Pada pengambilan pertama, limbah *tailing* diambil dari kolam limbah *tailing*. Kemudian pada pengambilan kedua, limbah *tailing* diambil dari unit detoksifikasi pada pabrik pengolahan emas. Sedangkan pada pengambilan ketiga, limbah *tailing* diambil dari *tailing treatment unit* pada pabrik pengolahan emas. Berikut merupakan rincian pengambilan dan karakteristik kandungan sianida pada ketiga limbah *tailing*.

Tabel 4.2 Karakteristik Limbah *Tailing* pada *Tailing Dam*

Karakteristik Limbah	Nilai
Kadar Sianida (mg/L)	< 0,016
pH	9
Suhu (°C)	30

Sumber : Olahan Penulis, 2015

Tabel 4.3 Karakteristik Limbah *Tailing* pada Unit Detoksifikasi

Karakteristik Limbah	Nilai
Kadar Sianida (mg/L)	46,99
pH	8,99
Suhu (°C)	29,1

Sumber : Olahan Penulis, 2015

Tabel 4.4 Karakteristik Limbah *Tailing* pada *Tailing Treatment Unit*

Karakteristik Limbah	Nilai
Kadar Sianida (mg/L)	73,41
pH	8,95
Suhu (°C)	29

Sumber : Olahan Penulis, 2015

Adanya perbedaan kadar sianida pada limbah *tailing* dapat terjadi akibat titik dan waktu pengambilan limbah oleh peneliti yang tidak sama persis dengan keadaan pengambilan oleh penulis di literatur. Waktu dan titik pengambilan limbah *tailing* yang berbeda sangat mempengaruhi kandungan sianida, hal ini terlihat dari perbedaan kadar sianida yang signifikan pada ketiga pengambilan oleh peneliti.

#### 4.1.2 Persiapan Limbah Sintetis

Limbah sintetis dibuat sekali ketika penelitian belum dimulai tanpa ada pengisian ulang kembali selama penelitian berlangsung, dengan kadar konsentrasi sianida yang dikondisikan berada dalam kisaran 0,7 mg/L dan 1 mg/L. Kebutuhan konsentrasi sianida dalam limbah diperhitungkan melalui metode massa atom relatif, menggunakan padatan kalium sianida (KCN) teknis yang dicampur dengan air.

Diketahui bahwa KCN memiliki Mr sebesar 65 dan CN memiliki massa atom relatif sebesar 26. Sehingga untuk mendapatkan konsentrasi sianida sebesar 0,7 mg/L maka dilakukan perhitungan sbb :

$$\text{Massa KCN untuk konsentrasi } 0,7 \text{ mg/L} = \frac{0,7 \text{ mg/L} \times 65}{26} = 1,75 \text{ mg/L}$$

Melalui perhitungan diatas, maka diketahui untuk membuat limbah sintetis dengan kadar sianida 0,7 mg/L dibutuhkan 1,75 mg padatan KCN yang dilarutkan ke dalam 1 L air. Kebutuhan limbah sintetis pada reaktor sebanyak 15 L, sehingga total padatan KCN yang dibutuhkan adalah 26,25 mg.

Kemudian untuk mendapatkan konsentrasi sianida sebesar 1 mg/L dapat dilakukan perhitungan sbb :

$$\text{Massa KCN untuk konsentrasi } 1 \text{ mg/L} = \frac{1 \text{ mg/L} \times 65}{26} = 2,5 \text{ mg/L}$$

Diperlukan padatan KCN sebanyak 2,5 mg untuk tiap 1 L agar diperoleh kadar sianida pada air limbah sebesar 1 mg/L. Volume limbah pada reaktor adalah sebesar 15 L, sehingga total padatan KCN yang dibutuhkan 37,5 mg.

Hasil pengukuran kandungan sianida dalam limbah pada setiap konsentrasi 0,7 mg/L adalah sebesar 0,78 mg/L dan 0,99 mg/L, dengan kesalahan relatif sebesar 11,4% dan 41,1%. Sedangkan kandungan sianida untuk setiap konsentrasi 1 mg/L mencapai 1,59 mg/L dan 1,57 mg/L, menandakan kesalahan relatif hingga 59% dan 57%. Kesalahan relatif yang cukup tinggi dapat disebabkan akibat kesalahan pada proses pengadukan serta pengaruh kandungan CN pada KCN teknis yang tidak murni 100%.

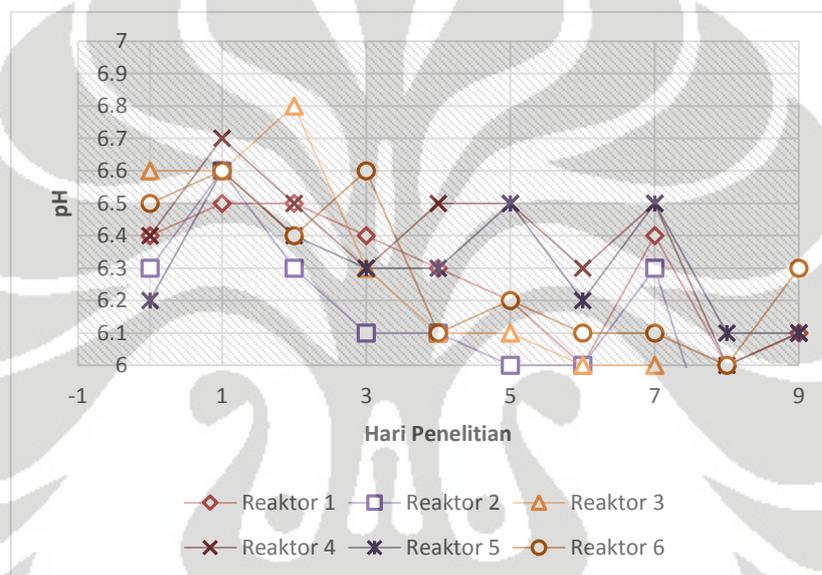
#### 4.1.3 Tahap Aklimatisasi

Tahap aklimatisasi dilakukan secara *batch* dalam waktu dan konsentrasi yang bertahap untuk menghindari tanaman mengalami *shock loading*, juga sebagai fase mikroorganisme untuk dapat hidup secara stabil di dalam reaktor lahan basah buatan. Aklimatisasi berlangsung selama 8 hari menggunakan air limbah buatan dengan kandungan sianida yang bervariasi. Reaktor yang digunakan pada tahap aklimatisasi sebanyak 6 buah, yang masing masingnya ditanami oleh 5 batang tanaman *Typha latifolia*.

Pengisian limbah pada reaktor menggunakan limbah sintetis dengan kombinasi antara sianida dan air bersih yang diganti setiap 2 harinya. Pada tahap aklimatisasi, konsentrasi sianida pada limbah sintetis adalah sebesar 0,7 mg/L, yakni konsentrasi yang sedikit diatas baku mutu untuk mempercepat penyesuaian

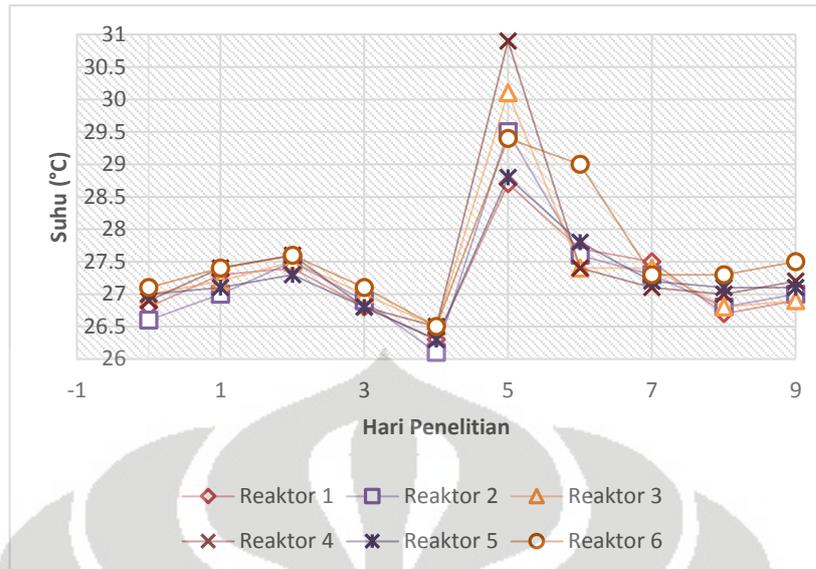
tanaman terhadap limbah dengan konsentrasi tinggi. Kombinasi kadar sianida dan air pada limbah dalam tahap aklimatisasi divariasikan sesuai dengan tabel 3.4. Pada tahap aklimatisasi digunakan media tanam tumbuhan berupa tanah serta pupuk npk untuk menunjang nutrisi pertumbuhan tanaman.

Pada tahap aklimatisasi parameter pH dan suhu diuji untuk mengetahui kemampuan penyesuaian tanaman dengan kondisi limbah. Grafik 4.1 dan 4.2 masing-masingnya menunjukkan kondisi pH dan suhu selama tahap aklimatisasi berlangsung.



Grafik 4.1 Perubahan Nilai pH pada Tiap Reaktor Tahap Aklimatisasi

Sumber : Olahan Penulis, 2015



Grafik 4.2 Perubahan Nilai Suhu pada Tiap Reaktor Tahap Aklimatisasi

Sumber : Olahan Penulis, 2015

Pada tahap aklimatisasi, pH dan suhu masing-masing berada pada rentang 6 dan 27°C. Dimana nilai derajat keasaman pada pH 6 mempengaruhi enzim pertumbuhan organisme yang membantu pertumbuhan mikroorganisme. Begitu pula pada suhu 27°C, memungkinkan perkembangbiakan bakteri mesofil yang dapat membantu proses penjernihan air limbah. Nilai pH turut berpengaruh dalam proses fotosintesis tanaman dimana pada rentang pH 6 hingga 7, fotosintesis tanaman dapat berjalan dengan baik. Sehingga secara keseluruhan, tanaman dapat bertahan hidup dan menyesuaikan diri selama tahapan aklimatisasi, untuk persiapan pengolahan selanjutnya pada fase pengamatan penelitian.

#### 4.1.4 Fase Pengamatan

Fase pengamatan dimulai setelah proses aklimatisasi, menggunakan limbah sintetis dengan kandungan sianida sebesar 100% tanpa pengenceran dan limbah *tailing* asli dari PT. ANTAM (Persero) UBPE Pongkor. Proses pembuatan dan pengisian limbah sintetis dan limbah *tailing* asli ke dalam reaktor lahan basah hanya dilakukan satu kali pada awal fase pengamatan, sesuai dengan tipe *batch*. Limbah sintetis digunakan pada 6 reaktor lahan basah yakni pada reaktor 1 dan reaktor 2 dengan konsentrasi 0,7 mg/L; reaktor 3 dan reaktor 4 dengan konsentrasi 1 mg/L; dan reaktor kontrol positif dan reaktor kontrol negatif dengan konsentrasi

0,5 mg/L yang sesuai dengan ambang baku mutu lingkungan. Sedangkan pada reaktor lahan basah buatan pengecekan menggunakan limbah *tailing* dengan kandungan sianida 73,41 mg/L, yang berasal dari *tailings treatment unit* pada PT. ANTAM (Persero) UBPE Pongkor.

Pada fase pengamatan dilakukan pergantian media tanam tumbuhan untuk menghindari penggunaan tanah tercemar sianida akibat tahap aklimatisasi yang dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman selama proses ini berlangsung. Pupuk npk turut ditambahkan ke dalam reaktor 1, reaktor 2, reaktor 3, reaktor 4, reaktor kontrol positif dan reaktor pengecekan agar nutrisi tanaman cukup dan pertumbuhan berjalan dengan baik.



Gambar 4.1 Pengisian Limbah ke dalam Reaktor Lahan Basah Buatan pada Awal Fase Pengamatan Penelitian

Sumber : Dokumentasi Pribadi

Ketika fase pengamatan berlangsung, dilakukan uji kualitas kadar sianida dan uji parameter kontrol pH serta suhu. Pengujian kadar sianida dilakukan di lab IPB terpadu, sedangkan uji pH dan suhu menggunakan pH meter dan termometer dan diukur secara *in situ*.

#### 4.2 Penurunan Kadar Sianida pada Lahan Basah Buatan

Pengolahan sianida pada lahan basah buatan bergantung terhadap keberadaan mikroorganisme, kandungan organik pada media tanam, kemampuan penyerapan pencemar oleh tanaman dan proses penguapan pencemar. Penyesuaian pertumbuhan mikroorganisme dan kemampuan bertahan hidup tanaman telah

dipersiapkan selama proses aklimatisasi. Untuk mengukur efektivitas lahan basah buatan, maka dilakukan uji penurunan kadar sianida sebagai parameter utama, dengan pH dan suhu sebagai parameter pendukung. Pengambilan sampel pada reaktor dilakukan dengan memipet 50 ml limbah ke pipet volumetric di 10 titik berbeda dalam 1 reaktor, hingga keseluruhan sampel menjadi 500 ml untuk 1 reaktornya.



Gambar 4.2 Reaktor Lahan Basah Buatan pada Penelitian

Sumber : Dokumentasi Pribadi

#### 4.2.1 Analisis Penurunan Kadar Sianida

Penurunan kadar sianida merupakan fokus utama pada penelitian ini. Kadar sianida diharapkan dapat turun hingga memenuhi ambang batas baku mutu lingkungan, dengan persentase pengolahan yang mencapai 80%.

Kadar sianida pada limbah sintetis disesuaikan dengan literatur, yakni 0,7 mg/L dan 1 mg/L. Reaktor 1 dan reaktor 2 dipersiapkan mengolah limbah dengan kadar sianida 0,7 mg/L, sedangkan konsentrasi sianida 1 mg/L diperuntukkan kepada reaktor 3 dan reaktor 4. Namun pada pembuatannya, banyak terjadi ketidaksesuaian kadar kandungan sianida yang diakibatkan kesalahan pada proses penimbangan dan pencampurannya dengan air. Sehingga, kadar sianida pada limbah sintetis influen berada dalam rentang 0,78 mg/L – 1,59 mg/L.

Pada air limbah efluen, ditemukan sianida dengan kadar yang bervariasi sebagai hasil pengolahan reaktor lahan basah buatan. Bisa dikatakan bahwa, keseluruhan efluen reaktor percobaan telah memiliki kadar sianida yang berada

dibawah rentang ambang batas baku mutu lingkungan pada hari penelitian ke-2 hingga hari ke-10. Penurunan kadar sianida pada air limbah dapat terjadi akibat beberapa proses.

Tabel 4.5 Persentase Penurunan Kadar Sianida pada Reaktor 1, 2, 3 dan 4

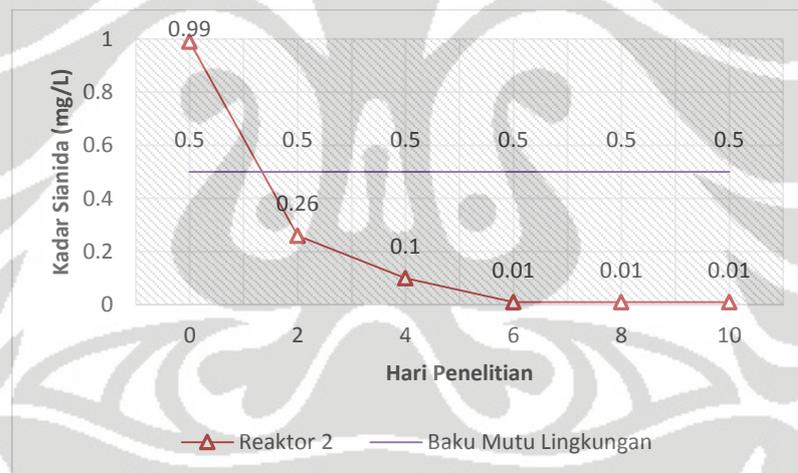
Reaktor Lahan Basah	Hari Penelitian	Kadar Sianida (Cn) (mg/L)	$\Delta$	Persentase Penurunan per hari (%)	Rata-rata Penurunan
Reaktor 1	0	0,78	0	0,00	73,61%
	2	0,25	0,53	67,95	
	4	0,09	0,16	64,00	
	6	0,01	0,08	88,89	
	8	0,01	0	0,00	
	10	0,01	0	0,00	
Reaktor 2	0	0,99	0	0,00	75,09%
	2	0,26	0,73	73,74	
	4	0,1	0,16	61,54	
	6	0,01	0,09	90,00	
	8	0,01	0	0,00	
	10	0,01	0	0,00	
Reaktor 3	0	1,59	0	0,00	81,17%
	2	0,3	1,29	81,13	
	4	0,07	0,23	76,67	
	6	0,01	0,06	85,71	
	8	0,01	0	0,00	
	10	0,01	0	0,00	
Reaktor 4	0	1,57	0	0,00	75,53%
	2	0,5	1,07	68,15	
	4	0,18	0,32	64,00	
	6	0,01	0,17	94,44	
	8	0,01	0	0,00	
	10	0,01	0	0,00	

Sumber : Olahan Penulis, 2015



Grafik 4.3 Perbandingan Kadar Sianida pada Reaktor Pengolahan 1 dan Baku Mutu Lingkungan Sianida

Sumber : Olahan Penulis, 2015



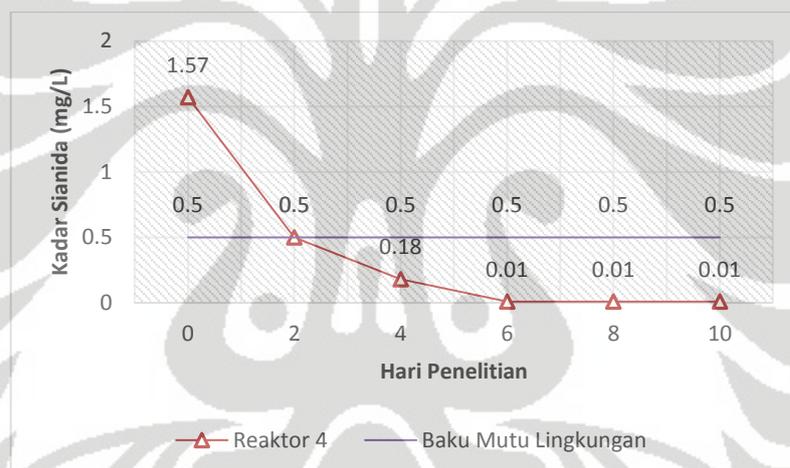
Grafik 4.4 Perbandingan Kadar Sianida pada Reaktor Pengolahan 2 dan Baku Mutu Lingkungan Sianida

Sumber : Olahan Penulis, 2015



Grafik 4.5 Perbandingan Kadar Sianida pada Reaktor Pengolahan 3 dan Baku Mutu Lingkungan Sianida

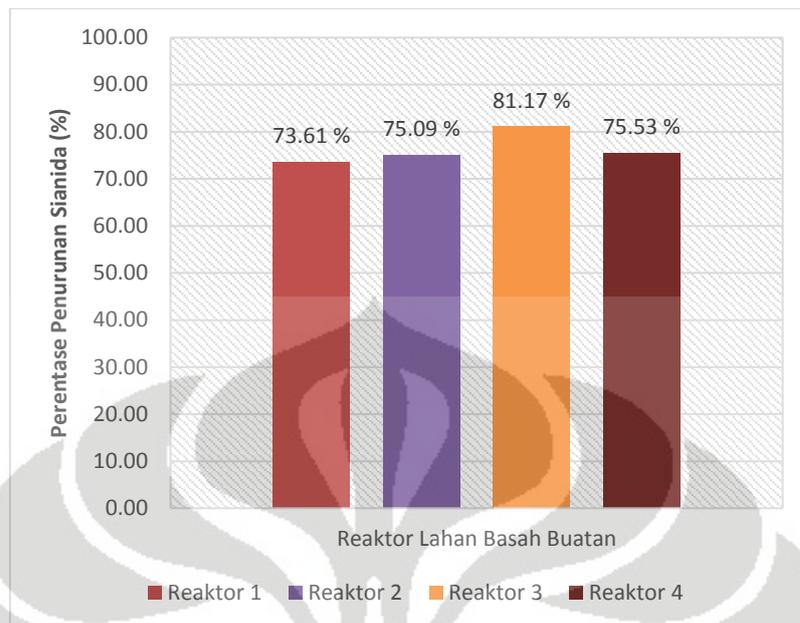
Sumber : Olahan Penulis, 2015



Grafik 4.6 Perbandingan Kadar Sianida pada Reaktor Pengolahan 4 dan Baku Mutu Lingkungan Sianida

Sumber : Olahan Penulis, 2015

Penurunan kadar sianida untuk tiap reaktor lahan basah memiliki nilai efektivitas yang bervariasi. Secara berturut-turut, rata-rata persentase penurunan kadar sianida oleh tiap reaktor lahan basah buatan dimulai dari reaktor 1, reaktor 2, reaktor 3, dan reaktor 4 adalah 73,61%, 75,09%, 81,17% dan 75,53%. Kemudian bila dilihat persentase penurunan kadar sianida per harinya, maka persentase tertinggi mencapai 94,44% pada reaktor lahan basah 4 di hari ke-6 seperti yang terlihat pada tabel 4.5.



Grafik 4.7 Persentase Penurunan Rata-rata Kadar Sianida pada Reaktor

Sumber : Olahan Penulis, 2015

Tabel 4.6 Persentase Penurunan Lahan Basah Buatan Berdasarkan Dosis

Dosis	Reaktor Lahan Basah	Penurunan Kadar Sianida (%)	Rata-rata (%)
0,78 – 0,99 mg/L	Reaktor 1	73,61	74,35
	Reaktor 2	75,09	
1,59 – 1,57 mg/L	Reaktor 3	81,17	78,35
	Reaktor 4	75,53	

Sumber : Olahan Penulis, 2015

Bila disesuaikan dengan dosis yang digunakan, maka untuk dosis limbah dengan kadar sianida 0,78-1 mg/L dan 1-1,6 mg/L masing-masing memiliki persentase penurunan sianida sebesar 74,35% dan 78,35%. Proses penurunan kadar sianida pada reaktor lahan basah dapat terjadi akibat beberapa faktor, seperti adanya faktor penguapan, adsorpsi oleh tanah, kinerja mikroorganisme dan penyerapan sianida yang dilakukan oleh tanaman *Typha latifolia*.

#### 4.2.1.1 Analisis Penurunan Kadar Sianida Pada Lahan Basah Buatan

Mekanisme utama pengendalian degradasi sianida pada air limbah berasal dari penguapan. Hal ini dikarenakan, sianida memiliki kemampuan untuk menguap bila bersinggungan dengan udara. Proses penguapan sianida dapat terjadi melalui serangkaian proses, yang diawali oleh perubahan bentuk senyawa KCN bila larut dalam air :



HCN merupakan senyawa yang mudah menguap bila bersentuhan langsung dengan udara, dengan tekanan uap relatif tinggi dan titik didih rendah (25,6 °C). Keadaan pH yang asam juga mendukung pembentukan sianida bebas sebagai HCN, sehingga menurunkan kadar sianida yang terkandung dalam air limbah. Pada pH 5 – 8,5, hampir seluruh sianida bebas (99,5%) berada pada wujud hidrogen sianida HCN (García, 2003).

Penurunan kadar sianida pada air limbah juga dapat terjadi akibat pengaruh degradasi oleh tanah. Logam berat yang terkandung dalam tanah dapat mengikat sianida menjadi senyawa sianida kompleks, seperti  $\text{Cd(CN)}_3^-$ ,  $\text{Cu(CN)}_3^-$ ,  $\text{Fe(CN)}_6^{3-}$ ,  $\text{Ni(CN)}_4^-$  dan bentuk senyawa lainnya.

Penggunaan pupuk npk dari tahap aklimatisasi hingga fase pengamatan juga merangsang perkembangan mikroorganisme pada tanah, sebagai faktor penurunan kadar sianida. Jenis mikroorganisme yg berkembangbiak adalah bakteri mesofilik, mengingat suhu bertahan hidupnya, 20°C - 45°C, paling sesuai dengan suhu pada air limbah, yakni 27°C - 28°C. Bakteri aerob mesofilik dengan pH optimum netral (6-8) dan suhu optimum 25°C -35°C, dapat mengoksidasi senyawa sianida dalam bentuk thiosianat,  $\text{SCN}^-$  (Holt, et al., 1994).

Faktor lain yang mempengaruhi penurunan sianida adalah penyerapan oleh tanaman *Typha latifolia*. Kebutuhan tanaman terhadap air untuk bertahan hidup dan melakukan fotosintesis memaksa tanaman untuk tetap menyerap air limbah yang mengandung sianida, untuk keberlangsungan hidupnya. Sehingga, kadar sianida pada air limbah mengalami pengurangan sedangkan pada tanaman diasumsikan terjadi penambahan akumulasi sianida.

#### 4.2.2 Analisis Penurunan Kadar Sianida pada Reaktor Kontrol Positif dan Kontrol Negatif

Pada penelitian ini terdapat 3 perlakuan reaktor lahan basah buatan yang berbeda, dimana tanaman *Typha latifolia* pada reaktor 1 hingga reaktor 4 ditanam pada tanah yang ditambahkan pupuk npk. Pada reaktor kontrol positif, tanaman tidak ditanam dalam tanah dan tidak ditambahkan pupuk npk, sehingga persentase penyerapan sianida yang dilakukan oleh tanaman dapat diketahui. Sedangkan reaktor kontrol negatif hanya berisikan limbah sintetis, untuk mengetahui pengaruh faktor luar terhadap penurunan kadar sianida. Pada tabel 4.7, dapat dilihat persentase penurunan kadar sianida yang terjadi pada reaktor kontrol positif dan kontrol negatif.

Tabel 4.7 Persentase Penurunan Kadar Sianida pada Reaktor Kontrol Positif dan Kontrol Negatif

Reaktor Lahan Basah	Hari Penelitian	Kadar Sianida (Cn) (mg/L)	$\Delta$	Persentase Penurunan (%)	Rata-rata Penurunan
Kontrol Positif	0	1	0	0,00	73,33%
	2	0,1	0,9	90,00	
	4	0,02	0,08	80,00	
	6	0,01	0,01	50,00	
	8	0,01	0	0,00	
	10	0,01	0	0,00	
Kontrol Negatif	0	1,13	0	0,00	67,26%
	2	0,3	0,83	73,45	
	4	0,2	0,1	33,33	
	6	0,01	0,01	50,00	
	8	0,01	0	0,00	
	10	0,01	0	0,00	

Sumber : Olahan Penulis, 2015

Persentase penurunan kadar sianida pada reaktor lahan basah 1, 2, 3 dan 4 dapat dilihat pada tabel 4.5 yang secara berturut-turut memiliki persentase penurunan sianida sebesar 73,61%, 75,09%, 81,17% dan 75,53%. Bila dibandingkan dengan nilai persentase penurunan reaktor kontrol positif yang bernilai 73,33%, maka dapat dilihat penurunan kadar sianida lebih efektif terjadi

pada tanaman yang ditanam di tanah dengan penambahan pupuk npk seperti yang tertera pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Efektivitas Penurunan Kadar Sianida pada Reaktor Pengolahan

Reaktor Lahan Basah	Persentase Penurunan Kadar Sianida (%)	$\Delta$ (%)
Reaktor 1	73,61	0,28
Kontrol Positif	73,33	
Reaktor 2	75,09	1,76
Kontrol Positif	73,33	
Reaktor 3	81,17	7,84
Kontrol Positif	73,33	
Reaktor 4	75,53	2,20
Kontrol Positif	73,33	

Sumber : Olahan Penulis, 2015

Berdasarkan tabel 4.8, maka dapat diketahui selisih persentase penurunan kadar sianida pada reaktor pengolahan 1, 2, 3, dan 4 adalah 0,28%, 1,76%, 7,48% dan 2,2%. Hal ini menandakan penggunaan tanaman dengan media tanam tanah dan penambahan pupuk npk sedikit lebih efektif dibandingkan hanya dengan penggunaan tanaman saja, seperti pada reaktor kontrol positif.

Kemudian, pada tabel 4.9 dapat diketahui persentase penurunan kadar sianida pada reaktor kontrol negatif dengan nilai yang sedikit lebih rendah sebesar 67,26%. Persentase penurunan kadar sianida pada reaktor kontrol negatif menandakan adanya pengaruh faktor selain tanaman dalam menurunkan kadar sianida. Dengan membandingkan persentase penurunan sianida pada kontrol positif dan kontrol negatif, maka dapat diketahui efektivitas penyerapan sianida oleh tanaman adalah sebesar 6,07%.

Tabel 4.9 Efektivitas Penurunan Kadar Sianida pada Reaktor Kontrol Positif dan Kontrol Negatif

Reaktor Lahan Basah	Persentase Penurunan Kadar Sianida (%)	$\Delta$ (%)
Kontrol Positif	73,33	6,07
Kontrol Negatif	67,26	

Sumber : Olahan Penulis, 2015

#### 4.2.3 Analisis Penurunan Kadar Sianida pada Reaktor Pengecekan

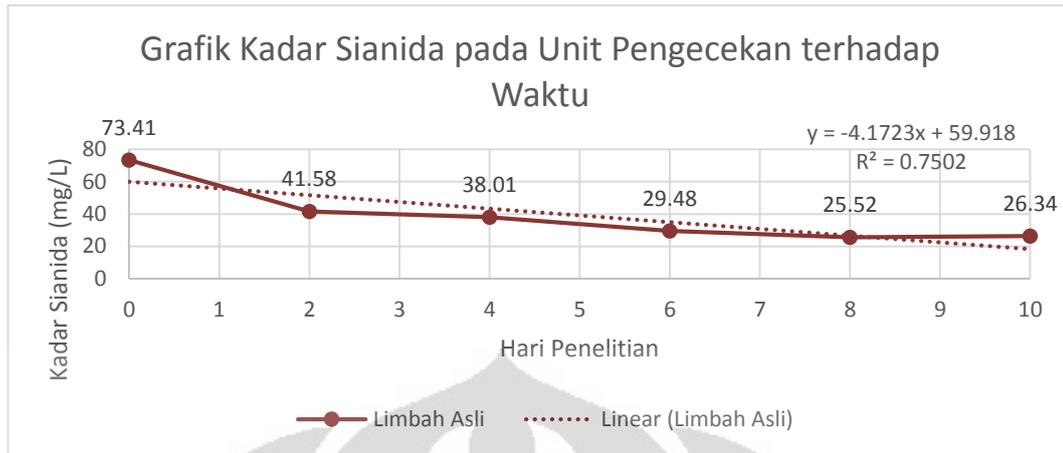
Selama 10 hari masa percobaan, kadar kandungan sianida pada reaktor pengecekan tidak berhasil turun hingga memenuhi ambang batas baku mutu lingkungan. Reaktor pengolahan lahan basah dengan limbah asli memiliki laju penurunan kadar sianida yang lebih rendah, seperti yang terlihat pada grafik 4.8, tidak seperti laju penurunan pada reaktor lahan basah lainnya.

Laju penurunan kadar sianida yang rendah pada limbah asli dapat terjadi dikarenakan beberapa faktor. Kandungan pencemar yang beragam pada limbah *tailing* dan kemampuan penyerapan tanaman *Typha latifolia* terhadap banyak pencemar, mempengaruhi proses penyerapan sianida oleh tanaman. Sehingga, dapat diasumsikan bahwa penyerapan sianida yang berjalan lambat oleh tanaman dikarenakan kemampuan tanaman yang turut menyerap pencemar selain sianida. Selain itu, wujud limbah *tailing* berupa lumpur yang kental dengan konsentrasi pekat juga dapat menyulitkan proses penyerapan oleh tanaman. Sebaiknya, penggunaan reaktor lahan basah buatan dilakukan setelah pengolahan oleh reaktor sedimentasi terlebih dahulu untuk mengendapkan padatan dalam *tailing*.

Tabel 4.10 Persentase Penurunan Kadar Sianida pada Reaktor Pengecekan

Reaktor Lahan Basah	Hari Penelitian	Kadar Sianida (Cn) (mg/L)	$\Delta$	Persentase Penurunan (%)	Rata-rata Penurunan
Pengecekan	0	73,41	0	0,00	16,92%
	2	41,58	31,83	43,36	
	4	38,01	3,57	8,59	
	6	29,48	8,53	22,44	
	8	25,52	3,96	13,43	
	10	26,34	-0,82	-3,21	

Sumber : Olahan Penulis, 2015



**Grafik 4.8 Kadar Sianida pada Reaktor Pengecekan**

Sumber : Olahan Penulis, 2015

Berdasarkan hasil analisis regresi menggunakan *software* Excel seperti yang terlihat pada grafik 4.8, didapatkan persamaan kecepatan reduksi sianida dalam reaktor lahan basah buatan, yakni :

$$y = -4,1723x + 59,918 ; (R^2) = 0,7502 \dots\dots (4.1)$$

Nilai  $R^2$  sebesar 0,7502 menunjukkan besaran kontribusi efektivitas penurunan konsentrasi sianida pada reaktor lahan basah, yaitu sebanyak 75,02%. Sedangkan melalui persamaan 4.1 dapat dihitung laju waktu untuk menurunkan kadar sianida menggunakan reaktor lahan basah buatan, dengan perhitungan sbb :

dimana,

$x$  = laju waktu (hari)

$y$  = nilai ln dari ambang baku mutu pencemar (mg/L)

sehingga,

$$y = -4,1723x + 59,918$$

$$\ln (0,5) = -4,1723x + 59,918$$

$$-0,6931 - 59,918 = -4,1723x$$

$$x = 14,5 \text{ hari} \approx 15 \text{ hari}$$

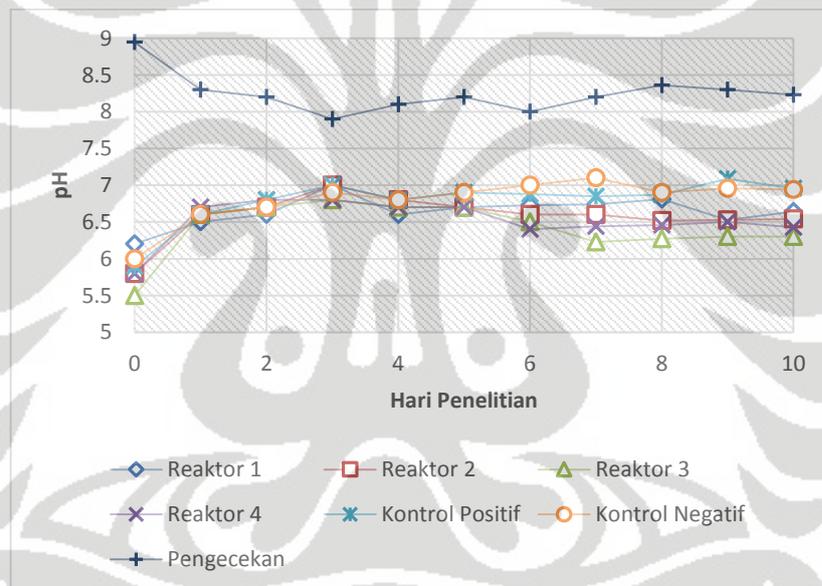
Melalui hasil perhitungan, maka dapat diketahui bahwa kadar sianida pada limbah *tailing* PT. ANTAM (Persero) UBPE Pongkor akan turun hingga memenuhi

batas ambang baku mutu sebesar 0,5 mg/L pada hari ke 14,5, ataupun hari ke 15 dengan penggunaan reaktor pada penelitian.

### 4.3 Faktor Pengaruh Lain Penurunan Kadar Sianida

#### 4.3.1 Faktor Derajat Keasaman (pH)

Pengecekan pH dilakukan setiap hari untuk mengetahui nilai pH pada reaktor pengolahan dengan menggunakan alat pH meter. Dari hasil pengamatan, nilai pH pada limbah sintesis berkisar antara 5,5 – 6,2 yang mengindikasikan kondisi asam, sedangkan pH pada limbah asli adalah 8,95 yang menandakan kondisi basa. Bila dilihat secara keseluruhan, maka nilai pH pada reaktor pengolahan mengalami perubahan menuju kondisi netral.



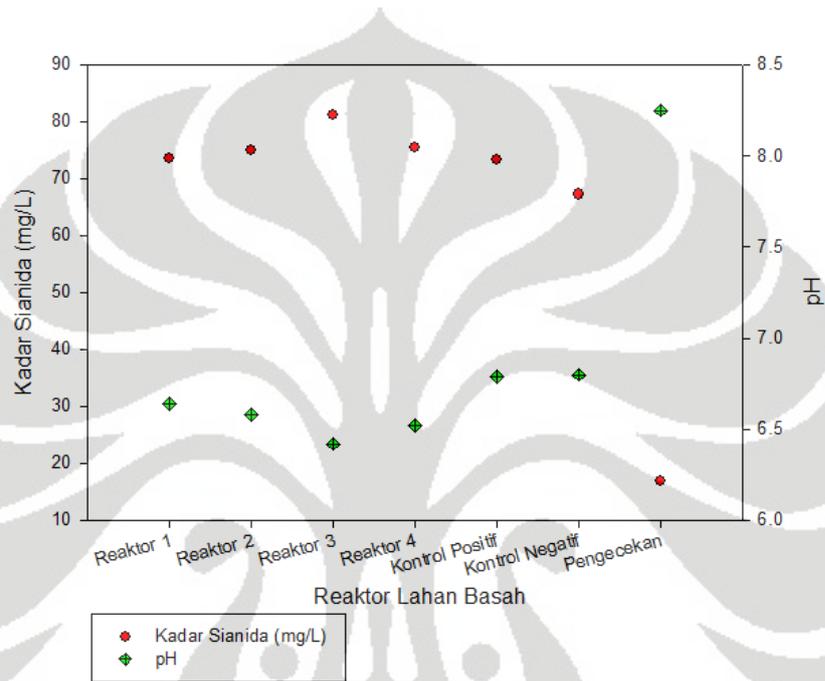
Grafik 4.9 Perubahan Nilai pH pada Tiap Reaktor Fase Pengamatan

Sumber : Olahan Penulis, 2015

Data pada penelitian menunjukkan terjadi perubahan nilai pH pada limbah sintesis, yakni berada dalam rentang 6,42 – 6,8 dan nilai pH sebesar 8,25 pada limbah asli. Perubahan nilai pH menuju kondisi netral terjadi akibat peran tanaman *Typha latifolia* sebagai buffer pH, yang mampu menyesuaikan diri pada kondisi asam ataupun basa serta mampu menetralkan kondisi pH. Kondisi pH pada reaktor pengolahan berada pada rentang 6,5 hingga 7,5, yang merupakan kondisi pH

optimum (Suriani, et al., 2013). Pada kondisi pH optimum, mikroorganisme dan tanaman dapat tumbuh dengan baik, sehingga proses netralisasi pH berjalan efektif.

Dari hasil penelitian juga dapat diketahui bahwa pH dan penurunan kadar sianida memiliki hubungan yang berbanding terbalik. Hal ini terlihat dari kadar penurunan sianida yang tinggi pada kondisi nilai pH yang rendah, yang terjadi pada reaktor 3.

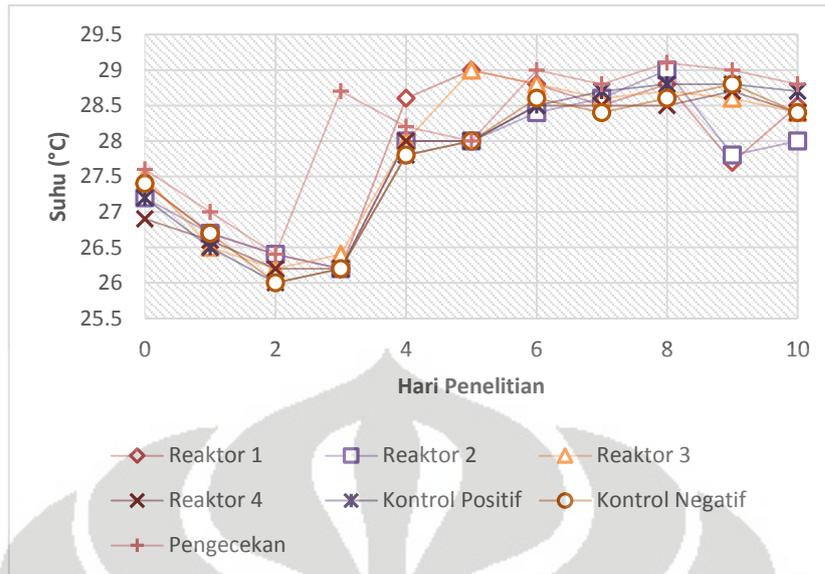


Grafik 4.10 Hubungan Penurunan Sianida dan pH pada Tiap Reaktor

Sumber : Olahan Penulis, 2015

#### 4.3.2 Faktor Suhu

Pengukuran suhu pada reaktor lahan basah buatan dilakukan di setiap hari. Setiap reaktor lahan basah buatan memiliki nilai suhu yang berbeda, namun secara garis besar berada pada rentang  $27^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}$  dengan suhu terbesar  $28,24^{\circ}\text{C}$  dan suhu terkecil  $27,66^{\circ}\text{C}$ . Perbedaan nilai suhu terjadi akibat perbedaan waktu pengukuran dan kondisi cuaca. Dimana nilai yang rendah disebabkan oleh cuaca hujan ataupun sejuk, sedangkan nilai yang tinggi disebabkan oleh cuaca cerah dengan intensitas cahaya matahari yang tinggi. Namun secara keseluruhan, reaktor lahan basah buatan memiliki nilai suhu yang tinggi dikarenakan lokasi penempatan di dalam rumah kaca yang terkena langsung cahaya matahari.

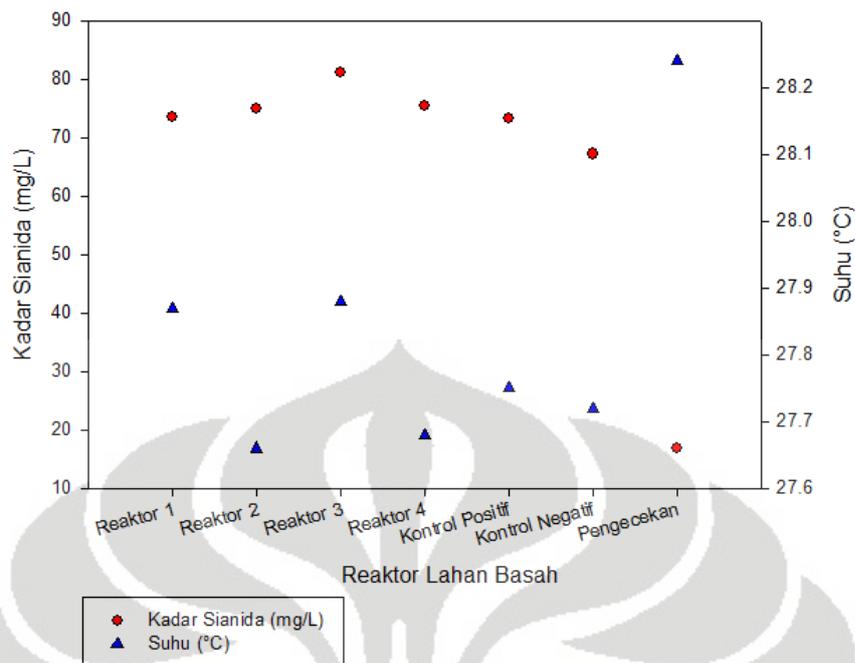


Grafik 4.11 Perubahan Nilai Suhu pada Tiap Reaktor Fase Pengamatan

Sumber : Olahan Penulis, 2015

Suhu merupakan faktor pertumbuhan mikroorganisme dan tanaman, yang turut mempengaruhi proses penguapan sianida. Bisa dikatakan bahwa, semakin tinggi nilai suhu maka penurunan kadar sianida juga akan semakin besar. Pada grafik 4.12, persentase penurunan kadar sianida terbesar terjadi pada reaktor 3 dengan nilai suhu sebesar 27,88°C. Akan tetapi pada penelitian ini, nilai suhu yang tertinggi ada pada reaktor pengecekan sebesar 28,24°C dengan persentase penurunan kadar sianida yang terendah, 14,10%. Ketidaksesuaian hasil penelitian dengan teori yang berlaku terjadi akibat perbedaan wujud limbah sintetis dan limbah asli. Dimana limbah asli berwujud lumpur dengan komposisi padatan dan air, sedangkan limbah sintetis hanya berwujud air sehingga mudah mengalami penguapan. Rendahnya tingkat penguapan sianida pada reaktor pengecekan dapat dikarenakan masih tingginya kandungan sianida pada padatan lumpur yang tidak mengalami proses penguapan.

Rentang suhu pada penelitian berkisar antara 27°C – 28°C yang memungkinkan terjadinya proses pertumbuhan bakteri jenis mesofil. Pertumbuhan bakteri mesofil membantu proses pengolahan air limbah, sehingga menurunkan kadar sianida yang terkandung.



Grafik 4.12 Hubungan Kadar Penurunan Sianida dan Suhu

Sumber : Olahan Penulis, 2015

#### 4.4 Korelasi antar pH dan Suhu terhadap Penurunan Kadar Sianida (Cn)

Melalui analisis regresi linear, korelasi antar parameter kontrol pH dan suhu dengan kadar penurunan sianida pada reaktor 1, reaktor 2, reaktor 3 dan reaktor 4 dapat diketahui. Analisis regresi linear ditinjau dengan menggunakan *software* statistik IBM SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) ver. 22.

Dalam *software* SPSS, terlebih dahulu ditentukan variabel terikat pada penelitian, yakni kadar sianida (mg/L), dan variabel bebas, yakni pH dan suhu. Dari hasil analisis uji analisis regresi linear, diketahui bahwa nilai  $R^2$  adalah sebesar 0,839. Hal ini menandakan bahwa pH dan suhu secara signifikan mempengaruhi konsentrasi sianida dengan kontribusi sebesar 83,9%, sedangkan sisa 16,1% merupakan pengaruh variabel lainnya yang tidak diperiksa. Selain itu, juga dapat ditentukan koefisien persamaan regresi linear, yakni :

$$y = -1,047x_1 - 0,173x_2$$

Dengan nilai y yang merupakan kadar sianida, dan nilai  $x_1$  serta  $x_2$  yang merupakan pH dan suhu. Sehingga, persamaan 4.1 dapat menjadi :

$$\text{Kadar sianida (mg/L)} = -1,047(\text{pH}) - 0,173(\text{suhu})$$

Hasil uji regresi menemukan bahwa kedua parameter pH dan suhu berpengaruh terhadap kadar sianida, dengan nilai Sig. yang lebih kecil dari 0,01. Dimana, parameter pH ( $\beta = 0,779$ ;  $p < 0,01$ ) berpengaruh lebih signifikan terhadap penurunan kadar sianida bila dibandingkan parameter suhu ( $\beta = 0,336$ ;  $p < 0,01$ ). Hubungan kedua parameter pH dan suhu bernilai negatif terhadap kadar sianida. Hubungan negatif ini menyatakan bahwa semakin tinggi nilai pH dan suhu, maka akan semakin rendah kadar sianida pada reaktor lahan basah.

#### 4.5 Aplikasi Lahan Basah Buatan pada Lokasi Pertambangan Emas

##### 4.5.1 Lahan Basah Buatan *Free Water Surface* (FWS)

Lahan basah buatan FWS sesuai digunakan untuk pengolahan limbah pada industri pertambangan. Lahan basah buatan FWS mampu menampung volume air yang besar dengan biaya operasional dan perawatan yang minim. Lahan basah buatan FWS memiliki area permukaan air yang terbuka, seperti rawa yang ditumbuhi dengan tanaman air.

Lahan basah FWS dirancang berbentuk kompartemen, dengan rasio panjang dan lebar yang berada antara 1-5 ( $1 < P/L < 5$ ) (Wallace & Kadlec, 2009). FWS yang berbentuk panjang dengan aliran sempit lebih rentan mengalami sumbat dibandingkan FWS dengan bentuk yang pendek dengan aliran yang luas, sehingga rasio panjang dan lebar yang digunakan adalah sebesar 2. Dimensi dari FWS sering kali mengacu terhadap volume limbah ataupun luas areanya.

Bila disesuaikan dengan keadaan lapangan PT. ANTAM Tbk UBPE Pongkor, maka diketahui bahwa debit aliran *tailing* hasil aktivitas penambangan dan pengolahan emas mencapai 49,3 m<sup>3</sup>/jam (Prasetyo, 2008). Dengan waktu tinggal sebesar 15 hari dan porositas sebesar 0.375, maka dibutuhkan lahan basah FWS dengan volume tampungan sebesar 60.000 m<sup>3</sup>. Bila disesuaikan dengan rasio panjang dan lebar, maka dimensi lahan basah FWS adalah sebesar 348 m x 174 m.

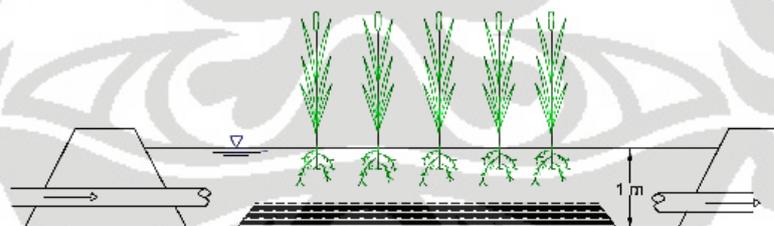
Kedalaman lahan basah FWS efektif untuk tanaman *Typha latifolia* adalah  $< 0,1\text{m} - 1\text{ m}$ , menurut US EPA (1999). Sedangkan menurut Wallace & Kadlec (2009), kedalaman FWS yang baik adalah sepanjang 1 m, untuk menghindari akar tanaman berbenturan dengan media tanah. Sehingga digunakan kedalaman sebesar

1 m, dengan pertimbangan 20-30 cm tanah dan genangan air sedalam 20-40 cm (Vymazal, 2010).

Kebutuhan tanaman lahan basah FWS bergantung terhadap luas permukaannya, dimana idealnya tanaman menutupi 50% permukaan air (Hayes, et al., 2000). Jarak tanam efektif tanaman *Typha latifolia* adalah sejauh 15 cm.

Tabel 4.11 Tabel Kriteria Desain Lahan Basah Buatan FWS

Kriteria Desain	
Debit aliran (m <sup>3</sup> /jam)	49,3
Waktu tinggal (hari)	15
Rasio P:L	2
Porositas	0,375
Panjang FWS (m)	308
Lebar FWS (m)	154
Kedalaman FWS (m)	1
Volume (m <sup>3</sup> )	47,432
Tinggi media tanah (cm)	30
Jumlah tanaman (buah)	1.707.552



Gambar 4.3 Tampak Samping Lahan Basah Buatan FWS

#### 4.6 Hipotesis dan Hasil Penelitian

Persentase penyerapan oleh tanaman *Typha latifolia* pada penelitian ini mencapai 94,44%. Hipotesis pada penelitian ini terbukti.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Penelitian ini menggunakan metode *passive treatment* dengan reaktor lahan basah buatan yang ditumbuhi tanaman *Typha latifolia* dalam waktu tinggal hidrolis selama 2 hari. Melalui hasil penelitian, analisis serta pembahasannya, maka diperoleh kesimpulan terkait penelitian, yaitu :

1. Limbah *tailing* PT. ANTAM (Persero) UBPE Pongkor yang berasal dari *tailings treatment* memiliki kandungan sianida dengan kadar sebesar 73,41 mg/L dengan nilai pH dan suhu masing-masing sebesar 8,95 dan 29°C.
2. Tanaman *Typha latifolia* pada lahan basah buatan memiliki kemampuan menurunkan kadar sianida dengan nilai sebesar 74,35% pada dosis 0,78-1 mg/L dan sebesar 78,35% pada dosis 1-1,6 mg/L. Kemampuan tertinggi penyerapan sianida oleh tanaman mencapai 94,44% pada reaktor lahan basah 4 di hari ke-6.
3. Parameter pH dan suhu secara signifikan mempengaruhi konsentrasi sianida dengan kontribusi sebesar 83,9%. Parameter pH ( $\beta = 0,779$ ;  $p < 0,01$ ) berpengaruh lebih signifikan terhadap penurunan kadar sianida bila dibandingkan parameter temperatur ( $\beta = 0,336$ ;  $p < 0,01$ ).

#### 5.2 Saran

Dari penelitian dapat diambil beberapa saran berdasarkan hasil penelitian, analisis serta pembahasannya, yaitu :

1. Pada pengolahan limbah *tailing* asli yang berwujud lumpur dengan campuran padatan dan air sebaiknya menggunakan unit pengolahan sedimentasi terlebih dahulu sebelum pengolahan dengan lahan basah buatan. Hal ini untuk mengurangi waktu tinggal penurunan kadar sianida dan mempercepat penyerapan sianida oleh tanaman, sehingga lahan basah buatan dapat berjalan lebih efektif.
2. Penelitian lanjutan terhadap limbah *tailing* tambang emas dengan menggunakan jenis tanaman, waktu tinggal, media tanam dan komposisi

lahan basah yang berbeda untuk melihat pengaruh keseluruhannya guna mengetahui keefektivitasan lahan basah buatan.

3. Penelitian lanjutan dengan fokus penurunan kadar sianida dengan wujud sianida bebas ( $Cn^-$ ) yang terkandung pada limbah *tailing* tambang emas. Hal ini dikarenakan kadar toksisitas sianida bebas yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan bentuk sianida lainnya.



## DAFTAR PUSTAKA

- Adams, M., 2001. *A Methodology for Determining The Department of Cyanide Losses in Gold Plants*. Australia: Elsevier Ltd..
- Antoinette, M., 2014. *Penyisihan Kadar Krom Heksavalen Pada Air Limpasan Hujan Pertambangan Nikel Dengan Metode Lahan Basah Buatan (Constructed Wetlands) Menggunakan Typha Latifolia*, Depok: Universitas Indonesia.
- Australia, E., 1997. *Managing Sulphidic Mine Wastes and Acid Drainage. Best Practice Environmental Management in Mining*. Canberra: Environmental Australia.
- Cooper, P. F., Job, G. B. & Shutes, R. B. E., 1996. *Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*, Swidon: WRc Publications.
- Core Group, n.d. *A Handbook of Constructed Wetlands*, s.l.: U.S. Government Printing Office.
- Eary, L., Runnells, D. & Esposito, K., 2003. Geochemical controls On Ground Water Composition At The Cripple Creek Mining District, Cripple Creek, Colorado.. *Appl Geochem*, pp. 1-24.
- Environmental, S. E., 2007. *Pengelolaan Tailing*. s.l.:Persemakmuran Australia.
- EPA, 1995. *EPA office of Compliance Sector Notebook Project : profile of metal mining industry*, Washington D. C.: Office of Compliance, Office of Enforcement and Compliance Assurance, U.S. Environmental Protection.
- García, I. R., 2003. Constructed Wetlands Use for Cyanide and Metal Removal From Gold Mill Effluents. *Stockholm*.
- Gautama, P. D. I. R. S. & Ashari, A., 2014. *Karakterisasi Geokimia Tailing Tambang Emas terkait Metode Penempatan pada Tailing Storage Facility*. s.l.:Intitut Teknologi Bandung.
- Gessner, T. P., Kadlec, R. H. & Reaves, P. R., 2005. Wetland Remediation of Cyanide and Hydrocarbons. *Elsevier*.
- Hayes, D. F., Olin, T. J., Fischenich, J. C. & Palemo, M. R., 2000. *Wetlands Engineering Handbook*. Washington, DC: US Army Corps of Engineers.
- Hidayati, N., Syarif, F. & Juhaeti, T., 2005. Potensi *Centrocema pubescence*, *Calopogonium mucunoides*, dan *Micania cordata* dalam Membersihkan Logam Kontaminan pada Limbah Penambangan Emas. *LIPI*.

Hiskey, J., 1985. Gold and Silver Extraction : The Application of Heap-Leaching Cyanidation. *Fieldnotes, Arizona Bureau of Geology and Mineral Technology*, pp. Vol 15, No 4.

Holt, J., Sneath, P., Kriey, N. & Staley, J., 1994. *Bergey's Manual of: Determinative Bacteriology 9th Edition*. Baltimore, USA: Lippincott Williams and Wilkins.

ITRC, 2003. Technical and Regulatory Guidance Document for Constructed Treatment Wetlands. *The Interstate Technology and Regulatory Council Wetlands Team*.

Kadlec, R. H. & Wallace, S. D., 2008. *Treatment Wetlands Second Edition*. s.l.:Taylor & Francis Group, LCC.

Kelompok Kerja Pengelolaan Sianida, 2008. *Pengelolaan Sianida untuk Industri Pertambangan*, Jakarta: Commonwealth of Australia.

Kleinman, R. L. P. & Hedin, R., 1989. *Biological Treatment of Mine Water : An Update.* , s.l.: Pergamon Press.

Kossof, D. et al., 2014. *Mine Tailing Dams : Characteristics, Failure, Environmental Impacts, and Remediation*. s.l.:Elsevier.

Lee, J., 1994. *Concise Inorganic Chemistry 4th Ed*. London: Chapman & Hall.

Lee, J. K., Shang, J. Q., Wang, H. & Zhao, C., 2014. In-situ Study of Beneficial Utilization of Coal Fly Ash in Reactive Mine Tailings. *Elsevier*.

Lindsay, M. B. J. et al., 2011. Microbiology and Geochemistry of Mine Tailings Amended with Organic Carbon for Passive Treatment of Pore Water. *Taylor & Francis Group, LLC*.

Lorion, R., 2001. *Constructed Wetlands : Passive Systems for Wastewater Treatment*, s.l.: National Network of Environmental Management Studies.

Lottermser, B. G., 2010. *Mine Wastes : Characterization. Treatment and Environmental Impacts 3rd Edition*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Luís, A. et al., 2009. *Impact of Acid Mine Drainage (AMD) on Water Quality, Stream Sediments and Periphytic Diatom Communities*. s.l.:Water Air Soil Polut.

Lv., C. et al., 2014. *Comprehensive Recovery of Metals From Cyanidation Tailing*. s.l.:Elsevier.

Mayes, W. M. et al., 2008. Wetland treatment at extremes of pH ; a review. *Elsevier*.

- Prasetyo, R., 2008. *Kajian Pemanfaatan Limbah Penambangan Emas (Studi Kasus: Pemanfaatan Tailing di PT. Antam UBPE Pongkor)*, Depok: Universitas Indonesia.
- Seal, R. I. et al., 2008. Environmental Geochemistry of A Kuroko-Type Massive Sulfide Deposit at The Abandoned Valzinco Mine, Virginia, USA. *Appl Geochem*, pp. 320-342.
- Shehong, L., Baoshan, Z., Jiangming, Z. & Xiaoying, Y., 2005. The Distribution and Natural Degradation of Cyanide in Gold Mine Tailings and Polluted Soils in Arid and Semiarid Areas. *Environ Geol*, pp. 1150-1154.
- Sheoran, A. S. & Sheoran, V., 2006. Heavy Metal Removal Mechanism of Acid Mine Drainage in Wetlands : A Critical Review. *Elsevier*.
- Smith, A. & Mudder, T., 1991. *The Chemistry and Treatment of Cyanide Wastes*. London: The Mining Journal.
- Sobolewsk, A., 2006. A Review of Processes Responsible for Metal Removal in Wetlands Treating Contaminated Mine Drainage. *Taylor & Francis*.
- Sugiyono, 2006. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Suriani, S., Sumarno & S., 2013. Pengaruh Suhu dan pH Terhadap Laju Pertumbuhan Lima Isolat Bakteri Anggota Genus Pseudomonas yang.
- Suyartono, 2003. *Good Mining Practice*. Jakarta: Studi Nusa Semarang.
- Tjokrokusumo, S. W. & Sahwan, F. L., 2003. Tanaman Potensial Penyerap Limbah Studi Kasus di Pulau Batam. *Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi*.
- Vymazal, J., 2010. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Water*.
- Vymazal, J., 2014. Constructed Wetlands fo Treatment of Industrial Wastewaters : A Review. *Elsevier*.
- Wallace, S. D. & Kadlec, R. H., 2009. *Treatment Wetlands, Second Edition*. U.S.A: Taylor & Francis Group, LLC..
- Wallace, S. D. & Knight, R. L., 2006. *Small-scale Constructed Wetland Treatment Systems: Feasibility, Design Criteria, and O&M Requirements*, Alexandria: Water Environment Research Foundation (WERF).

Waters, J. et al., 2008. Pilot-scale evaluation of solid and liquid phase organic substrates used in biochemical reactors for the treatment of mining Influenced water. *Proceedings of the international conference on acid rock drainage*.

Younger, P., Banwart, S. & Hedin, R., 2002. *Mine water: Hydrology, Pollution, Remediation..* New York: Springer Publishing.

Younger, R. P., 2002. *Mine Water Hydrogeology and Geochemistry*. London: Geological Society.





**LAMPIRAN 1**  
**DATA HASIL LABORATORIUM**



Certificate No. 35346/DBBPAL  
Date: February 12, 2015



Issuing Office:  
Jl. Arteri Tol Cibitung No. 1, Cibitung Bekasi 17520, Indonesia  
Phone/Facs: +62 21 88321176/88321166  
Email: jum.cbt@sucofindo.co.id

### REPORT OF ANALYSIS

CLIENT : ALFI SYAFIRA, Ms  
Jl. Margonda Raya APT Taman Melati Margonda No. 1816  
Depok – Jawa Barat

TYPE OF SAMPLE : WASTE WATER

DATE RECEIVED : February 5, 2015

DATE OF ANALYSIS : February 6, 2015 to February 12, 2015

TESTED FOR : Cyanide

DESCRIPTION OF SAMPLE : Sample was submitted by client  
Packing : Unsealed plastic bottle

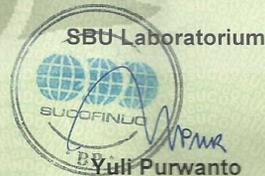
SAMPLE IDENTIFICATION : Air Limbah Tailing

Parameter	Unit	Test Results	Methods *) Part Number
Cyanide	mg/L	< 0.016	4500-CN-D

\*) Standard Methods, 22<sup>nd</sup> Edition 2012, APHA-AWWA-WEF  
<= Less than the detection limit indicated

This Certificate/report is issued under our General Terms and Conditions, copy of which is available upon request or may be accessed at [www.sucofindo.co.id](http://www.sucofindo.co.id)

Registered as Environmental Laboratory at  
Ministry of Environment Republic of Indonesia  
No. 0036/LPJJ/LABLING-1/LRK/KLH



CBT100107615.1010  
int



1959117

SCI-2007A



**LABORATORIUM KIMIA TERPADU INSTITUT PERTANIAN BOGOR**  
**INTEGRATED LABORATORY BOGOR AGRICULTURAL UNIVERSITY**

Gedung Pascasarjana Wing Kimia Lantai Dasar Kampus IPB Baranangsiang, Jl. Pajajaran Bogor 16144  
Phone/Fax. 0251-8319894, 8323571, Email : admin@ilab-ipb.org ISO/IEC 17025 Certificate No : LP-156-IDN

LT-IV.4.4.5	<b>LABORATORY TEST REPORT</b>	Page 1 of 1
-------------	-------------------------------	-------------

Certificate No : LT-10-15-0165  
Sample Id : Wastewater

Laboratory No. : AU/II/15/0269  
Sample Received : 26-02-2015

Parameter	Result	Unit	Method
Cyanide, CN*	46.99	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN: E
REMARKS: *) Outside the scope of accreditation Lab Terpadu IPB is not responsible for the sampling process			

March 11, 2015  
Head of Laboratory



Dr. Komar Sutriah, MS  
NIP. 19630705 199103 1 004

Pengaduan tidak akan kami layani setelah 2 (dua) minggu penerbitan sertifikat. Hasil pengujian ini tidak untuk digandakan dan hanya berlaku untuk contoh-contoh tersebut di atas.  
Any complain for more than 2 (two) weeks after the certificate issued would not be accepted. This certificate cannot be duplicated and is only valid for the above sample.



**LABORATORIUM KIMIA TERPADU INSTITUT PERTANIAN BOGOR**  
**INTEGRATED LABORATORY BOGOR AGRICULTURAL UNIVERSITY**

Gedung Pascasarjana Wing Kimia Lantai Dasar Kampus IPB Baranangsiang, Jl. Pajajaran Bogor 16144  
Phone/Fax. 0251-8319894, 8323571, Email : admin@ilab-ipp.org ISO/IEC 17025 Certificate No : LP-156-IDN

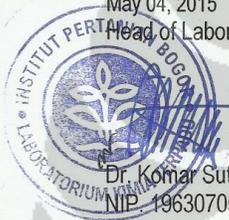
LT-IV.4.4.5	<b>LABORATORY TEST REPORT</b>	Page 1 of 1
-------------	-------------------------------	-------------

Certificate No : LT-10-15-0349  
Sample Id : Wastewater

Laboratory No. : AU/IV/15/0356  
Sample Received : 14-04-2015

Sampel Code	Result	Unit	Method
	Cyanide. CN*		
F1 Tailing	73.41	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
REMARKS: *) Outside the scope of accreditation Lab Terpadu IPB is not responsible for the sampling process			

May 04, 2015  
Head of Laboratory,



Dr. Komar Sutriah, MS  
NIP. 19630705 199103 1 004

Pengaduan tidak akan kami layani setelah 2 (dua) minggu penerbitan sertifikat. Hasil pengujian ini tidak untuk digandakan dan hanya berlaku untuk contoh-contoh tersebut di atas.  
Any complain for more than 2 (two) weeks after the certificate issued would not be accepted. This certificate cannot be duplicated and is only valid for the above samples.



**LABORATORIUM KIMIA TERPADU INSTITUT PERTANIAN BOGOR**  
**INTEGRATED LABORATORY BOGOR AGRICULTURAL UNIVERSITY**

Gedung Pascasarjana Wing Kimia Lantai Dasar Kampus IPB Baranangsiang, Jl. Pajajaran Bogor 16144  
Phone/Fax. 0251-8319894, 8323571, Email : admin@ilab-ipb.org ISO/IEC 17025 Certificate No : LP-156-IDN

LT-IV.4.4.5	<b>LABORATORY TEST REPORT</b>	Page 1 of 1
-------------	-------------------------------	-------------

Certificate No : LT-10-15-0360  
Laboratory No. : AU/IV/15/0361  
Sample Matrix : Wastewater  
Sample Received : 16-04-2015  
Finished Date : 04-05-2015

Sampel Code	Result	Unit	Method
	Cyanide, CN*		
Kontrol Positif	1.00	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Kontrol Negatif	1.13	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Ember 1 (0.7 ppm)	0.78	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Ember 2 (0.7 ppm)	0.99	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Ember 3 (1 ppm)	1.59	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Ember 4 (1 ppm)	1.57	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E

**REMARKS:**

\*) Outside the scope of accreditation  
Lab Terpadu IPB is not responsible for the sampling process

May 08, 2015  
Head of Laboratory,  
  
Dr. Komar Sunnah, MS  
NIP. 19630705 199103 1 004

Pengaduan tidak akan kami layani setelah 2 (dua) minggu penerbitan sertifikat. Hasil pengujian ini tidak untuk digandakan dan hanya berlaku untuk contoh-contoh tersebut di atas.  
Any complain for more than 2 (two) weeks after the certificate issued would not be accepted. This certificate cannot be duplicated and is only valid for the above samples.



**LABORATORIUM KIMIA TERPADU INSTITUT PERTANIAN BOGOR**  
**INTEGRATED LABORATORY BOGOR AGRICULTURAL UNIVERSITY**

Gedung Pascasarjana Wing Kimia Lantai Dasar Kampus IPB Baranangsiang, Jl. Pajajaran Bogor 16144  
Phone/Fax. 0251-8319894, 8323571, Email : admin@ilab-ipb.org ISO/IEC 17025 Certificate No : LP-156-IDN

LT-IV.4.4.5	<b>LABORATORY TEST REPORT</b>	Page 1 of 1
-------------	-------------------------------	-------------

Certificate No : LT-10-15-0369  
Laboratory No. : AU/IV/15/0368  
Sample Matrix : Wastewater  
Sample Received : 17-04-2015  
Finished Date : 04-05-2015

Sampel Code	Result	Unit	Method
	Cyanide, CN*		
Kontrol Positif	0.10	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Kontrol Negatif	0.30	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Ember 1 (0.7 ppm)	0.25	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Ember 2 (0.7 ppm)	0.26	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Ember 3 (1 ppm)	0.30	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Ember 4 (1 ppm)	0.50	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Air Limbah Asli	41.58	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E

REMARKS:

\*) Outside the scope of accreditation  
Lab Terpadu IPB is not responsible for the sampling process

May 08, 2015  
Head of Laboratory,



Dr. Komar Sutriah, MS  
NIP. 19630705 199103 1 004

Pengaduan tidak akan kami layani setelah 2 (dua) minggu penerbitan sertifikat. Hasil pengujian ini tidak untuk digandakan dan hanya berlaku untuk contoh-contoh tersebut di atas.  
Any complain for more than 2 (two) weeks after the certificate issued would not be accepted. This certificate cannot be duplicated and is only valid for the above samples.



**LABORATORIUM KIMIA TERPADU INSTITUT PERTANIAN BOGOR**  
**INTEGRATED LABORATORY BOGOR AGRICULTURAL UNIVERSITY**

Gedung Pascasarjana Wing Kimia Lantai Dasar Kampus IPB Baranangsiang, Jl. Pajajaran Bogor 16144  
Phone/Fax. 0251-8319894, 8323571, Email : admin@ilab-ipb.org ISO/IEC 17025 Certificate No : LP-156-IDN

LT-IV.4.4.5	<b>LABORATORY TEST REPORT</b>	Page 1 of 1
-------------	-------------------------------	-------------

Certificate No : LT-10-15-0375  
Laboratory No. : AU/IV/15/0371  
Sample Id : Wastewater  
Sample Received : 20-04-2015  
Finished Date : 28-04-2015

Sampel Code	Result	Unit	Method
	Cyanide, CN*		
Kontrol Positif	0.02	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Kontrol Negatif	0.20	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Ember 1	0.09	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Ember 2	0.10	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Ember 3	0.07	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Ember 4	0.18	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Air Limbah Asli	38.01	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E

REMARKS:  
\*) Outside the scope of accreditation  
Lab Terpadu IPB is not responsible for the sampling process

May 08, 2015  
Head of Laboratory,



Dr. Komar Sutriah, MS  
NIP 19630705 199103 1 004

Pengaduan tidak akan kami layani setelah 2 (dua) minggu penerbitan sertifikat. Hasil pengujian ini tidak untuk digandakan dan hanya berlaku untuk contoh-contoh tersebut di atas.  
Any complain for more than 2 (two) weeks after the certificate issued would not be accepted. This certificate cannot be duplicated and is only valid for the above samples.



**LABORATORIUM KIMIA TERPADU INSTITUT PERTANIAN BOGOR**  
**INTEGRATED LABORATORY BOGOR AGRICULTURAL UNIVERSITY**

Gedung Pascasarjana Wing Kimia Lantai Dasar Kampus IPB Baranangsiang, Jl. Pajajaran Bogor 16144  
Phone/Fax. 0251-8319894, 8323571, Email : admin@ilab-ipb.org ISO/IEC 17025 Certificate No : LP-156-IDN

LT-IV.4.4.5	<b>LABORATORY TEST REPORT</b>	Page 1 of 1
-------------	-------------------------------	-------------

Certificate No : LT-10-15-0385  
Laboratory No. : AU/IV/15/0376  
Sample Id : Wastewater  
Sample Received : 22-04-2015  
Finished Date : 28-04-2015

Sampel Code	Result	Unit	Method
	Cyanide, CN*		
Control Positive	<0.01	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Control Negative	<0.01	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Ember 1	<0.01	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Ember 2	<0.01	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Ember 3	<0.01	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Ember 4	<0.01	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Air Limbah Asli	29.48	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E

REMARKS:  
\*) Outside the scope of accreditation  
Lab Terpadu IPB is not responsible for the sampling process

May 08, 2015  
Head of Laboratory,



Dr. Komar Sutriah, MS  
NIP. 19630705 199103 1 004

Pengaduan tidak akan kami layani setelah 2 (dua) minggu penerbitan sertifikat. Hasil pengujian ini tidak untuk digandakan dan hanya berlaku untuk contoh-contoh tersebut di atas.  
Any complain for more than 2 (two) weeks after the certificate issued would not be accepted. This certificate cannot be duplicated and is only valid for the above samples.



**LABORATORIUM KIMIA TERPADU INSTITUT PERTANIAN BOGOR**  
**INTEGRATED LABORATORY BOGOR AGRICULTURAL UNIVERSITY**

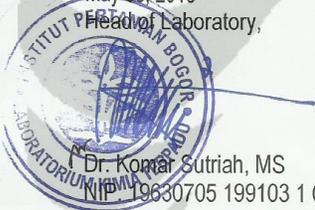
Gedung Pascasarjana Wing Kimia Lantai Dasar Kampus IPB Baranangsiang, Jl. Pajajaran Bogor 16144  
Phone/Fax. 0251-8319894, 8323571, Email : admin@ilab-ipb.org ISO/IEC 17025 Certificate No : LP-156-IDN

LT-IV.4.4.5	<b>LABORATORY TEST REPORT</b>	Page 1 of 1
-------------	-------------------------------	-------------

Certificate No : LT-10-15-0390  
Laboratory No. : AU/IV/15/0379  
Sample Id : Wastewater  
Sample Received : 23-04-2015  
Finished Date : 28-04-2015

Sampel Code	Result	Unit	Method
	Cyanide, CN*		
Kontrol Positif	<0.01	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Kontrol Negatif	<0.01	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Ember 1	<0.01	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Ember 2	<0.01	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Ember 3	<0.01	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Ember 4	<0.01	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Air Limbah Asli	25.52	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E

REMARKS:  
\*) Outside the scope of accreditation  
Lab Terpadu IPB is not responsible for the sampling process

May 08, 2015  
Head of Laboratory,  
  
Dr. Komar Sutriah, MS  
NIP. 19630705 199103 1 004

Pengaduan tidak akan kami layani setelah 2 (dua) minggu penerbitan sertifikat. Hasil pengujian ini tidak untuk digandakan dan hanya berlaku untuk contoh-contoh tersebut di atas.  
Any complain for more than 2 (two) weeks after the certificate issued would not be accepted. This certificate cannot be duplicated and is only valid for the above samples.



**LABORATORIUM KIMIA TERPADU INSTITUT PERTANIAN BOGOR**  
**INTEGRATED LABORATORY BOGOR AGRICULTURAL UNIVERSITY**

Gedung Pascasarjana Wing Kimia Lantai Dasar Kampus IPB Baranangsiang, Jl. Pajajaran Bogor 16144  
Phone/Fax. 0251-8319894, 8323571, Email : admin@ilab-ipb.org ISO/IEC 17025 Certificate No : LP-156-IDN

LT-IV.4.4.5	<b>LABORATORY TEST REPORT</b>	Page 1 of 1
-------------	-------------------------------	-------------

Certificate No : LT-10-15-0398  
Laboratory No. : AU/IV/15/0384  
Sample Id : Wastewater  
Sample Received : 27-04-2015  
Finished Date : 04-05-2015

Sampel Code	Result	Unit	Method
	Cyanide, CN*		
Kontrol Positif	<0.01	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Kontrol Negatif	0.01	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Ember 1	<0.01	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Ember 2	<0.01	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Ember 3	<0.01	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Ember 4	<0.01	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E
Air Limbah Asli	26.34	mg/L	SMEWW 21 <sup>th</sup> (2005) : 5540-CN. E

REMARKS:  
\*) Outside the scope of accreditation  
Lab Terpadu IPB is not responsible for the sampling process

May 08, 2015  
Head of Laboratory

  
Dr. Komar Sutriah, MS  
NIP. 196307051991031004

Pengaduan tidak akan kami layani setelah 2 (dua) minggu penerbitan sertifikat. Hasil pengujian ini tidak untuk digandakan dan hanya berlaku untuk contoh-contoh tersebut di atas.  
Any complain for more than 2 (two) weeks after the certificate issued would not be accepted. This certificate cannot be duplicated and is only valid for the above samples.



**LAMPIRAN 2**  
**DATA PENGAMATAN PENELITIAN**

1. Data Penelitian pH dan Suhu pada Fase Pengamatan

pH												
Reaktor Pengolahan	Hari dan Tanggal Penelitian											Rata-rata
	14/4/15	15/4/15	16/4/2015	17/4/15	18/4/15	19/4/15	20/4/15	21/4/15	22/4/15	23/4/15	24/4/15	
	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	
Reaktor 1	6,2	6,5	6,6	7	6,6	6,7	6,73	6,74	6,81	6,53	6,64	6,64
Reaktor 2	5,8	6,6	6,7	7	6,8	6,7	6,6	6,6	6,52	6,53	6,54	6,58
Reaktor 3	5,5	6,6	6,7	6,8	6,7	6,7	6,5	6,23	6,27	6,3	6,3	6,42
Reaktor 4	5,8	6,7	6,8	6,8	6,7	6,7	6,4	6,44	6,46	6,5	6,43	6,52
Kontrol Positif	5,9	6,6	6,8	7	6,8	6,9	6,88	6,85	6,87	7,09	6,96	6,79
Kontrol Negatif	6	6,6	6,7	6,9	6,8	6,9	7	7,1	6,9	6,96	6,94	6,80
Pengecekan	8,95	8,3	8,2	7,9	8,1	8,2	8	8,2	8,36	8,3	8,23	8,25

Suhu												
Reaktor Pengolahan	Hari dan Tanggal Penelitian											Rata-rata
	14/4/15	15/4/15	16/4/2015	17/4/15	18/4/15	19/4/15	20/4/15	21/4/15	22/4/15	23/4/15	24/4/15	
	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	
Reaktor 1	27,4	26,7	26,4	26,2	28,6	29	28,8	28,5	28,8	27,7	28,5	27,87
Reaktor 2	27,2	26,7	26,4	26,2	28	28	28,4	28,6	29	27,8	28	27,66
Reaktor 3	27,5	26,5	26,2	26,4	28	29	28,8	28,6	28,7	28,6	28,4	27,88
Reaktor 4	26,9	26,6	26,2	26,2	28	28	28,5	28,5	28,5	28,7	28,4	27,68
Kontrol Positif	27,2	26,5	26	26,2	27,8	28	28,5	28,7	28,8	28,8	28,7	27,75
Kontrol Negatif	27,4	26,7	26	26,2	27,8	28	28,6	28,4	28,6	28,8	28,4	27,72
Pengecekan	27,6	27	26,4	28,7	28,2	28	29	28,8	29,1	29	28,8	28,24

2. Data Penelitian pH dan Suhu pada Tahap Aklimatisasi

pH											
Reaktor Pengolahan	Hari dan Tanggal Penelitian										Rata-rata
	5/4/15	6/4/15	7/4/15	8/4/15	9/4/15	10/4/15	11/4/15	12/4/15	13/4/15	14/4/15	
	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	
Reaktor 1	6,4	6,5	6,5	6,4	6,3	6,2	6	6,4	6	6,1	6,28
Reaktor 2	6,3	6,6	6,3	6,1	6,1	6	6	6,3	5,6	5,8	6,11
Reaktor 3	6,6	6,6	6,8	6,3	6,1	6,1	6	6	5,7	5,8	6,2
Reaktor 4	6,4	6,7	6,5	6,3	6,5	6,5	6,3	6,5	6	6,1	6,38
Reaktor 5	6,2	6,6	6,4	6,3	6,3	6,5	6,2	6,5	6,1	6,1	6,32
Reaktor 6	6,5	6,6	6,4	6,6	6,1	6,2	6,1	6,1	6	6,3	6,29

Suhu											
Reaktor Pengolahan	Hari dan Tanggal Penelitian										Rata-rata
	5/4/15	6/4/15	7/4/15	8/4/15	9/4/15	10/4/15	11/4/15	12/4/15	13/4/15	14/4/15	
	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	
Reaktor 1	26,8	27,3	27,4	26,8	26,3	28,7	27,7	27,5	26,7	26,9	27,21
Reaktor 2	26,6	27	27,5	26,9	26,1	29,5	27,6	27,3	26,8	27	27,23
Reaktor 3	27	27,2	27,5	27	26,5	30,1	27,4	27,4	26,8	26,9	27,38
Reaktor 4	26,9	27,4	27,6	26,8	26,5	30,9	27,4	27,1	27	27,2	27,48
Reaktor 5	27	27,1	27,3	26,8	26,3	28,8	27,8	27,2	27,1	27,1	27,25
Reaktor 6	27,1	27,4	27,6	27,1	26,5	29,4	29	27,3	27,3	27,5	27,62



**LAMPIRAN 3**  
**ANALISIS REGRESI LINEAR**  
**MENGGUNAKAN SOFTWARE SPSS**

### Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
Sianida	.2750	.47700	24
pH	6.5133	.35457	24
Temperatur	27.9542	.92641	24

### Correlations

		Sianida	pH	Temperatur
Pearson Correlation	Sianida	1.000	-.855	-.514
	pH	-.855	1.000	.229
	Temperatur	-.514	.229	1.000
Sig. (1-tailed)	Sianida	.	.000	.005
	pH	.000	.	.141
	Temperatur	.005	.141	.
N	Sianida	24	24	24
	pH	24	24	24
	Temperatur	24	24	24

### Variables Entered/Removed<sup>a</sup>

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Temperatur, pH <sup>b</sup>	.	Enter

a. Dependent Variable: Sianida

b. All requested variables entered.

**Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.916 <sup>a</sup>	.839	.824	.20029	1.951

a. Predictors: (Constant), Temperatur, pH

b. Dependent Variable: Sianida

**ANOVA<sup>a</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	4.391	2	2.195	54.726	.000 <sup>b</sup>
	Residual	.842	21	.040		
	Total	5.233	23			

a. Dependent Variable: Sianida

b. Predictors: (Constant), Temperatur, pH

**Collinearity Diagnostics<sup>a</sup>**

Model	Dimension	Eigenvalue	Condition Index	Variance Proportions		
				(Constant)	pH	Temperatur
1	1	2.998	1.000	.00	.00	.00
	2	.002	40.746	.07	.99	.11
	3	.001	75.824	.93	.01	.89

a. Dependent Variable: Sianida

### Residuals Statistics

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	-.2701	1.4151	.2750	.43692	24
Std. Predicted Value	-1.248	2.609	.000	1.000	24
Standard Error of Predicted Value	.046	.126	.067	.023	24
Adjusted Predicted Value	-.3055	1.2994	.2685	.42501	24
Residual	-.40332	.36527	.00000	.19138	24
Std. Residual	-2.014	1.824	.000	.956	24
Stud. Residual	-2.227	2.090	.014	1.045	24
Deleted Residual	-.49312	.47982	.00654	.23017	24
Stud. Deleted Residual	-2.486	2.292	.014	1.094	24
Mahal. Distance	.233	8.196	1.917	2.087	24
Cook's Distance	.000	.457	.074	.125	24
Centered Leverage Value	.010	.356	.083	.091	24

a. Dependent Variable: Sianida

### Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics
		B	Std. Error	Beta			Tolerance
1	(Constant)	11.938	1.354		8.820	.000	
	pH	-1.047	.121	-.779	-8.658	.000	.948
	Temperatur	-.173	.046	-.336	-3.739	.001	.948

### Coefficients<sup>a</sup>

Model		Collinearity Statistics
		VIF
1	(Constant)	
	pH	1.055
	Temperatur	1.055

a. Dependent Variable: Sianida





**LAMPIRAN 4**  
**PROSEDUR PEMERIKSAAN SIANIDA**  
**SECARA SPEKTOFOTOMETRI**  
**SNI 6989.77:2011**

## Air dan air limbah – Bagian 77 : Cara uji sianida (CN<sup>-</sup>) dengan metode spektrofotometri

### 1 Ruang Lingkup

Cara uji ini digunakan menentukan kandungan Sianida (CN<sup>-</sup>) dalam air dan air limbah secara kolorimetri menggunakan spektrofotometer dengan rentang kerja 0,02 mg/L – 0,2 mg/L.

### 2 Istilah dan definisi

#### 2.1

##### **air bebas mineral**

air yang diperoleh dengan cara penyulingan ataupun proses demineralisasi sehingga diperoleh air dengan konduktivitas lebih kecil dari 1  $\mu\text{S}/\text{cm}$

#### 2.2

##### **blind sample**

larutan baku dengan kadar analit tertentu yang diperlakukan seperti contoh uji

#### 2.3

##### **kurva kalibrasi**

grafik yang menyatakan hubungan kadar larutan kerja dengan hasil pembacaan serapan yang merupakan garis lurus

#### 2.4

##### **larutan blanko**

air bebas mineral yang perlakuannya sama dengan contoh uji

#### 2.5

##### **larutan induk standar sianida**

larutan yang mempunyai kadar sianida 1000 mg/L yang digunakan untuk membuat larutan baku dengan kadar yang lebih rendah

#### 2.6

##### **larutan baku (larutan standar) sianida**

larutan induk sianida yang diencerkan dengan air bebas mineral sampai kadar tertentu

#### 2.7

##### **larutan kerja sianida**

larutan baku sianida yang diencerkan, digunakan untuk membuat kurva kalibrasi

#### 2.8

##### **spike matrix**

contoh uji yang diperkaya dengan larutan baku dengan kadar tertentu

### 3 Cara uji

#### 3.1 Prinsip analisis

Sianida (CN<sup>-</sup>) dalam contoh yang telah didistilasi diubah menjadi CNCl (gas yang sangat beracun) melalui reaksi dengan chloramin-T pada pH kurang dari 8.

Setelah reaksi sempurna, CNCl membentuk senyawa kompleks berwarna merah kebiruan dengan penambahan pereaksi asam barbiturat-piridin, kemudian diukur secara kolorimetri menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 575 nm - 582 nm.

### 3.2 Bahan

a) larutan natrium hidroksida (NaOH) 0,16 %;

Timbang 1,6 g kristal NaOH dan masukkan ke dalam gelas piala 1000 mL yang telah berisi air bebas mineral, secara perlahan-lahan sambil di aduk. Tambahkan dengan air bebas mineral sampai 1000 mL. Pindahkan larutan ini ke dalam botol plastik bertutup.

b) indikator kalium kromat ( $K_2CrO_4$ );

c) larutan perak nitrat ( $AgNO_3$ ) 0,0192 N;

Timbang 3,27 g  $AgNO_3$  dan masukkan ke dalam labu ukur 1000 mL yang telah berisi air bebas mineral, secara perlahan-lahan sambil di aduk. Tambahkan dengan air bebas mineral sampai 1000 mL. Pindahkan larutan ini ke dalam botol plastik bertutup. Lakukan standarisasi larutan  $AgNO_3$  ini dengan larutan standar NaCl menggunakan metoda argentometrik dengan indikator kalium kromat ( $K_2CrO_4$ ).

d) asam barbiturat-piridin

- 1) larutkan 15 g asam barbiturat dengan sedikit air bebas mineral dalam labu ukur 250,0 mL;
- 2) tambahkan 75 mL piridin, kemudian tambahkan 15 mL HCl pekat, kocok dan dinginkan sampai suhu ruang;
- 3) impitkan menjadi 250 mL tepatkan sampai tanda tera dengan air bebas mineral, simpan dalam botol coklat.

**CATATAN 1** Pembuatan asam barbiturat piridin harus dilakukan dalam ruang asam.

**CATATAN 2** Larutan ini tahan hingga 6 bulan jika disimpan dalam lemari pendingin. Jangan digunakan bila terbentuk endapan.

e) larutan kloramin-T

Larutkan 1 g kloramin-T dalam 100 mL air bebas mineral, masukkan dalam lemari pendingin. Larutan ini tahan selama 1 minggu dan simpan dalam lemari pendingin.

f) bufer asetat

Larutkan 410 g natrium asetat trihidrat ( $NaC_2H_3O_2 \cdot 3H_2O$ ) ke dalam air bebas mineral sampai volume 500 mL, tambahkan asam asetat hingga pH 4,5.

g) larutan kalium sianida (KCN);

h) asam klorida (HCl);

i) magnesium klorida ( $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ );

j) asam sulfamat ( $NH_2SO_3H$ );

k) larutan aseton;

l) larutan indikator *p*-dimethylamino benzal-rhodanin;

Larutkan 20 mg *p*-dimetilamino benzal-rhodanin dalam 100 mL aseton.

### 3.3 Peralatan

- a) spektrofotometer UV-Vis;
- b) neraca analitik dengan ketelitian 0,1 mg;
- c) pipet volumetrik ukuran 1,0 mL; 2,0 mL; 5,0 mL; 10,0 mL dan 25,0 mL;
- d) labu ukur 50,0 mL; 100,0 mL; 250,0 mL dan 1000,0 mL;
- e) gelas piala 500 mL dan 1000 mL;
- f) mikro buret 10 mL;
- g) labu *Erlenmeyer* 250 mL;
- h) labu distilasi 1000 mL;
- i) kondensor *Allihn*; j) pemanas elektrik; k) pompa vakum;
- l) botol pencuci gas;

### 3.4 Pengawetan contoh uji

Bila contoh uji tidak dapat segera diuji, maka contoh uji diawetkan sesuai petunjuk di bawah ini:

Wadah	:	Botol plastik ( <i>polyethylene</i> ) atau botol gelas
Pengawet	:	Setelah contoh air dan air limbah (contoh uji) dimasukkan ke dalam wadah, kemudian tambahkan larutan NaOH 1 N sampai pH lebih besar dari 12
Lama Penyimpanan	:	14 hari
Kondisi Penyimpanan	:	dalam lemari pendingin dengan suhu $4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$

**CATATAN** Contoh uji diambil dengan sedikit mungkin aerasi.

### 3.5 Persiapan pengujian

#### 3.5.1 Persiapan larutan standar

##### 3.5.1.1 Larutan induk sianida 1000 mg/L

Timbang sekitar 1,6 g NaOH dan 2,51 g KCN dan masukkan ke dalam labu ukur 1000 mL. Encerkan dengan air bebas mineral sampai tanda batas. Lakukan standarisasi terhadap 25 mL larutan induk ini dengan perak nitrat ( $\text{AgNO}_3$ ) sebagai titran. Standarisasi ini dilakukan setiap akan digunakan karena konsentrasi ion sianida mudah berubah ( $1\text{ mL} \approx 1000\text{ }\mu\text{g CN}^-$  total).

**CATATAN** Hati-hati bekerja dengan menggunakan KCN yang bersifat racun dan gunakan Alat Pelindung Diri (APD) yang sesuai peruntukannya.

##### 3.5.1.2 Larutan baku sianida 100 mg/L

Pipet 10 mL larutan induk sianida 1000 mg/L, encerkan hingga 100 mL menggunakan larutan pengencer NaOH 0,16 % ( $1\text{ mL} \approx 100\text{ }\mu\text{g CN}^-$ ).

### 3.5.1.3 Larutan baku sianida 10 mg/L

Pipet 10 mL larutan baku 100 mg/L, encerkan hingga 100 mL menggunakan larutan pengencer NaOH 0,16 % ( $1 \text{ mL} \approx 10 \mu\text{g}$ ).

### 3.5.1.4 Larutan kerja sianida 1 mg/L

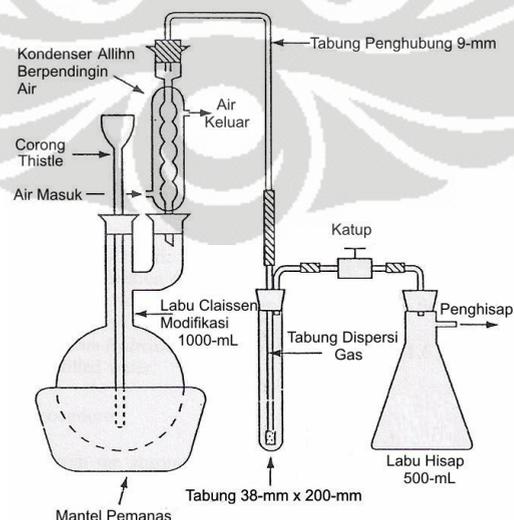
Pipet 10 mL larutan kerja 10 mg/L, encerkan hingga 100 mL menggunakan larutan pengencer NaOH 0,16 % ( $1 \text{ mL} \approx 1 \mu\text{g}$  CN).

### 3.5.2 Persiapan contoh uji destilasi

- rakit peralatan destilasi total sianida seperti pada Gambar 1;
- masukkan 500 mL contoh uji air ke dalam labu destilasi berukuran 1000 mL yang mengandung sianida tidak lebih dari 10 mg CN/L. Kemudian masukkan sekitar 10 butir batu didih berdiameter 2 mm - 3 mm;
- tambahkan 10 mL larutan NaOH 1N ke dalam tabung absorber yang berukuran 250 mL. Tambahkan 50 mg atau lebih  $\text{PbCO}_3$  ke dalam larutan absorber (NaOH 1N);

**CATATAN** Atur kecepatan pompa vakum dengan 1 - 2 gelembung/detik pada labu destilasi.

- tambahkan 2 g asam sulfamat melalui corong *thistle* (*thistle tube*) dan bilas dengan air bebas mineral agar asam sulfamat turun ke labu destilasi;
- tambahkan 50 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1:1 ke dalam labu destilasi melalui corong *thistle*. Kemudian masukkan 20 mL larutan  $\text{MgCl}_2$  juga melalui corong *thistle* dan bilas dengan air bebas mineral;
- panaskan dengan cepat labu destilasi dan atur kecepatan refluks 40 – 50 tetes/menit;
- lakukan destilasi sekurang-kurangnya selama 1 jam;
- hentikan pemanasan pada labu destilasi bila hasil distilat didapat tidak lebih dari 225 mL, biarkan udara mengalir selama 15 menit;
- dinginkan distilat dan masukkan ke dalam labu ukur 250 mL secara kuantitatif. Larutan siap untuk diukur kadar sianida total.



**Gambar 1 - Rangkaian peralatan destilasi sianida**

### 3.5.3 Standarisasi larutan induk sianida

- pipet sejumlah volume larutan induk sianida, encerkan menjadi 100 mL dengan larutan pengencer NaOH 0,16 %;
- tambahkan 0,5 mL indikator *p-dimethyl aminobenzal-rhodanine*;
- titrasi dengan AgNO<sub>3</sub> sampai adanya perubahan warna dari kuning menjadi merah kekuningan (*Salmon Hue*).

$$\text{Kadar CN (mg CN/L)} = \frac{(A - B) \times N \times \text{BST}}{V} \times 1000 \quad (1)$$

#### Keterangan:

- A adalah volume larutan standar AgNO<sub>3</sub> untuk larutan induk, dinyatakan dalam mililiter (mL);  
B adalah volume larutan standar AgNO<sub>3</sub> untuk blanko, dinyatakan dalam mililiter (mL);  
BST adalah bobot setara CN<sup>-</sup> (52,04), dimana 1 mol AgNO<sub>3</sub> bereaksi dengan 2 mol CN<sup>-</sup> (BM = 26,02);  
N adalah normalitas larutan standar AgNO<sub>3</sub>;  
V adalah volume larutan induk sianida.

### 3.5.4 Standarisasi perak nitrat (AgNO<sub>3</sub>)

- pipet 100 mL NaCl (larutan standar NaCl 0,0141 M dibuat dengan melarutkan 824,0 mg NaCl, dikeringkan pada 140 °C selama 2 jam, di dalam 1 liter air). Tambahkan 1,0 mL indikator K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>;
- titrasi dengan AgNO<sub>3</sub> hingga titik akhir (merah bata).

### 3.5.5 Pembuatan indikator K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>

- larutkan 5 g K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> dengan sedikit air;
- tambahkan larutan AgNO<sub>3</sub> hingga timbul endapan merah bata;
- biarkan minimal 12 jam, saring dan encerkan hingga 100 mL.

### 3.6 Pembuatan kurva kalibrasi

- buat satu blanko dan deret larutan kerja minimal 3 kadar yang berbeda ke dalam labu ukur 50,0 mL secara proposional dan berada dalam rentang pengukuran.
- tambahkan larutan pengencer NaOH 0,16 % sampai 40 mL ke dalam masing-masing labu ukur;
- tambahkan 1 mL bufer asetat, homogenkan;
- tambahkan 2,0 mL kloramin-T inversikan 2 kali dan biarkan selama 2 menit;
- tambahkan segera 5 mL larutan asam barbiturat-piridin, homogenkan secara perlahan;
- impitkan hingga tanda tera menggunakan air bebas mineral, homogenkan secara inversi;
- diamkan selama 8 menit hingga terbentuk senyawa kompleks berwarna yang stabil;
- baca nilai serapannya (termasuk blanko) menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 575 nm - 582 nm;
- plot kurva standar dengan nilai serapan sebagai sumbu Y dan kadar CN<sup>-</sup> dalam mg/L sebagai sumbu X. Hitung *slope*, *intersept* dan koefisien regresi linearnya (r);
- jika linieritas kurva kalibrasi (r) lebih kecil dari 0,995, periksa kondisi alat dan ulangi langkah pada butir a) sampai dengan h) hingga diperoleh nilai r ≥ 0,995.

### 3.7 Prosedur kerja

- pipet sejumlah volume contoh uji (V) dari hasil distilasi ke dalam labu ukur 50,0 mL dan encerkan dengan larutan pengencer NaOH 0,16 % hingga volume 40 mL;
- lakukan sesuai butir 3.6.c) sampai h);
- plot nilai serapan hasil pembacaan contoh uji pada kurva standar;
- hitung kadar  $\text{CN}^-$ .

### 3.8 Perhitungan

$$\text{Kadar sianida } (\text{mgCN}^-/\text{L}) = \frac{(C \times 50 \times 250)}{(500 \times V)} \quad (2)$$

#### Keterangan:

- C adalah kadar sianida contoh uji yang diperoleh dari kurva kalibrasi, dinyatakan dalam miligram per liter (mg/L);  
V adalah volume contoh uji yang diambil untuk analisis, dinyatakan mililiter (mL);  
50 diperoleh dari labu ukur yang digunakan untuk analisis contoh uji;  
250 diperoleh dari volume distilat;  
500 diperoleh dari volume contoh uji yang digunakan untuk distilasi.

**CATATAN** Kadar CN dilaporkan dalam mg/L.

### 4 Pengendalian mutu

- Gunakan bahan kimia berkualitas murni (pa).
- Gunakan alat gelas bebas kontaminasi.
- Gunakan alat ukur yang terkalibrasi.
- Dikerjakan oleh analis yang kompeten.
- Lakukan analisis dalam jangka waktu yang tidak melampaui waktu penyimpanan maksimum.
- Perhitungan koefisien korelasi (r) lebih besar atau sama dengan 0,995 dengan intersepsi lebih kecil atau sama dengan batas deteksi.
- Lakukan analisis blanko dengan frekuensi 5 % - 10 % per *batch* atau satu jika jumlah contoh uji kurang dari 10.
- Lakukan analisis duplo dengan frekuensi 5 % - 10 % per *batch* atau satu jika jumlah contoh uji kurang dari 10.
- Nilai presisi yang diterima untuk 9 analis dari 9 laboratorium (*single operator*) adalah sebagai berikut: lihat Lampiran B (Informatif)

$$S_o = 0,11x + 0,010 \text{ (untuk larutan blanko)}$$

$$S_o = 0,04x + 0,008 \text{ (untuk matrik contoh uji)}$$

#### Keterangan:

- $S_o$  adalah presisi untuk 9 analis dari 9 laboratorium dalam mg/L;  
 $x$  adalah konsentrasi sianida dalam mg/L.

- j) Lakukan kontrol akurasi dengan salah satu standar kerja dengan frekuensi 5 % - 10 % per *batch* atau 1 kali jika contoh uji kurang dari 10. Kisaran persen temu balik untuk standar kerja 85 % – 115 %.Persen temu balik (% *recovery*, % R)

$$\% R = \frac{A}{B} \times 100\% \quad (3)$$

**Keterangan:**

A adalah kadar larutan standar hasil pengukuran;

B adalah kadar larutan standar yang ditambahkan (*target value*).

## 5 Presisi dan bias

Standar ini telah melalui uji coba oleh satu laboratorium dan satu analis dengan memperlakukan bahan acuan standar (CRM) sebagaimana contoh uji. Dengan nilai sertifikat ( $0,188 \pm 0,0149$ ) mg CN<sup>-</sup>/L diperoleh kadar rerata hasil pengujian 0,16 mg CN<sup>-</sup>/L, dengan tingkat presisi (% RSD) 5,3% dan akurasi (bias metode) -12,5



**LAMPIRAN 5**  
**DOKUMENTASI PENELITIAN**



**Reaktor 1**



**Reaktor 2**



**Reaktor 3**



**Reaktor 4**



**Reaktor Kontrol Positif**



**Reaktor Kontrol Negatif**



**Reaktor Pengecekan**