

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
PROGRAM PASCASARJANA

Jalan Padang Selasa 524, Bukit Besar Palembang 30139
Telepon (0711) 352132, 354222 Faksimili (0711) 317202, 320310
Homepage: www.pps.unsri.ac.id Email: ppsunsri@mail.pps.unsri.ac.id

KEPUTUSAN
DIREKTUR PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS SRIWIJAYA
Nomor : 158 /UN9.2/DT/2018

tentang
PANITIA PROMOSI GELAR DOKTOR MAHASISWA
PADA PROGRAM DOKTOR (S3) ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS SRIWIJAYA

DIREKTUR PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS SRIWIJAYA

- Menimbang** :
- bahwa sehubungan dengan surat Ketua Program Doktor (S3) Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya nomor: 128/UN9.2.2/KM/2018 tanggal 3 Juli 2018 tentang permohonan izin pelaksanaan ujian akhir disertasi terbuka dan penerbitan SK, dinyatakan bahwa **sdr. Andi Arif Setiawan, NIM 20013681318004** telah memenuhi syarat akademik untuk menyelesaikan studinya;
 - bahwa mahasiswa Pendidikan Doktor (S3) Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya yang akan menyelesaikan studinya harus menempuh promosi gelar Doktor;
 - bahwa untuk ujian yang dimaksud pada butir b perlu ditetapkan dan diangkat panitia promosi gelar Doktor mahasiswa dimaksud;
 - bahwa sehubungan dengan butir a, b dan c di atas perlu diterbitkan keputusan sebagai pedoman dan landasan hukumnya.
- Mengingat** :
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional;
 - Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2012 tentang Pendidikan Tinggi;
 - Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2014 tentang Penyelenggaraan Pendidikan Tinggi dan Pengelolaan Perguruan Tinggi;
 - Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2012 tentang Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia;
 - Keputusan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 44 Tahun 2015 tentang Standar Nasional Pendidikan Tinggi;
 - Keputusan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 334/M/KP/XI/2015 tentang Pemberhentian dan Pengangkatan Rektor Universitas Sriwijaya;
 - Surat Dirjen Dikti Nomor 720/D/T/2007 tentang Ijin Penyelenggaraan Program Studi Ilmu Lingkungan (S3) pada Universitas Sriwijaya;
 - Keputusan Rektor Unsri Nomor 0760/UN9/KP/2016, tentang Pemberhentian dan Pengangkatan Direktur Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya Masa Tugas Tahun 2016-2020.

MEMUTUSKAN

Menetapkan : **SUSUNAN PANITIA PROMOSI GELAR DOKTOR MAHASISWA PROGRAM DOKTOR (S3) ILMU LINGKUNGAN PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

Pertama : Menunjuk panitia promosi gelar Doktor Program Studi Doktor (S3) Ilmu Lingkungan dengan personalianya sebagai berikut:

- Pengarah** : Prof. Dr. Ir. Amin Rejo, M.P.
Penanggung Jawab : Ir. Sabaruddin, M.Sc., Ph.D.
Ketua : Prof. Dr. Ir. Nurhayati, M.Si.
Promotor : Prof. Dr. Ir. Dedik Budianta, M.S.
Co-Promotor I : Dr. Suheryanto, M.Si.
Co-Promotor II : Dr. Ir. Dwi Putro Priadi, M.Sc.
Anggota :
1. Prof. Dr. Ir. Nurhayati, M.Si.
2. Dr. Ir. Edward Saleh, M.S.
3. Dr. Ir. Restu Juniah, M.T.
4. Dr. Dedi Rohendi, M.T.
5. Prof. Dr. Ir. Suntoro (Universitas Sebelas Maret Surakarta)

untuk menguji mahasiswa

- Nama** : Andi Arif Setiawan
NIM : 20013681318004
Judul Disertasi : Model Pencemaran Logam Berat Cu dan Pb dalam Air Limpasan, Air Lindi dan Tanah pada Stockpile Batubara Akibat Pengaruh Lingkungan.

Kedua : Segala biaya yang timbul sebagai akibat dari diterbitkannya Surat Keputusan ini dibebankan pada anggaran yang tersedia pada Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya;

Ketiga : Keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan, dengan ketentuan bahwa segala sesuatu akan diubah dan/atau diperbaiki sebagaimana mestinya apabila terdapat kekeliruan dalam keputusan ini.

Ditetapkan di : Palembang
pada Tanggal : 9 Juli 2018

Direktur

Prof. Dr. Ir. Amin Rejo, M.P.
NIP 19610114 199001 1 001

Tembusan :

- Rektor (sebagai laporan)
- Wadir 1 & Wadir 2
- Ketua Program Doktor (S3) Ilmu Lingkungan
- Dosen Penguji
- Mahasiswa yang bersangkutan

DISERTASI

**MODEL PENCEMARAN LOGAM BERAT Cu DAN Pb
DALAM AIR LIMPASAN, AIR LINDI DAN TANAH
PADA STOCKPILE BATUBARA AKIBAT
PENGARUH LINGKUNGAN**



**ANDI ARIF SETIAWAN
20013681318004**

**PROGRAM STUDI ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2018**

HALAMAN PENGESAHAN

MODEL PENCEMARAN LOGAM BERAT Cu DAN Pb DALAM AIR LIMPASAN, AIR LINDI DAN TANAH PADA STOCKPILE BATUBARA AKIBAT PENGARUH LINGKUNGAN

ANDI ARIF SETIAWAN
20013681318004

Palembang, 16 Juli 2018

Promotor,



Prof. Dr. Ir. Dedik Budianta, M.S.
NIP. 196012021986031003

Co-Promotor I



Dr. Suheryanto, M.Si.
NIP. 196006251989031006

Co-Promotor II



Dr. Ir. Dwi Putro Priadi, M.Sc.
NIP. 195512231985031001

Mengetahui,
Direktur Program Pascasarjana,



Prof. Dr. Ir. Amin Rejo, M.P.
NIP. 196101141990011001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Disertasi ini dengan judul "Model Pencemaran Logam Berat Cu dan Pb dalam Air Limpasan, Air Lindi dan Tanah pada Stockpile Batubara Akibat Pengaruh Lingkungan" telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Ilmu Lingkungan Pascasarjana Universitas Sriwijaya pada tanggal 16 Juli 2018.

Palembang, 16 Juli 2018

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Disertasi

Ketua:

1. Prof. Dr. Ir. Dedik Budianta, M.S.
NIP. 196012021986031003

()

Anggota:

2. Dr. Suheryanto, M.Si.
NIP. 196006251989031006

()

3. Dr. Ir. Dwi Putro Priadi, M.Sc.
NIP. 195512231985031001

()

4. Dr. Ir. Edwar Saleh, M.S.
NIP. 196208011988031002

()

5. Dr. Ir. Restu Juniah, M.T.
NIP. 196104261987032007

()

6. Dr. Dedi Rohendi, M.T.
NIP. 196704191993031001

()

7. Prof. Dr. Ir. Nurhayati, M.Si.
NIP. 1962020219910320017

()

8. Prof. Dr. Ir. Suntoro, M.S.
NIP. 195512171982031003


()

Mengetahui,
Direktur Program Pascasarjana


Prof. Dr. Ir. Amin Rejo, M.P.
NIP. 196101141990011001



Ketua Program Studi
Ilmu Lingkungan


Prof. Dr. Ir. Nurhayati, M.Si.
NIP. 1962020219910320017

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
Halaman Persetujuan.....	iii
Halaman Pernyataan Integritas	iv
Halaman Persetujuan Publikasi	v
Daftar Riwayat Hidup	vii
Kata Pengantar	ix
Ringkasan	x
Summary.....	xii
Daftar Isi	xiii
Daftar Tabel	xvi
Daftar Gambar	xviii
Daftar Lampiran	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan	6
1.4 Hipotesis	6
1.5 Manfaat	7
1.6 Ruang Lingkup	7
1.7 Kerangka Pemikiran	8
1.8 Kebaharuan/Novelty	8
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Batubara dan Issu Lingkungan	13
2.2. Logam Berat	16
2.3. Sumber Pencemar Logam Berat	18
2.4. Logam Berat dan Proses Pembentukan Batubara.....	19

2.5. Dampak pada Ekosistem Perairan	21
2.6. Sifat Logam Cu dan Pb Serta Dampaknya.....	23
2.7. Pencemaran Logam Berat	25
2.8. Aktivitas Pertambangan dan Keberlanjutan Lingkungan	26
2.9. Pemodelan	29
2.10. Tinjauan Teori	31
2.11. Kemutakhiran <i>State of Art</i> dan Posisi Penelitian	32
2.12. Kerangka Konsep	33

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat	35
3.2. Alat dan Bahan	35
3.3. Kerangka Penelitian	35
3.4. Rancangan Penelitian	37
3.5. Variabel dan Parameter Penelitian	38
3.6. Metode Penelitian	39
3.6.1. Pengambilan Sampel	40
3.6.2. Persiapan Sampel Batubara	40
3.6.3. Persiapan Media Tanah	41
3.6.4. Persiapan Kolom	41
3.6.5. Cara Kerja	42
3.7. Pengumpulan dan Analisis Data	41
3.7.1. Pengumpulan Data	43
3.7.1.1. Data Tanah	43
3.7.1.2. Data Logam Berat di Batubara.....	44
3.7.1.3. Data Air	44
3.7.2. Analisis Data	45
3.7.2.1. Analisis Data Tahap I.....	44
3.7.2.2. Analisis Data Tahap II	47
3.7.2.3. Analisis Data Tahap III	47

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil dan Pembahasan Tahap 1.....	50
4.1.1. Kandungan Logam Berat	52
4.1.2. Analisis Pencemaran Logam Berat di Tanah	58
4.1.2.1. Indek Geakumulasi	58
4.1.2.2. Faktor dan Derajat Pencemar	59
4.1.2.3 Indek Beban Pencemar	60
4.2. Hasil dan Pembahasan Tahap ke-2	61
4.2.1 Parameter pH	61
4.2.2 Parameter DHL.....	69
4.2.3 Parameter TDS	76
4.3. Hasil dan Pembahasan Tahap ke-3.....	83
4.3.1. Parameter Cu	83
4.3.2. Parameter Pb di Air Limpasan, Lindi dan Tanah.....	87
4.3.3. Membangun Model Persamaan.....	92
4.3.3.1. Air Limpasan	92
4.3.3.2. Air Lindi	95
4.3.3.3. Tanah.....	97
4.3.4. Model Umum Pengelolaan Pencemaran Logam Berat pada Stockpile untuk Lingkungan Berkelanjutan	99

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan	102
5.2. Saran	102

DAFTAR PUSTAKA	104
----------------------	-----

Lampiran	121
----------------	-----

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1. Senyawa Logam Berat Sulfida	19
2.2. Tanda dan Gejala yang ditimbulkan oleh Paparan Pb	24
3.1. Jenis Variabel	39
3.2. Jenis Parameter	39
3.3. Urutan Perlakuan Kombinasi Percobaan	42
3.5. Kandungan Logam Berat di Alam.....	45
3.6. Indek Kualitas Geo-Akumulasi	46
3.7. Nilai Faktor Pencemaran	46
3.8. Indek Beban Pencemar	47
4.1. Kandungan Logam Berat di Batubara	50
4.2. Kandungan Logam Berat di Tanah Stockpile Batubara...	50
4.3. Parameter C Organik, KTK, DHL	51
4.4. Kandungan Logam Berat di Air	51
4.5. Parameter DHL, TDS di Air.....	51
4.6. Data Indek Geo-Akumulasi di Tanah	58
4.7. Faktor Pencemar Logam Berat	60
4.8. Analisis Sidik Ragam Nilai pH di Air Limpasan	66
4.9. Analisis Sidik Ragam Nilai pH di Air Lindi	67
4.10. Analisis Sidik Ragam Nilai pH di Tanah	68
4.11. Analisis Sidik Ragam Nilai pH pada Media Tercemar.....	69
4.12. Analisis Sidik Ragam nilai DHL di Air Limpasan	73
4.13. Analisis Sidik Ragam Nilai DHL di Air Lindi	73
4.14. Analisis Sidik Ragam Nilai DHL di Tanah	75
4.15. Analisis Sidik Ragam Nilai DHL pada Media Tercemar...	75
4.16. Analisis Sidik Ragam nilai TDS di Air Limpasan	80
4.17. Analisis Sidik Ragam Nilai TDS di Air Lindi	81
4.18. Analisis Sidik Ragam Nilai TDS di Tanah	82
4.19. Analisis Sidik Ragam Nilai TDS pada Media Tercemar...	82

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1.1. Kerangka Pemikiran	12
2.1. Proses Terbentuknya Batubara.....	19
2.2. Molekul Selulosa dan Hemiselulosa.....	20
2.3. Molekul Lignin.....	20
2.4. Jalur Paparan dan Kaitannya Terhadap Resiko Lingkungan	26
2.5. Kemutakhiran State of Art dan Posisi Penelitian	34
2.6. Kerangka Konsep	33
3.1. Kerangka Tahapan Penelitian	36
3.2. Kombinasi Percobaan	38
3.3. Lokasi Pengambilan Sampel	40
3.4. Model Simulasi Pencemaran Logam Berat.....	41
3.5. Model Hubungan Antar Variabel	49
4.1. Hubungan Variabel Terhadap pH di Air Limpasan	62
4.2. Hubungan Variabel Terhadap pH di Air Lindi.....	63
4.3. Hubungan Variabel Terhadap pH di Tanah	64
4.4. Hubungan Variabel Terhadap DHL di Air Limpasan	70
4.5. Hubungan Variabel Terhadap DHL di Air Lindi.....	71
4.6. Hubungan Variabel Terhadap DHL di Tanah	72
4.7. Hubungan Variabel Terhadap TDS di Air Limpasan	77
4.8. Hubungan Variabel Terhadap TDS di Air Lindi.....	78
4.9. Hubungan Variabel Terhadap TDS di Tanah	79
4.10. Hubungan Variabel Terhadap Cu di Air Limpasan	84
4.11. Hubungan Variabel Terhadap Cu di Air Lindi	85
4.12. Hubungan Variabel Terhadap Cu di Tanah	86
4.13. Hubungan Variabel Terhadap Pb di Air Limpasan	88
4.14. Hubungan Variabel Terhadap Pb di Air Limpasan	89
4.15. Hubungan Variabel Terhadap Pb di Tanah.....	90
4.16. Model Umum Pengelolaan Pencemaran	101

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1. Data Hasil Pengukuran Logam Berat di Air.....	121
2. Data Hasil Pengukuran Logam Berat di Tanah.....	122
3. Data Hasil Pengukuran Logam Berat di Batubara.....	123
4. Data Karakteristik Tanah	124
5. Perbandingan Ukuran Mesh.....	125
6. Data pH, DHL dan TDS pada Sampel Air Lindi.....	126
7. Data pH, DHL dan TDS pada Sampel Air Limpasan.....	127
8. Data pH, DHL dan TDS pada Sampel Tanah.....	128
9. Analisis BNT pH pada Sampel Air Limpasan.....	129
10. Analisis BNT pH pada Sampel Air Lindi.....	130
11. Analisis BNT pH pada Sampel Tanah.....	131
12. Analisis BNT DHL pada Sampel Air Limpasan.....	132
13. Analisis BNT DHL pada Sampel Air Lindi.....	133
14. Analisis BNT DHL pada Sampel Tanah.....	133
15. Analisis BNT TDS pada Sampel Air Limpasan.....	135
16. Analisis BNT TDS pada Sampel Air Lindi.....	136
17. Analisis BNT TDS pada Sampel Tanah.....	137
18. Data Hasil Pengamatan Logam Berat.....	138
19. Penentuan Intensitas Hujan.....	139
20. Foto Kegiatan Penelitian	140

BAB 1.

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kegiatan industri dalam hal eksploitasi sumberdaya alam (SDA), baik yang berpotensi penghasil bahan baku maupun berpotensi penghasil energi, disatu sisi berdampak positif bagi perekonomian, disisi lain berdampak negatif bagi lingkungan berupa limbah. SDA di ambil dan diproses sehingga menghasilkan produk utama dan produk sampingan berupa limbah. Kegiatan tersebut berlangsung terus menerus, sehingga limbah yang dihasilkan mengganggu ekosistem dan mengancam kesehatan manusia. Limbah yang dihasilkan ini dipicu oleh peningkatan jumlah penduduk, kemajuan teknologi dan aktivitas manusia (Karbassi *et al.*, 2008; Ozseker & Eruz, 2013).

Potensi ancaman tersebut dapat berupa logam berat yang berasal dari kegiatan industri (Fonkou *et al.*, 2005), diantaranya pertambangan (Gwenzi & Mupatsi, 2016; Doepker 2006; Ibrahim *et al.*, 2006; Adaikpoh *et al.*, 2005), sehingga dapat mencemari lingkungan (Kwonpongsagoon *et al.*, 2007). Kelarutan logam berat yang terkandung pada bahan tambang semakin tinggi dengan kondisi air asam pada lokasi tambang (Søndergaard *et al.*, 2008) berdampak pada ekosistem perairan (Saviour & Nadu, 2012; Chen *et al.*, 2015), lahan pertanian (Singh *et al.*, 1991; Wei & Yang, 2010; Wuana & Okieimen, 2011) dan pada akhirnya mengganggu ketahanan pangan (Toth *et al.*, 2016).

Logam-logam berat merupakan komponen alami penyusun batuan di bumi, sudah diketahui sejak ratusan tahun yang lalu sebagai racun dan mengganggu kesehatan bagi manusia (Neustadt & Pieczenik, 2007). Masuknya unsur-unsur kimia berupa logam-logam berat ke lingkungan yang diakibatkan proses alami dan aktivitas manusia mengakibatkan terjadinya peningkatan unsur-unsur logam berat tersebut di air permukaan, sedimen dan tanah (Wuana & Okieimen, 2011; Galuszka & Migaszewski, 2011).

Pertambangan pada setiap tahapannya dapat menimbulkan dampak, yang dilakukan oleh manusia (Karbassi *et al.*, 2015). Dampak ini di mulai dari pembukaan lahan, penambangan (penggalian, pengangkutan dan pemanfaatan)

penghancuran, pemekatan bahan tambang (Lim et al., 2008). Fakta membuktikan logam berat tidak dapat dirombak secara biologis, terakumulasi di lingkungan, tersebar luas dan dapat menyebabkan racun di dalam lingkungan perairan (Pan et al., 2012) dan tanah (Fontes & Santos, 2010; Ong et al., 2016) yang berdampak pada manusia. Logam berat terakumulasi dalam jaringan hewan air, sehingga pada akhirnya logam berat tersebut dapat mengganggu kesehatan masyarakat, bahkan menyebabkan kematian melalui mata rantai makanan (Vutukuru, 2005; Ahmad, 2010).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pencemaran di air permukaan berpengaruh kuat terhadap pencemaran di air dan tanah (Krishna et al., 2009). Paparan logam berat melalui air selanjutnya akan masuk ke tanah dan air, yang berasal dari kegiatan pertambangan sehingga mengancam kesehatan manusia. Air yang mengandung logam berat tersebut dengan mudah masuk ke tubuh manusia melalui mulut dan juga dapat masuk melalui pernapasan dan kontak kulit. Masuknya logam berat ini dalam waktu yang lama menyebabkan menurunnya kualitas lingkungan. Bahan pencemar dari aktivitas pertambangan tersebut yaitu berupa logam berat timah hitam atau *Plumbum* (Pb) dan tembaga atau *Copper* (Cu) (Tmava et al., 2013).

Kegiatan Industri dan pertambangan batubara mempunyai kontribusi besar terhadap pencemaran lingkungan (Tiwary, 2001; Mamurekli, 2010). Keberadaan industri tersebut biasanya dilalui oleh sungai, sebagai media yang membawa logam-logam berat yang selanjutnya terlarut, sebagian terserap oleh material padatan tersuspensi dan mengendap di sedimen perairan. Logam-logam berat tersebut mengancam organisme lingkungan perairan (Pintilie et al., 2007).

Batubara merupakan sumber daya energi fosil untuk digunakan sebagai pembangkit energi listrik sebesar 36 % kebutuhan energi listrik dunia. Aktivitas pertambangan berdampak signifikan terhadap tanah dan lingkungan di sekelilingnya (Tozsin, 2014). Dampak pencemaran ini pada akhirnya dapat dipastikan mengganggu ekosistem perairan serta masyarakat yang menggunakan air tersebut, sehingga biaya pengolahan air bersih menjadi lebih besar. Gomes et al. (2011) mengemukakan akibat dari pembukaan lahan guna kegiatan pertambangan batubara berdampak terjadinya pencemaran air. Pencemaran ini

dipengaruhi oleh intensitas hujan, yang berakibat air limpasan masuk ke perairan, begitu juga logam-logam berat pasti akan ikut terbawa ke dalam perairan tersebut.

Aktivitas ini berdampak pada pencemaran di perairan, sehingga mengancam organisme perairan terlebih lagi biota perairan yang mobilitasnya rendah (Cahyani *et al.*, 2012) dan masyarakat yang menggunakan air tersebut (Younger, 2002a). Disamping itu dikebanyakan negara yang mempunyai kegiatan industri pertambangan dapat mengakibatkan permasalahan pencemaran di tanah diakibatkan logam-logam berat yang dikandung bahan tambang tersebut (Marbaninang *et al.*, 2014).

Alasan dalam penelitian difokuskan logam berat yang dipilih Cu dan Pb, dikarenakan logam berat yang ada tersebut berdampak negatif terhadap tubuh. Logam berat Cu merupakan logam berat yang dibutuhkan oleh tubuh (*essensial*) untuk respirasi mitokondria, regulasi hemoglobin darah dan fungsi syaraf (Krupanidhi *et al.*, 2008) dalam jumlah batas tertentu, yang berfungsi dalam menghasilkan hemoglobin dalam sel darah merah. Kekurangan Cu dapat mengakibatkan anemia, kerusakan jantung dan tulang (Chen, 2012). Logam Cu dalam jumlah yang berlebihan berakibat racun, sehingga mengganggu kesehatan manusia (Markus & Mcbratney, 2001)

Paparan logam Pb dapat melalui udara, debu air atau sumber makanan. Industri yang menggunakan timbal adalah aditif pada bahan bakar, pewarna pada cat, industri baterai, pipa, tempat makanan, keramik gelas, industri sepatu dan pakaian. Target utama toksisitas timbal adalah sistem hematopoietic dan sistem nervous (Klaassen, 2001), menurunkan tingkat kecerdasan anak (Qaiser *et al.*, 2007), ketidak teraturan tingkah laku, kerusakan sistem syaraf (Patrick, 2006), kerusakan pada ginjal atau liver (Shi *et al.*, 2014), kerusakan sel darah merah jantung, gangguan alat reproduksi (Brigden and Santillo, 2002; Dunnivant and anders, 2006; United Nations Environment Programme, 2010; and Fewtrell *et al.*, 2003) dan gangguan pada wanita yang hamil (Chen, 2012).

Penelitian yang telah dilakukan berkaitan dengan kandungan dengan unsur-unsur runtu (*trace elements*) dan logam berat pada batubara berupa Cr, Mn, Cu, As, Cd, Pb dan Hg (Oliveira *et al.*, 2012; Nalbandan, 2012; French, 2008; Warsan, 2008 and Ochieng, 2014). Unsur-unsur logam berat tersebut mencemari

tanah (Ladwani *et al.*, 2012) dan ketika batubara tersebut dimanfaatkan sebagai sumber energi begitu banyak unsur-unsur yang dilepaskan ke udara, yang dapat menyebabkan pencemaran di udara (Demayo *et al.*, 2012) dan air yang berdampak pada ekosistem perairan (Cahyani *et al.*, 2012) dan masyarakat yang menggunakan air tersebut (Younger, 2002).

Penelitian yang melatarbelakangi topik pencemar logam berat berasal dari batubara, dikarenakan kebutuhan batubara sebagai sumber energi semakin lama semakin meningkat. Hal ini menyebabkan meningkatnya potensi pencemaran, baik di air maupun di tanah. Aktivitas setelah pertambangan dilanjutkan dengan pengangkutan dan penyimpanan sementara (*stockpile*) untuk selanjutnya dikirim ke industri-industri yang membutuhkan.

Kegiatan *stockpile* ini beresiko terhadap lingkungan, akibat tercemarnya tanah dan air di lokasi tersebut. Paparan hujan pada *stockpile* batubara menyebabkan zat-zat beracun seperti logam-logam berat akan terlepas dari batubara terbawa oleh aliran air hujan tersebut dan akan masuk ke tanah dan ke luar berupa air lindi yang selanjutnya masuk ke sungai dan mencemari biota perairan (ikan, udang dan lain-lain). Peristiwa tersebut berlangsung terus menerus, sehingga terjadi akumulasi logam-logam berat tersebut di tanah dan air. Hal ini semakin parah dengan kandungan sulfur yang tinggi di batubara tersebut, sehingga menyebabkan kondisi air di batubara tersebut sangat asam atau yang dikenal dengan air asam tambang. Tingginya kandungan air asam tersebut berpengaruh sangat besar terhadap kelarutan logam-logam berat yang ada pada batubara tersebut, yang mengakibatkan kandungan logam berat tinggi di tanah dan air. Akumulasi logam-logam berat di *stockpile* batubara tersebut berlangsung terus menerus, sehingga sulit untuk diprediksi berapa banyak zat pencemar tersebut masuk ke tanah dan ke luar berupa air lindi, akibat pengaruh lingkungan seperti intensitas hujan, lama hujan dan kondisi batubara itu sendiri baik jenis dan ukuran.

Berdasarkan uraian tersebut di atas perlu dilakukan penelitian, untuk mengkaji bagaimana kandungan logam berat hasil dari simulasi air hujan yang masuk melewati batubara dan masuk ke tanah dan keluar berupa air lindi. Hasil

simulasi ini dapat di prediksi banyaknya logam berat yang masuk ke tanah dan ke luar dari air lindi tersebut akibat faktor lingkungan dan kondisi batubara.

1.2. Rumusan Masalah

Batubara mengandung logam berat dan sulfur yang tinggi, ketika kontak dengan air akan mengakibatkan air tersebut menjadi asam. Kondisi ini turut mempermudah terjadinya pencemaran logam-logam berat. Fenomena ini dapat ditemukan bukan hanya dilahan tambang akan tetapi juga di penampungan sementara (*stockpile*) batubara, yang dapat mengakibatkan pencemaran. Pencemaran di *stockpile* batubara dapat terjadi ketika di lingkungan tersebut turun hujan, sehingga kandungan logam berat tersebut akan terlepas dan mempengaruhi karakteristik tanah dan air tersebut.

Kondisi ini terus berlangsung lama, sehingga terjadi akumulasi semakin lama semakin meningkat di tanah dan air. Hal ini sulit untuk diprediksi berapa banyak logam berat yang terlepas dan masuk ke tanah dan air akibat kondisi hujan, untuk itu perlu dilakukan kajian penelitian berupa percobaan/eksperiment peruntan besarnya logam Cu dan Pb yang dapat terlepas dari *stockpile* batubara dengan menggunakan kolom, hingga masuk ke tanah dan ke luar berupa air limpasan dan air lindi .

Berdasarkan uraian tersebut di atas dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana kandungan logam berat pada media tanah dan air pada *stockpile* batubara ?
2. Bagaimana hujan dan diameter batubara terhadap parameter pH, Daya Hantar Listrik (DHL) dan Total Dissolve Solid (TDS) serta kandungan logam berat Cu dan Pb pada media air limpasan, air lindi dan tanah ?
3. Bagaimana model persamaan hasil simulasi hujan dan diameter batubara terhadap parameter logam berat Cu dan Pb pada media air limpasan, air lindi dan tanah

1.3. Tujuan

Penelitian ini bertujuan :

1. Mengkaji kandungan logam berat pada ekokompartemen *stockpile* batubara.(di tanah dan air lindi).
2. Mendesain simulasi hujan, lama hujan dan diameter batubara terhadap parameter pH, Daya Hantar Listrik (DHL) dan Total Padatan Terlarut/Total Dissolve Solid (TDS) serta kandungan logam berat Cu dan Pb pada air limpasan, tanah dan air lindi.
3. Membangun model prediksi kandungan logam berat Cu dan Pb akibat pengaruh intensitas hujan, lama hujan dan ukuran batubara pada air limpasan, tanah dan air lindi

1.4. Hipotesis

Pencemaran logam berat di *stockpile* terjadi saat batubara tersebut terpapar hujan secara terus menerus, sehingga logam berat yang terkandung pada batubara tersebut akan terlepas dan masuk ke tanah dan air. Hal ini diperparah dengan kandungan senyawa sulfur yang tinggi. Sulfur tersebut bereaksi dengan air dan oksigen membentuk air asam tambang/*Acid Mine Drainage* (AMD). Suasana asam akan mempermudah kelarutan logam berat yang ada pada batubara. Logam-logam berat yang terlarut terbawa oleh aliran air dan masuk ke tanah dan ke luar berupa air limpasan dan lindi. Kandungan logam berat terbesar akan terakumulasi di tanah, dikarenakan mempunyai porositas disamping itu di tanah mempunyai gugus aktif berupa OH (hidroksida) bermuatan negatif yang mampu mengikat ion positif dari logam tersebut. Peristiwa tersebut berlangsung secara terus menerus dan akan terakumulasi di tanah dan air, akan tetapi sulit untuk diprediksi berapa banyak logam berat yang masuk ke tanah dan ke luar menuju air lindi.

Intensitas hujan yang tinggi serta lamanya hujan mengakibatkan semakin banyak air yang mengalami kontak dengan batubara, sehingga semakin banyak logam berat yang terbawa oleh aliran air. Diameter ukuran batubara yang kecil lebih banyak mengalami kontak dengan air yang ada di lingkungan dibandingkan dengan diameter ukuran yang besar, sehingga logam berat yang masuk ke media tanah dan air relatif tinggi..

Fenomena ini perlu dilakukan penelitian berupa simulasi, bagaimana pengaruh lingkungan curah hujan, lama hujan dan diameter ukuran batubara yang berakibat terlepasnya logam berat Cu dan Pb. Uraian tersebut dapat diajukan hipotesis sebagai berikut :

1. Kandungan logam berat Cu dan Pb di tanah relatif lebih tinggi dibandingkan di air dan batubara.
2. Semakin tinggi intensitas hujan dan semakin lama hujan serta semakin kecil ukuran batubara semakin banyak kecil pH, semakin besar nilai parameter DHL, TDS, Cu dan Pb
3. Model persamaan yang dibangun melalui pendekatan percobaan simulasi ini dapat memprediksi pengaruh curah hujan, lama hujan dan ukuran diameter batubara terhadap kandungan logam berat Cu dan Pb yang terlepas dan masuk ke tanah dan yang ke luar berupa air lindi.

1.5. Manfaat

Hasil dari penelitian ini diharapkan mempunyai manfaat :

1. Teoritis : hasil penelitian dapat memberikan sumbangan pada pengembangan ilmu lingkungan, khususnya pada perlindungan lingkungan *stockpile* batubara.
2. Praktis : memberikan rekomendasi pada pihak industri *stockpile* batubara tentang perlindungan lingkungan akibat dari paparan hujan dan ukuran diameter batubara secara berkelanjutan.

1.5. Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian eksperimen ini berupa simulasi dengan menggunakan kolom pipa PVC diameter 5,5 cm, panjang 75 cm dan di isi tanah yang dipadatkan. Bagian atas tanah diletakan batubara, untuk menyamai keadaan *stockpile* batubara yang sebenarnya (di lapangan). Faktor-faktor yang mempengaruhi logam berat ion Cu dan Pb yang terlepas dari batubara diantaranya : intensitas hujan, lama hujan dan diameter ukuran batubara.

1.6. Kerangka Pemikiran

Pemanfaatan Sumber Daya Alam (SDA), khususnya dalam sumberdaya energi disamping berdampak positif bagi perekonomian dalam hal pertumbuhan industri dan ekonomi serta membuka lapangan kerja, disisi lain berdampak negatif berupa pencemaran.

Pemanfaatan SDA tersebut diantaranya melalui kegiatan pertambangan batubara. Kebutuhan batubara semakin lama semakin meningkat, seiring dengan pertumbuhan penduduk dan kemajuan industri yang berakibat pada meningkatnya kebutuhan energi listrik. Kegiatan pertambangan tersebut berdampak terhadap lingkungan, salah satunya berupa penyimpanan sementara (*stockpile*) batubara.

Kerangka pemikiran dalam penelitian ini dapat dilukiskan pada Gambar 1.1. Aktivitas penyimpanan sementara batubara di *stockpile* tentunya akan terjadi pencemaran di air dan tanah. Pencemaran ini dipengaruhi oleh : intensitas hujan, lamanya waktu hujan dan diameter ukuran batubara dilokasi *stockpile*. Logam berat Cu dan Pb yang terlepas dari batubara dan mencemari tanah dan air, maka perlu dilakukan kajian berupa eksperimen dengan cara simulasi menggunakan kolom yang berisi media tanah.

1.7. Kebaruan/Novelty

Penelitian terkait baik berupa penelitian di lapangan maupun percobaan di laboratorium yang telah dilakukan berkaitan dengan logam berat dari sumber batubara diantaranya :

Zhang et al. (2016) melakukan pengamatan terhadap migrasi logam berat yang berasal dari limbah hasil kegiatan pertambangan (*tailing*). Lapisan *tailing* di masukkan ke dalam kolom yang telah di lubangi bagian sisinya, lalu dibagian atasnya di beri perlakuan tanah, batuan kapur dan tanah liat. Hasil percobaan menunjukkan lapisan tanah mampu menaikkan pH air lindi, sedangkan kandungan logam beratnya pada media tanah, batuan kapur dan tanah liat menjadi sedikit. Kenaikan pH dari 6,5 hingga kisaran 7,5 hingga 8,03, pH maksimum dalam C1 (*tailing*), C2 (CT), C3 (SLS), C4 (SL) dan C5 (SC) muncul setelah hari ke-180, masing-masing pada pH 7.85, 7.89, 7.78, 8.03, dan 7.89. Tanah lapisan atas efektif mengurangi konsentrasi Pb, Zn dan Cd di air lindi.

Rout *et al.* (2015) melakukan penelitian kandungan logam-logam berat di debu yang berasal dari kawasan komersial dan kawasan hunian di tambang batubara kota Jharia India. Hasil penelitian menunjukkan indek beban pencemar tempat tinggal 1,534 lebih tinggi dibandingkan di kawasan komersil 1,366.

Rusdianasari *et al.* (2015) melakukan percobaan model kinetika penurunan kandungan logam berat (Fe dan Mn) dan parameter pH yang berasal dari *stockpile* batubara dengan menggunakan elektrokoagulasi. Variasi waktu yang digunakan dari 60 menit hingga 120 menit, sedangkan arus listrik yang diigunakan dari 1,3 amper hingga 3 amper dengan tegangan listrik tetap 12 volt. Hasil percobaan menunjukan bahwa kandungan logam berat Fe dan Mn mengalami penurunan seiringan dengan peningkatan arus listrik dan waktu elektrolisis. Waktu 90 menit kandungan Fe menurun sebanyak 0,03 ppm dan Mn 0,01 ppm, sedangkan pH meningkat menjadi 7.11. Metode elektrokoagulasi ini mengikuti persamaan kinetika *isoterm Langmuir* dan *isoterm Freundlich*.

Sibarani *et al.* (2014) melakukan penelitian percobaan berupa kualitas air pelindian kolom dengan menggunakan perangkat lunak, dimana tim peneliti mengamati air hasil pelindian dengan parameter pH, DO, TSS, daya hantar listrik kaandungan logam Fe, Zn dan Mn.

Rusdianasari *et al.* (2014) melakukan penelitian analisis ruang kualitas lingkungan air di *stockpile* batubara. Keberadaan *stockpile* batubara berdampak pada kualitas air, udara dan tanah. Limbah cair yang keluar dari *stockpile* batubara menyebabkan penurunan pH air dan peningkatan padatan total tersuspensi (total suspended solid/TSS), besi (iron/Fe) dan mangan (Mangan/Mn). Hasil penelitian menunjukkan kualitas air berupa parameter pH 3,4 kandungan Fe 2,34 ppm dan Mn 1,77 ppm dan padatan tersuspensi 406 ppm.

Panday *et al.* (2014) melaporkan hasil penelitiannya tentang perubahan struktur komunitas tumbuhan akibat aktivitas pertambangan batubara yang mengakibatkan pencemaran di udara dan kerusakan tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa telah terjadi perubahan struktur komunitas tumbuhan akibat polusi tanah yang disebabkan oleh aktivitas pertambangan batubara.

Martinez *et al.* (2013) melakukan penelitian berupa efek pertambangan batubara terbuka pada lahan padi di Vietnam. Hasil penelitian menunjukan bahwa

kandungan Cd, Cu dan Pb pada tanaman padi melebihi nilai ambang batas yang diizinkan untuk makanan. Cd dan Pb lebih tinggi dijumpai di padi, ini diakibatkan logam-logam yang berasal dari lahan tambang batubara terserap oleh tanaman padi. Kandungan logam berat di lahan padi tersebut kandungan untuk logam Cd, Cu dan Pb masing-masing $0,146 \pm 0,004$; $23,3 \pm 0,1$ dan $23,5 \pm 0,1$ mg/kg.

Wang *et al.* (2013) melakukan penelitian terhadap indek resiko lingkungan dari logam berat berupa Cd, Hg, As, Pb, Cr, Cu, Zn dan Ni pada tanah yang berada pada lahan tambang Batubara Heidaigou Cina. Hasilnya menunjukkan tingkat resiko lingkungan tertinggi sampai terendah berturut-turut Hg>Pb>Ni>Zn>Cu>Cd>Cr>As.

Ward *et al.* (2011) melaporkan hasil penelitian secara eksperiment dengan metode batch pada *stockpile* batubara sub-bituminous dan pasir pantai. Hasil percobaan menunjukkan bahwa unsur-unsur lindi yang dikandung berupa As, Cr, Cu, Mo, Pb, Sb, Sr, V dan Zn lebih tinggi dibandingkan pasir pantai.

Pandey *et al.* (2011) melakukan kajian unsur berbahaya berupa Arsen dalam abu terbang batubara. Hasil kajian tersebut mengemukakan As dapat dihasilkan dari abu terbang batubara merupakan limbah yang dihasilkan produk sampingan dari pembangkit listrik, berpotensi nyata terhadap ancaman kehidupan. Selain itu batubara mengandung logam-logam beracun bagi perairan dan manusia.

Sracek *et al.* (2010) melakukan penelitian tentang evaluasi dampak air tambang batubara di Smolnica Polandia Selatan. Mereka berpendapat bahwa air asam tambang (Acid Mine Drainage/AMD) merupakan permasalahan serius bagi lingkungan, berasal dari batuan mengandung sulfida. Ancaman ini berdampak serius bagi lingkungan hidup perairan dan kesehatan manusia. Konsentrasi ion sulfida lebih dari 3.827 mg/l, klorida lebih dari 903 mg/l.

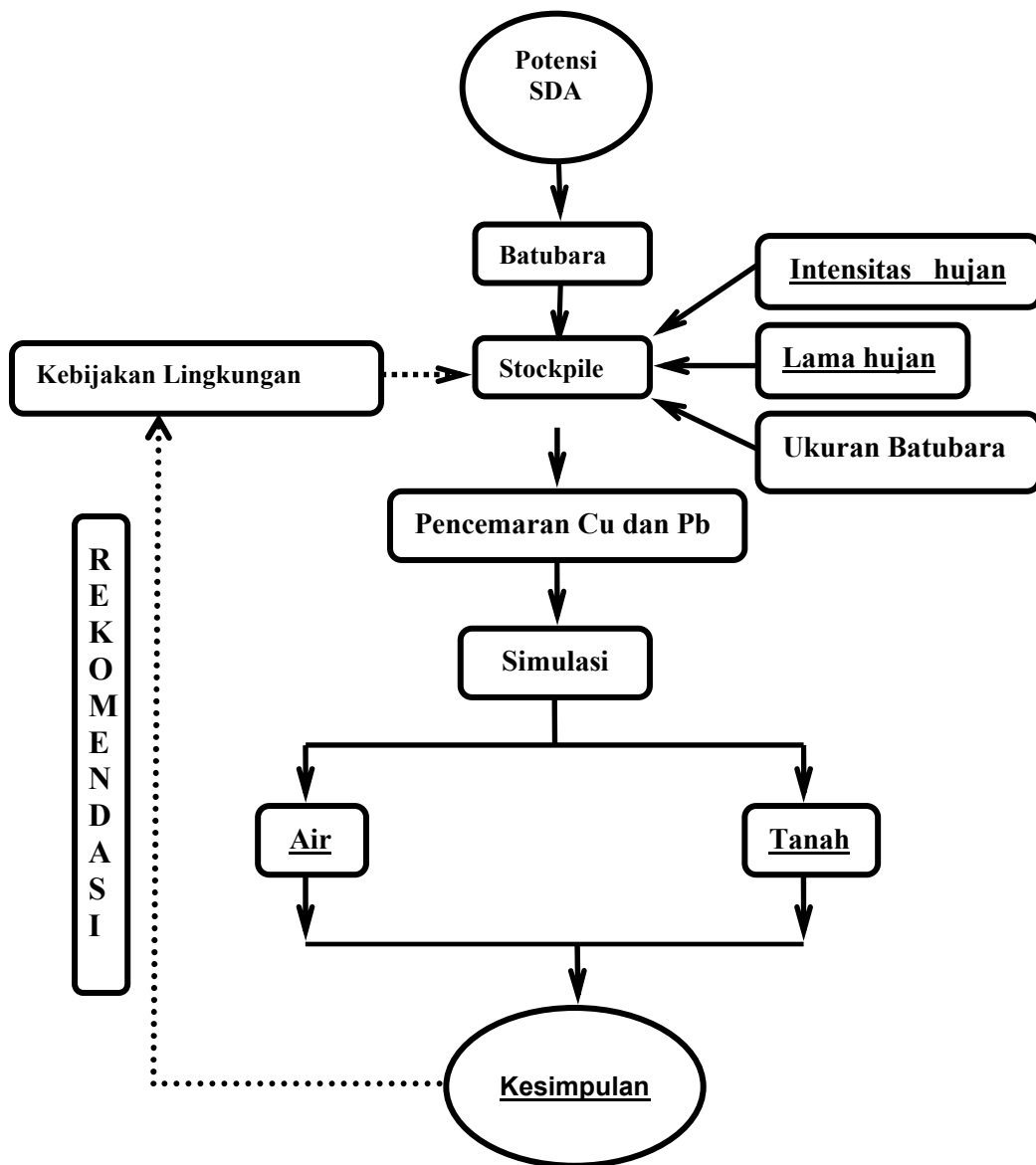
Pimentel (2009) melakukan percobaan perkolasi untuk melihat kandungan logam berat menggunakan kolom berisikan batubara dengan ketinggian 20 cm yang dialiri air, sebagai simulasi hujan dengan kecepatan 36 ml/s. Intensitas hujan yang dipilih 2.500 mm pertahun, yang merupakan intensitas hujan tertinggi di daerah tropik. Air keluar dari kolom yang mengandung logam berat dilakukan penambahan koagulan, hasilnya bahwa dengan tanpa perlakuan keasaman penurunannya relatif kecil.

Rios *et al.* (2008) mengemukakan bahwa air asam tambang/Acid Mine Drainage (AMD) merupakan permasalahan yang dihadapi lahan tambang batubara. Keberadaan AMD ini turut mempercepat kelarutan ion logam-logam berat yang menyebabkan pencemaran di lahan tambang.

Curran *et al.* (2002) melakukan penelitian pengaruh paparan intensitas hujan di *stockpile* batubara. Pergerakan air dan materi partikel-partikel batubara ditunjukkan dengan cara simulasi *stockpile* batubara tersebut dengan menggunakan intensitas hujan buatan. Air limpasan berupa lindi berpotensi mencemari sedimen dan badan perairan.

Uraian tersebut di atas, terlihat bahwa penelitian yang telah dilakukan baik berbentuk survey maupun percobaan kebanyakan berupa kandungan air asam dan kandungan logam berat baik itu di lahan tambang logam maupun lahan tambang dan *stockpile* batubara, disamping itu ada juga penelitian pengaruh kegiatan pertambangan terhadap perubahan struktur komunitas tumbuhan. Penelitian yang lain melakukan percobaan penurunan kandungan logam berat pada batubara dengan menggunakan metode elektrokoagulasi.

Kebaruan penelitian (*novelty*) ini adalah (1) Mengkaji banyaknya logam berat (Cu dan Pb) di ekokompartemen *stockpile* batubara (tanah dan air) (2) Mendesain proses perjalanan Cu dan Pb yang terlepas dari sumbernya berupa batubara hingga masuknya logam berat tersebut ke dalam media tanah dan air akibat pengaruh lingkungan berupa : intensitas hujan, lama hujan dan diameter batubara. (3) Proses terlepasnya logam berat dari batubara dan masuk ke dalam tanah dan ke luar berupa air lindi dan air limpasan, selanjutnya dibangun model persamaan sebagai alat prediksi akibat faktor-faktor lingkungan tersebut



Gambar 1.1. Kerangka Pemikiran