

Bidang Unggulan : Material

Kode>Nama Rumpun: 410/ Ilmu

LAPORAN
PENELITIAN FAKULTAS TEKNIK

**INVESTIGASI BAHAYA TOXISITAS ABU BATUBARA
PLTU ASAM-ASAM YANG DIGUNAKAN SEBAGAI
MATERIAL KONSTRUKSI**



PENELITI

Dr. Eng. Irfan Prasetya, S.T., M.T. 0026108501

Dr. Nopi Stiyati Prihatini, S.Si, M.T 0018118403

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT

OKTOBER 2016

HALAMAN PENGESAHAN

LAPORAN PENELITIAN FAKULTAS TEKNIK UNLAM

Judul Penelitian : Investigasi Bahaya Toksisitas Abu Batubara
PLTU Asam-Asam yang digunakan Sebagai Material
Konstruksi

Kode>Nama Rumpun Ilmu : 410/Ilmu Teknik

Ketua Peneliti

- a. Nama Lengkap : Dr. Eng. Irfan Prasetya, S.T., M.T.
- b. NIDN : 0026108501
- c. Jabatan Fungsional : Dosen/ Lektor
- d. Program Studi : Teknik sipil
- e. No Hp : 08115017165
- f. E-mail : prasetia.07@gmail.com

Anggota Peneliti (1)

- a. Nama Lengkap : Dr. Nopi Stiyati Prihatini, S.Si, M.T
- b. NIDN : 0018118403
- c. Perguruan Tinggi : Universitas Lambung Mangkurat Banjarmasin

Lama Penelitian Keseluruhan : 6 (enam) bulan

Biaya Penelitian Keseluruhan : Rp. 20.000.000,-

Biaya Tahun Berjalan : - Diusulkan ke DIKTI Rp.-
- Dana internal PT Rp. 20.000.000,-
- *Inkind*

Banjarmasin, November 2016

Menyetujui,
Dekan,




Dr. Ing. Yulian Firmana Arifin
NIP. 19750719 200003 1 001

Ketua Peneliti,



Dr. Eng Irfan Prasetya, ST. MT
NIP. 19851026 200812 1 001

**Ketua Lembaga Penelitian dan
Pengabdian Kepada Masyarakat**



Prof. Dr. Ir. H. Mochamad Arief Soendjoto, M.Sc
NIP. 19600623 198801 1 001

Ketua Prodi Teknik Sipil,



Ulfa Fitriati, S.T., M.Eng
NIP. 19810922 200501 2 003

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
DAFTAR ISI	ii
RINGKASAN	iii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Luaran dan Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Abu Terbang (Fly Ash)	5
2.2 Toksisitas Abu Batubara	7
2.3 LD50.....	8
BAB III METODE PENELITIAN	10
3.1 Rancangan Penelitian	10
3.2 Pengujian Toksisitas Abu Batubara.....	10
3.3 Bagan Alur Penelitian	10
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	12
4.1 Hasil Uji LD50 Abu Batubara.....	12
4.2 Hasil Uji Air Rendaman Beton dengan Abu Batubara	14
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	18
5.1 Kesimpulan.....	18
5.2 Saran.....	18
DAFTAR PUSTAKA	19

RINGKASAN

PLTU sektor asam-asam (PLTU asam-asam), yang berlokasi di Kabupaten Jorong Kalimantan selatan, menghasilkan limbah berupa abu batubara. Abu batubara (baik *fly ash* maupun *bottom ash*) telah banyak diteliti untuk dapat dimanfaatkan dalam dunia konstruksi maupun pertanian. Contoh pemanfaat abu batubara yang saat ini menjadi trend diantaranya adalah sebagai material pembuatan bata, stabilitas tanah, campuran semen, campuran pupuk tanaman, dll. Akan tetapi, dalam limbah abu batubara terdapat kandungan oksida logam berat yang dapat mencemari lingkungan. Hal ini mengakibatkan abu batubara dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) sesuai PP Nomor 101 Tahun 2014 tentang pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun. Maka diperlukan penanganan khusus agar limbah abu batubara ini tidak menimbulkan kerusakan lingkungan.

Oleh karena itu, penting kiranya untuk melakukan penelitian mengenai potensi dampak berbahaya yang mungkin ditimbulkan terhadap lingkungan maupun kesehatan manusia. Untuk tujuan tersebut, penelitian akan dilakukan dengan mengacu pada metode Uji Toksikologi LD50. Metode ini digunakan karena sesuai PP Nomor 101 Tahun 2014, Uji Toksikologi LD50 adalah salah satu metode uji yang dapat digunakan untuk menentukan limbah B3 beracun. Nilai Uji Toksikologi LD50 dihasilkan dari uji toksikologi, yaitu penentuan sifat akut limbah melalui uji hayati untuk mengukur hubungan dosis-respon antara limbah dengan kematian hewan uji. Nilai Uji Toksikologi LD50 diperoleh dari analisis probit terhadap hewan uji. Selain menggunakan Uji Toksikologi LD50, akan dilakukan pula uji kandungan logam yang terlarut dari beton dengan campuran abu batubara yang direndam didalam air.

Dari hasil Uji Toksikologi LD50 terlihat bahwa *fly ash* PLTU asam-asam tidaklah memiliki sifat toksisitas akut. Sehingga dapat dikatakan bahwa *fly ash* PLTU asam-asam tidak membahayakan lingkungan, kelangsungan hidup dan kesehatan makhluk hidup. Sedangkan untuk hasil pemeriksaan air rendaman beton dan batako *fly ash* terlihat bahwa semua sampel memiliki nilai pemeriksaan Kadmium (Cd) yang jauh diatas baku mutu air bersih. Akan tetapi, yang menarik adalah apabila dibandingkan dengan hasil pemeriksaan kandungan Cd dalam *fly ash* PLTU asam-asam yang berkisar 0,41 s.d 0,58 mg/l terlihat adanya penurunan kandungan Cd hingga dibawah 0,33 mg/l. Dari hasil ini terlihat bahwa beton dan batako memiliki kemampuan “immobilisasi” logam berat dari *fly ash* yang cukup baik sehingga dengan memanfaatkan *fly ash* sebagai material konstruksi khususnya beton dan batako dapat mencegah keluarnya logam berat dengan baik.

Berdasarkan dari hasil pengujian yang didapatkan, dapat direkomendasikan bahwa abu batubara PLTU asam-asam dapat dimanfaatkan sebagai material konstruksi terutama untuk pemanfaatannya sebagai Beton atau Batako. Selanjutnya, penelitian lanjutan seperti uji Sub-kronis dimana uji toksikologi sub-kronis dilakukan pada hewan uji mencit selama 90 (sembilan puluh) hari harus dilakukan untuk mengetahui apakah dalam waktu lama bahan beracun dan berbahaya yang terdapat pada abu batubara PLTU asam-asam dapat menyebabkan keracunan (toksisitas) pada makhluk hidup atau tidak. Selain itu, penelitian selanjutnya juga dapat dilakukan dengan mengetahui lebih lanjut kemampuan “immobilisasi” yang dimiliki oleh batako dan dapat pula meningkatkan kemampuan “immobilisasi” dari beton..

Kata kunci: *fly ash*, rawa, PLTU sektor asam-asam

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PLTU asam-asam menghasilkan limbah hasil pembakaran berupa abu batubara. Abu batubara tersebut merupakan limbah padat yang dihasilkan dari pembakaran batubara pada PLTU asam-asam. Ada dua jenis abu batubara yang dihasilkan dari pembakaran tersebut yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Perbedaan kedua jenis abu batubara tersebut terletak pada perbedaan berat partikelnya. *Fly ash* memiliki berat partikel yang sangat ringan dan halus, sehingga abu ini berterbangan di dalam pipa-pipa cerobong pembakaran yang kemudian tertangkap oleh electrostatic precipitator. Sedangkan *bottom ash* memiliki berat partikel yang sedikit lebih berat dan kasar dibandingkan dengan *fly ash* yang mengakibatkan abu ini langsung jatuh kebawah boiler. Secara kualitas, bila dibandingkan antara *fly ash* dengan *bottom ash*, maka *fly ash* memiliki kualitas yang lebih baik terutama untuk dimanfaatkan sebagai material konstruksi.

Abu batubara yang dihasilkan oleh PLTU asam-asam ini terdapat dalam jumlah yang sangat besar. Hal ini mengakibatkan pihak PLTU asam-asam mengalami kesulitan dalam hal pengelolaan limbah tersebut. Sampai saat ini, metode pengeloaan limbah yang utama digunakan oleh PLTU asam-asam ialah dengan menggunakan metode konvensional yaitu penumpukan abu batubara pada landfill yang telah disiapkan. Akan tetapi, metode ini tidak akan menyelesaikan masalah utama karena jumlah abu batubara yang semakin bertambah setiap harinya. Selain itu, karena terdapat kandungan oksida logam berat yang dapat mencemari lingkungan, abu batubara juga dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) sesuai PP Nomor 101 Tahun 2014 tentang pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun. Maka diperlukan penanganan khusus agar limbah abu batubara ini tidak menimbulkan kerusakan lingkungan.

Abu batubara (terutama *fly ash*) telah banyak diteliti untuk dapat dimanfaatkan dalam dunia konstruksi maupun pertanian. Penelitian-penelitian tersebut bertujuan untuk mengurangi penumpukan abu batubara di landfill dan menjadikannya suatu produk yang memiliki nilai manfaat yang tinggi serta berwawasan lingkungan. Salah satu bentuk pemanfaatan abu batubara yang berhasil dilakukan ialah pemanfaatan abu batubara sebagai bahan baku pembuatan bata (Liu, 2007), stabilitas tanah, portland pozzolanic cement, campuran pupuk tanaman, dll. Terutama dalam tinjauan abu batubara sebagai material stabilitas tanah,

merupakan potensi abu batubara yang bernilai sangat tinggi khususnya Kalimantan Selatan yang sebagian wilayahnya memiliki struktur tanah yang lunak.

Seperti yang diketahui bersama, sebagian dari hamparan dataran rendah di Kalimantan selatan, terutama di wilayah bagian barat, merupakan dataran rawa. Hal ini menimbulkan masalah tersendiri bagi pengembangan konstruksi di atasnya. Kandungan lempung/lanau pada tanah rawa mengakibatkan tanah tersebut menjadi tidak konsisten / labil terhadap pembebanan, sehingga mengakibatkan penurunan yang tajam apabila di kenai beban di atasnya (*instabilitas*). Oleh sebab itu perlu adanya *treatment* (perbaikan tanah) khusus pada lempung /lanau sebelum didirikan bangunan di atasnya. Juga diperlukan konstruksi khusus terutama pada bangunan bawah / *sub structure*. Perbaikan tanah bertujuan untuk meningkatkan kemampuan dukung tanah dalam menahan beban serta untuk meningkatkan kestabilan tanah.

Salah satu metode perbaikan tanah yang dapat dilakukan untuk daerah rawa di Kalimantan Selatan adalah dengan melakukan stabilitas tanah. Disinilah peranan pemanfaatan limbah abu batubara menjadi sangat signifikan dan bernilai tinggi khususnya untuk pengembangan infrastruktur di daerah rawa atau di daerah berstruktur tanah lunak di Kalimantan Selatan. Selain itu, tidak hanya bermanfaat sebagai material stabilitas tanah, abu batubara juga dapat digunakan sebagai material filler untuk reklamasi lahan, dan tidak menutup kemungkinan untuk lahan rawa.

Dilihat dari potensi yang dimiliki abu batubara PLTU asam-asam di Kalimantan Selatan dan juga karakteristik tanah sekitarnya yang merupakan lahan rawa, maka hal ini dirasakan menjadi sebuah solusi yang efektif yang saling menguntungkan dari segi pengelolaan limbah abu batubara PLTU asam-asam dan stabilisasi lahan rawa di Kalimantan Selatan. Selain itu, potensi pengolahan limbah batubara menjadi olahan industri seperti batubata, batako ringan, dan pupuk tanaman tentunya dapat dimanfaatkan sebagai suatu bentuk home industry yang dapat dijadikan sebagai mata pencaharian penduduk disekitar PLTU asam-asam. Sehingga, diharapkan hasil produksi ini dapat meningkatkan taraf hidup penduduk sekitar PLTU asam-asampada khususnya dan penduduk Kalimantan Selatan pada umumnya.

Akan tetapi, seperti yang disebutkan diatas, dalam limbah abu batubara terdapat kandungan oksida logam berat yang dapat mencemari lingkungan. Oleh karena itu, penting kiranya untuk melakukan penelitian mengenai tingkat toksitas abu batubara PLTU Asam-asam. Penelitian tersebut dapat memberikan gambaran mengenai potensi dampak berbahaya yang mungkin ditimbulkan terhadap lingkungan maupun kesehatan manusia apabila limbah

abu batubara digunakan sebagai material konstruksi. Selain itu, berdasarkan hasil penelitian sebelumnya dengan menggunakan uji TCLP, didapatkan bahwa abu batubara PLTU asam-asam diidentifikasi sebagai Limbah B3 kategori 2 karena memiliki kandungan Kadmium (Cd) yang melebihi baku mutu yang ditentukan dalam PP Nomor 101 Tahun 2014. Akan tetapi untuk kandungan logam berat lainnya seperti arsen dan timbal, nilainya sangatlah jauh lebih rendah dari baku mutu yang ditetapkan (Prasetia dan Prihatini, 2015).

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dirasa perlu untuk melakukan penelitian mengenai Investigasi Bahaya Toksisitas Abu Batubara PLTU Asam-Asam yang digunakan Sebagai Material Konstruksi. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan pengetahuan tentang pengaruh pemanfaatan abu batubara tersebut terhadap lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lain terutama dari segi pencemaran yang mungkin timbul akibat kandungan Kadmium dari abu batubara. Selain itu, dengan adanya penelitian ini dapat memberikan rekomendasi pemanfaatan abu batubara yang tidak hanya dapat memberikan solusi bagi manajemen pengelolaan limbah abu batubara PLTU asam-asam, tetapi juga dapat memberikan solusi masalah lingkungan yang ada dan dapat digunakan sebagai usaha yang dapat meningkatkan kehidupan ekonomi masyarakatnya.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun perumusan masalah yang terjadi adalah sebagai berikut:

- 1) Apakah terdapat dampak berbahaya terhadap lingkungan dan kesehatan manusia apabila limbah abu batubara PLTU asam-asam digunakan sebagai material konstruksi?
- 2) Apakah pemanfaatan limbah abu batubara PLTU asam-asam sebagai material beton dapat memobilisasi kandungan logam berat yang terkandung didalamnya sehingga tidak terlarut ke lingkungan melalui media cair?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian yang akan dicapai adalah sebagai berikut:

- 1) Mengetahui pola pengelolaan limbah abu batubara PLTU asam-asam.
- 2) Mengetahui pengaruh abu batubara PLTU asam-asam terhadap lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lain.
- 3) Memberikan rekomendasi pemanfaatan abu batubara PLTU asam-asam untuk mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan abu batubara, memberikan nilai guna dalam kehidupan dan lingkungan serta dapat memberikan peluang usaha bagi masyarakat sekitar.

1.4 Luaran dan Manfaat Penelitian

Adapun luaran dan manfaat penelitian adalah sebagai berikut:

- 1) Informasi penting mengenai pengaruh abu batubara PLTU asam-asam terhadap lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lain.
- 2) Rekomendasi pemanfaatan abu batubara PLTU asam-asam untuk mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan abu batubara, memberikan nilai guna dalam kehidupan dan lingkungan serta dapat memberikan peluang usaha bagi masyarakat sekitar.
- 3) Artikel ilmiah yang akan diterbitkan pada seminar dan jurnal ilmiah berskala nasional atau internasional.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Abu Terbang (Fly Ash)

Fly ash merupakan limbah yang dihasilkan dari pembakaran batu bara yang berupa partikel debu yang banyak mengandung silika dan bahan kimia lainnya. *Fly ash* termasuk material yang disebut dengan pozzolanic material karena *fly ash* mengandung bahan-bahan pozzolan yaitu : Besi Oksida (Fe_2O_3), Silica (SiO_2), Besi Oksida (Fe_2O_3), Magnesium Oksida (MgO), Aluminium Oksida (Al_2O_3), Kalsium Oksida (CaO), dan Sulfat (SO_4). Karakteristik dan kandungan dari *fly ash* tidaklah seragam. Hal ini dapat tergantung dari:

- Mutu dan jenis batu bara.
- Efesien pembakaran dan kehalusan serbuk batu bara.
- Dimensi tungku untuk membakar batu bara.
- Cara penangkapan *fly ash* dari pembakaran batu bara.

Sebagian besar *fly ash* dihasilkan dari sisa pembakaran Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). PLTU di Indonesia penghasil *fly ash* adalah 10 PLTU di Jawa dan 30 PLTU berada diluar pulau Jawa, dimana penyumbang terbesar diantaranya adalah :

- PLTU Paiton (Jawa Timur)
- PLTU Suryalaya (Banten)
- PLTU Bukit Tinggi (Sumatera)
- PLTU Asam-asam (Kalimantan Selatan)

Batubara merupakan bahan bakar utama yang digunakan oleh Perusahaan Pembangkit Listrik Negara (PLN) dan jumlah pemakain batubara sebagai bahan bakar pembangkit listrik terus meningkat setiap tahunnya. Dari data statistik ketenagalistrikan yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, penggunaan batubara sebagai bahan bakar pembangkit PLTU di Indonesia meningkat di Tahun 2014 menjadi sebesar 43.862.412 ton per tahun (Statistik Ketenagalistrikan 2014, 2015). Apabila dalam prosesnya, PLTU menghasilkan limbah berupa abu batubara sebesar 8% - 10%, artinya dalam tahun 2014 saja dihasilkan 4.386.241 ton limbah abu batubara.

Dengan jumlahnya yang sangat besar, *fly ash* dapat menyebabkan masalah pencemaran lingkungan dan gangguan kesehatan. Karena alasan tersebut maka banyak usaha telah dilakukan oleh para peneliti untuk memanfaatkan *fly ash* tersebut diantaranya untuk campuran beton dan perbaikan tanah. Penggunaan abu terbang sebagai bahan tambah pada

umur 28 hari dengan variasi 5% menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 33,9137 MPa, variasi 10% sebesar 35,3291 MPa, variasi 15% sebesar 36,1783 MPa, variasi 20% sebesar 36,8011 MPa dan variasi 25% sebesar 37,2541 MPa (I Wayan Suarnita, 2011). Kuat tekan beton optimum tanpa *fly ash* yang dapat dicapai sebesar 51,35 MPa dengan kadar *superplastisizer* sebesar 2%, dan slump sebesar 18,15 cm. Adapun Kuat tekan beton optimum dengan *fly ash* yang dapat dicapai sebesar 57,11 MPa dengan kadar *fly ash* 12 %, kadar *superplastisizer* 2 %, dan slump sebesar 14,95 cm. (As'at Pujiyanto, 2010)

Fly ash atau abu terbang yang merupakan sisa-sisa pembakaran batubara, yang dialirkan dari ruang *boiler* berupa semburan asap, yang telah digunakan sebagai bahan campuran pada beton. Abu terbang sendiri tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen. Tetapi dengan kehadiran air dan ukuran partikelnya yang halus, oksida silika yang dikandung oleh abu terbang akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat. Saat ini *fly ash* banyak dipakai untuk campuran beton, mengingat *fly ash* mengandung bahan pozzolan yaitu silikat dan aluminat serta sedikit unsur kalsium. Abu terbang sangat baik digunakan sebagai bahan pengikat pada campuran mortar karena bahan penyusun utamanya adalah alumunium (Al_2O_3), Silikon dioksida (SiO_2), dan Ferrum Oksida (Fe_2O_3). Dengan menggunakan abu terbang sebanyak 20%-30% dari berat semen akan dapat meningkatkan kuat tekan beton. Kuat tekan semen tipe *PCC* dengan penambahan *fly ash* semakin turun dengan semakin meningkatnya persentase penambahan *fly ash*. Nilai kuat tekan mortar dengan persentase penambahan *fly ash* 2, 4, dan 6% pada umur 28 hari dalam perendaman air laut berturut-turut 284, 276, dan 273 kg/cm^2 sedangkan dalam akuades 323, 315, dan 298 kg/cm^2 . Nilai kuat tekan mortar dengan persentase penambahan *fly ash* 2% yang direndam dalam air laut masih memenuhi SNI 15-7064-2004 yaitu 280 kg/cm^2 , sedangkan persentase 4 dan 6% tidak memenuhi SNI. Nilai pengukuran pH, *TSS*, *TDS* dan kesadahan total semakin naik dengan bertambahnya komposisi *fly ash* yang digunakan (Gifyul Refnita, Zamzibar Zuki, dan Yulizar Yusuf, 2012)

Dengan mengurangi penggunaan semen berarti dapat menurunkan biaya material beton. Beberapa kegunaan abu terbang yang lain adalah :

1. Penyusun beton untuk jalan dan bendungan
2. Penimbun lahan bekas pertambangan
3. Recovery magnetit, cenosphere, dan karbon
4. Bahan baku keramik, gelas, batu bata, dan refraktori

5. Bahan penggosok (polisher)
6. Filler aspal, plastik, dan kertas

2.2 Toksisitas Abu Batubara

Pada lampiran PP Nomor 101 Tahun 2014 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, yang merupakan perubahan dari PP No. 85 Tahun 1999, menyebutkan bahwa limbah abu batubara yang bersumber dari proses pembakaran batubara pada fasilitas pembangkitan listrik tenaga uap PLTU, boiler dan/atau tungku industri termasuk kedalam limbah B3 dari sumber spesifik khusus dengan kategori bahaya 2 sehingga dalam pemanfaatannya diperlukan pengujian. Dalam PP tersebut, limbah abu batubara hasil pembakaran PLTU terbagi kedalam dua jenis limbah B3 yaitu *Fly ash* dan *Bottom ash*.

Berdasarkan PP Nomor 101 Tahun 2014, suatu limbah B3 tergolong beracun apabila memiliki karakteristik beracun yang dapat dibuktikan berdasarkan uji penentuan karakteristik beracun melalui uji TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*), Uji Toksikologi LD50 (Lethal Dose 50), dan uji sub-kronis.

Memalui uji TCLP, limbah diidentifikasi sebagai Limbah B3 kategori 1 jika Limbah memiliki konsentrasi zat pencemar lebih besar dari baku mutu TCLP-A dan Limbah diidentifikasi sebagai Limbah B3 kategori 2 jika Limbah memiliki konsentrasi zat pencemar sama dengan atau lebih kecil dari baku mutu TCLP-A dan lebih besar dari baku mutu TCLP-B. Limbah abu batubara dapat ditetapkan sebagai limbah B3 apabila terdapat minimal satu parameter yang memiliki angka sama atau diatas nilai yang ditetapkan dalam lampiran tersebut. Tabel 2.1 menunjukkan parameter baku mutu TCLP-A dan TCLP-B yang dapat dilihat pada lampiran PP Nomor 101 Tahun 2014.

LD50 merupakan salah satu cara untuk mengukur potensi racun suatu bahan dalam waktu pendek, dimana konsentrasi kimia udara atau air limbah yang diujikan dapat menyebabkan kematian 50% dari kelompok hewan uji dalam jangka waktu tertentu (biasanya 48 – 96 jam) (<http://www.ccohs.ca>). Adapun uji Sub-kronis limbah B3 adalah uji limbah diidentifikasi sebagai Limbah B3 kategori 2 jika uji toksikologi sub-kronis pada hewan uji mencit selama 90 (sembilan puluh) hari menunjukkan sifat racun sub-kronis, berdasarkan hasil pengamatan terhadap pertumbuhan, akumulasi atau biokonsentrasi, studi perilaku respon antarindividu hewan uji, dan/atau histopatologis.

Tabel 2.1 Baku Mutu Karakteristik Beracun Melalui TCLP Untuk Penetapan Kategori Limbah B3

ZAT PENCEMAR	TCLP-A	TCLP-B
Satuan (berat kering)	(mg/L)	(mg/L)
PARAMETER WAJIB		
ANORGANIK		
Antimoni, Sb	6	1
Arsen, As	3	0,5
Barium, Ba	210	35
Berilium, Be	4	0,5
Boron, B	150	25
Kadmium, Cd	0,9	0,15
Krom valensi enam, Cr ⁶⁺	15	2,5
Tembaga, Cu	60	10
Timbal, Pb	3	0,5
Merkuri, Hg	0,3	0,05
Molibdenum, Mo	21	3,5
Nikel, Ni	21	3,5
Selenium, Se	3	0,5
Perak, Ag	40	5
<i>Tributyltin oxide</i>	0,4	0,05
Seng, Zn	300	50
ANION		
Klorida, Cl ⁻	75000	12500
Sianida (total), CN ⁻	21	3,5
Fluorida, F ⁻	450	75
Iodida, I ⁻	40	5
Nitrat, NO ₃ ⁻	15000	2500
Nitrit, NO ₂ ⁻	900	150

Sumber: Lampiran III PP RI No. 101 Tahun 2014

2.3 LD50

LD50 (*Lethal Dose 50*) adalah uji standar untuk toksisitas akut dalam satuan miligram (mg) per kilogram (kg) berat badan. Nilai LD50 menunjukkan dosis yang diperlukan untuk mematikan 50% kelompok hewan uji (misalnya, tikus, atau ikan) (<http://www.epa.gov/agriculture/ag101/pestlethal.html>). Adapun berdasarkan lampiran PP No. 101 Tahun 2014, Limbah diidentifikasi sebagai Limbah B3 dalam dua kategori. Limbah diidentifikasi sebagai Limbah B3 dalam kategori 1 jika memiliki nilai sama dengan atau lebih kecil dari Uji Toksikologi LD50 oral 7 (tujuh) hari dengan nilai lebih kecil atau sama dengan 50 mg/kg (lima puluh miligram per kilogram) berat badan pada hewan uji mencit. Sedangkan limbah diidentifikasi sebagai Limbah B3 kategori 2 jika memiliki nilai lebih besar dari Uji

Toksikologi LD50 oral 7 (tujuh) hari dengan nilai lebih kecil atau sama dengan 50 mg/kg (lima puluh miligram per kilogram) berat badan pada hewan uji mencit dan lebih kecil atau sama dari Uji Toksikologi LD50 oral 7 (tujuh) hari dengan nilai lebih kecil atau sama dengan 5000 mg/kg (lima ribu miligram per kilogram) berat badan pada hewan uji mencit.

Selain itu, berdasarakan Penjelasan PP No. 74 Tahun 2001 Pasal 5 Ayat 1 tentang Pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun, disebutkan bahwa suatu zat atau bahan kimia dinyatakan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) dengan nilai Uji Toksikologi LD50 kurang atau sama dengan 5.000 mg/kg berat badan hewan percobaan. Kriteria Toksisitas Akut LD50 berdasarkarkan PP tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.2. berikut.

Tabel 2.2 Kriteria Toksisitas Akut LD50

Kriteria Toksisitas Akut LD50	LD50 (mg/kg bb)
Amat sangat beracun (Extremely toxic)	≤ 1
Sangat beracun (Highly toxic)	1 – 50
Beracun (Moderately toxic)	51 – 500
Agak beracun (Slightly toxic)	501 – 5.000
Praktis tidak beracun (Practically non toxic)	5.001 – 15.000
Relatif tidak berbahaya (Relatively harmless)	≥ 15.000

BAB III

METODE PENELITIAN

Investigasi bahaya toksitas abu batubara PLTU asam-asam yang digunakan sebagai material konstruksi akan dilakukan dalam skala penelitian laboratorium. Hasil ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan tentang pengaruh pemanfaatan abu batubara tersebut terhadap lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lain.

3.1 Rancangan Penelitian

Pengujian bahaya toksitas abu batubara PLTU asam-asam ditargetkan untuk dapat diselesaikan sampai dengan bulan September 2016. Setelah selesai tahap penelitian, akan dilanjutkan dengan penulisan laporan selama satu bulan hingga bulan oktober 2016.

Sehubungan dengan abu batubara yang masih tergolong sebagai limbah B3 di Indonesia, maka penelitian toksitas abu batubara juga akan dilaksanakan secara menyeluruh untuk mengetahui pengaruh pemanfaatan abu batubara tersebut apakah membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lain. Kemudian, keseluruhan hasil penelitian ini akan dianalisa untuk menentukan potensi pemanfaatan dari abu batubara PLTU asam-asam untuk dimanfaatkan pada lahan rawa di daerah Kalimantan Selatan.

3.2 Pengujian Toksisitas Abu Batubara

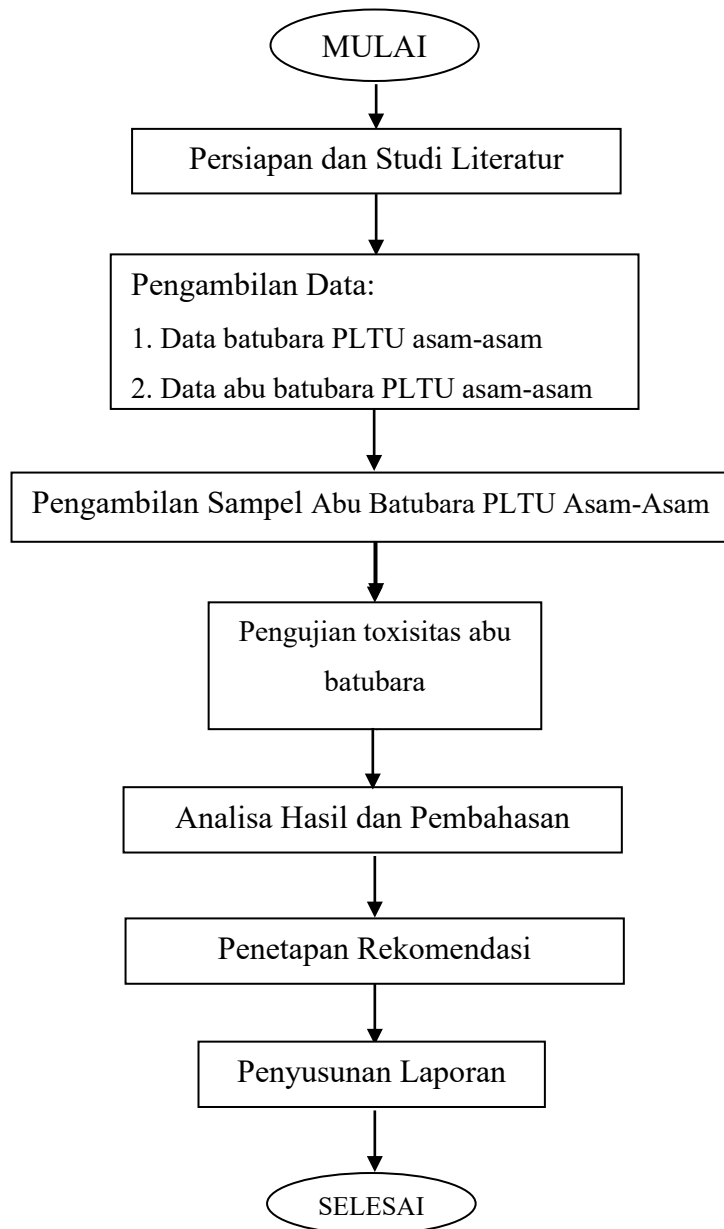
Untuk mengetahui pengaruh pemanfaatan abu batubara tersebut apakah membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lain, maka perlu untuk dilakukan pengujian toksitas abu batubara PLTU asam-asam. Analisa yang dilakukan ialah uji toksikologi dengan menggunakan uji karakteristik LD50. Adapun hewan uji yang digunakan adalah hewan uji mencit.

Selain menggunakan Uji Toksikologi LD50, akan dilakukan pula uji kandungan logam yang terlarut dari beton dengan campuran abu batubara yang direndam didalam air. Lama waktu perendaman adalah 56 hari. Pengujian dilakukan terhadap kandungan zat kimia yang terdapat dalam air rendaman. Akan diuji apakah terdapat kandungan logam berat yang terlarut dari abu batubara yang terdapat didalam beton kedalam air rendaman.

3.3 Bagan Alur Penelitian

Penelitian ini direncanakan dilakukan selama 6 bulan dengan target mendapatkan pengetahuan tentang pengaruh pemanfaatan abu batubara tersebut terhadap lingkungan hidup,

kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lain. Penelitian dimulai dari kegiatan persiapan dan studi literatur hingga penetapan rekomendasi pemanfaatan, penyusunan laporan akhir dan penulisan artikel ilmiah. Adapun prosedur penelitian secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 3.1. berikut ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Kegiatan Penelitian

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, pengujian bahaya toksitas abu batubara PLTU asam-asam dilakukan dengan menggunakan uji karakteristik LD50 dan juga uji larut kandungan logam dari beton dengan campuran abu batubara yang direndam didalam air selama 56 hari. Sampel abu batubara PLTU asam-asam yang diujikan yaitu abu terbang batubara PLTU asam-asam (*fly ash*) lama yang telah berada di landfill selama lebih dari 6 bulan. Berdasarkan penelitian sebelumnya, *fly ash* PLTU asam-asam dapat di klasifikasikan kedalam Kelas C (Mursadin, et. al, 2015). Hal ini dikarenakan kadungan SiO₂ yang rendah dibawah 50%. Selain itu, seperti yang telah disebutkan diatas, hasil analisa uji TCLP memperlihatkan bahwa kadmium (Cd) merupakan satu-satu parameter yang melampaui baku mutu PP No.101/ 2014 dari semua jenis sampel yang di uji (Prasetia dan Prihatini 2015). Faktanya, pembakaran bahan bakar fosil memang merupakan salah satu sumber antropogenik utama emisi Cd ke lingkungan. Oleh karena itu, penelitian kali ini difokuskan sebagai kelanjutan dari penelitian sebelumnya yang memiliki kekhawatiran terhadap kandungan cadmium yang terdapat didalam abu batubara PLTU asam-asam.

Pengujian sampel dilakukan dengan melakukan penelitian sampel di laboratorium. Dikarenakan keterbatasan peralatan dan bahan untuk melakukan uji LD50 dan analisa air rendaman beton *fly ash*, maka pengujian sampel tidak dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Univesitas Lambung Magkurat. Untuk pengujian LD50 dengan media mencit dilakukan di Laboratorium Fakultas Kedokteran Univesitas Lambung Magkurat. Sedangkan untuk pengujian air rendaman beton *fly ash* dilakukan di Laboratorium Kesehatan Kota Banjarmasin.

4.1 Hasil Uji LD50 Abu Batubara

Nilai LD50 menunjukan dosis yang diperlukan untuk mematikan 50% kelompok hewan uji tikus dengan memberikan sampel abu batubara PLTU asam-asam secara oral selama 7 (tujuh) hari. Berdasarkan lampiran PP No. 101 Tahun 2014, Limbah diidentifikasi sebagai Limbah B3 dalam dua kategori. Limbah diidentifikasi sebagai Limbah B3 dalam kategori 1 jika memiliki nilai sama dengan atau lebih kecil dari Uji Toksikologi LD50 oral 7 (tujuh) hari dengan nilai lebih kecil atau sama dengan 50 mg/kg (lima puluh miligram per kilogram) berat badan pada hewan uji mencit. Sedangkan limbah diidentifikasi sebagai Limbah B3 kategori 2 jika memiliki nilai lebih besar dari Uji Toksikologi LD50 oral 7 (tujuh) hari dengan nilai lebih kecil atau sama dengan 50 mg/kg (lima puluh miligram per kilogram)

berat badan pada hewan uji mencit dan lebih kecil atau sama dari Uji Toksikologi LD50 oral 7 (tujuh) hari dengan nilai lebih kecil atau sama dengan 5000 mg/kg (lima ribu miligram per kilogram) berat badan pada hewan uji mencit. Selain itu, berdasarkan penjelasan PP No. 74 Tahun 2001 Pasal 5 Ayat 1 tentang Pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun, disebutkan bahwa suatu zat atau bahan kimia dinyatakan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) dengan nilai Uji Toksikologi LD50 kurang atau sama dengan 5.000 mg/kg berat badan hewan percobaan.

Berdasarkan kedua aturan tersebut, maka Uji Toksikologi LD50 dilakukan dengan nilai 10.000 mg/kg berat badan pada hewan uji mencit. Dengan nilai tersebut maka berdasarkan penjelasan PP No. 74 Tahun 2001 sampel *fly ash* PLTU asam-asam dapat dikategorikan sebagai Praktis tidak beracun (Practically non toxic). Adapun jumlah mencit yang digunakan sebagai hewan uji berjumlah 30 ekor dengan lama waktu pengujian sesuai dengan lampiran PP No. 101 Tahun 2014 selama 7 (tujuh) hari. Gambar 4.1 menunjukkan proses pemberian sampel *fly ash* PLTU asam-asam secara oral kedalam tubuh hewan uji mencit.



Gambar 4.1 Pemberian Sampel Secara Oral Kedalam Tubuh Hewan Uji Mencit

Hasil pengujian Toksikologi LD50 yang dilakukan menunjukkan bahwa dengan pemberian dosis sampel sebesar 10.000 mg/kg berat badan hewan uji mencit selama 7 (tujuh) hari tidak didapati adanya hewan uji mencit yang mati. Hal ini menunjukkan bahwa berdasarkan Uji Toksikologi LD50 *fly ash* PLTU asam-asam tidaklah memiliki sifat toksisitas akut. Sehingga dapat dikatakan bahwa *fly ash* PLTU asam-asam tidak membahayakan lingkungan, kelangsungan hidup dan kesehatan makhluk hidup. Dengan hasil ini *fly ash* PLTU asam-asam dapat direkomendasikan sebagai material konstruksi.

Walaupun demikian, dikarenakan adanya kandungan kadmium pada *fly ash* PLTU asam-asam yang melewati ambang batas baku muku yang ditentukan berdasarkan PP Nomor 101 Tahun 2014, maka hal ini tetap harus menjadi perhatian. Hal ini dikarenakan, walaupun terpapar kadmium dalam jumlah yang sedikit, kadmium yang terakumulasi pada tubuh khususnya hati dan ginjal dalam jangka waktu panjang dapat berpengaruh terhadap gangguan kesehatan manusia. Menurut badan dunia FAO/WHO, konsumsi per minggu yang ditoleransikan bagi manusia adalah 400-500 µg per orang atau 7 µg per kg berat badan.

4.2 Hasil Uji Air Rendaman Beton dengan Abu Batubara

Selain untuk mengetahui bahaya racun yang mungkin ditimbulkan oleh *fly ash* PLTU asam-asam dengan Uji Toksikologi LD50, pengujian lain terhadap kemungkinan keluarnya logam berat dari beton dengan *fly ash* PLTU asam-asam juga dilakukan. Pada percobaan ini dilakukan uji air rendaman terhadap 3 kelompok sample beton dan 2 kelompok sampel batako. Adapun campuran masing-masing kelompok tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Job Mix Sampel Uji

No	Jenis Sampel	Nama Sampel	Jumlah	Dimensi (cm)	Faktor Air Semen	Rasio <i>fly ash</i>	Kuat Tekan Rencana
1	Beton	Mix 2	5	Silinder 15 x 30	35%	Pengganti semen 40%	20 Mpa
2		Mix 4	5	Silinder 15 x 30	50%	Pengganti semen 40%	20 Mpa
3		Mix 5	5	Silinder 15 x 30	50%	Tambahan semen 20%	20 Mpa
4	Batako	08/02/7	5		50%	Pengganti semen 20%	-
5		06/04/7	5		50%	Pengganti semen 40%	-

Pada penelitian, pembuatan semua sampel dilakukan di Laboratorium Struktur dan Material Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat. Untuk sampel beton dan batako, setelah dibuat, sampel tersebut didiamkan terlebih dahulu dalam cetakan selama ± 24 jam. Kemudian setelah dilepas dari cetakan, sampel direndam didalam cairan aquades selama 56 hari. Pada proses perendaman, semua sampel masing-masing sampel direndam didalam bak perendaman masing-masing sehingga dapat diketahui apakah terdapat pengaruh jumlah logam berat yang keluar dari sampel dengan banyaknya jumlah *fly ash* yang terdapat dalam campuran tersebut. Gambar 4.2 menunjukkan proses perendaman sampel.



Gambar 4.2 Proses Perendaman Sampel Untuk Penelitian Leachet Fly As

Setelah direndam didalam cairan aquades selama 56 hari, air rendaman masing-masing sampel kemudian diambil sebanyak ± 500 ml. Dikarenakan keterbatasan alat yang dimiliki oleh Laboratorium Struktur dan Material Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat, pengujian air rendaman beton dan batako *fly ash* dilakukan di Laboratorium Kesehatan Kota Banjarmasin. Adapun pemeriksaan dilakukan dengan metode uji Spektrofotometri dengan parameter uji adalah yaitu Arsen (As), Kadmium (Cd), Krom valensi enam (Cr^{6+}) dan Lead/ Timbal (Pb). Parameter tersebut diambil berdasarkan parameter analisa uji TCLP penelitian sebelumnya dengan nilai hasil uji yang cukup besar atau terhadap parameter logam berat yang dianggap paling berbahaya.

Hasil pengujian air rendaman beton dan batako *fly ash* dengan metode uji Spektrofotometri dapat dilihat pada **Error! Reference source not found.** Berdasarkan Permenkes RI No. 416/MENKES/PER/IX/1990 tentang Syarat-Syarat dan Pengawasan Kualitas Air Bersih didapatkan nilai kadar maksimum logam berat Arsen (As), Kadmium (Cd), Krom valensi enam (Cr^{6+}) dan Lead/ Timbal (Pb) yang terkandung dalam air bersih adalah sebagai berikut:

1. Arsen (As) = 0.050 mg/l
2. Kadmium (Cd) = 0.005 mg/l
3. Krom valensi enam (Cr^{6+}) = 0.050 mg/l

4. Lead/ Timbal (Pb) = 0.050 mg/l

Dari hasil pemeriksaan air rendaman beton dan batako *fly ash* terlihat bahwa semua sampel memiliki nilai pemeriksaan Kadmium (Cd) yang jauh diatas baku mutu air bersih. Akan tetapi, yang menarik adalah apabila dibandingkan dengan hasil pemeriksaan kandungan Cd dalam *fly ash* PLTU asam-asam yang berkisar 0,41 s.d 0.58 mg/l terlihat adanya penurunan kandungan Cd hingga dibawah 0,33 mg/l. Hal ini berarti bahwa dengan memanfaatkan *fly ash* sebagai material konstruksi khususnya beton dan batako dapat mencegah keluarnya logam berat dengan baik.

Tabel 4.2 Hasil pengujian air rendaman beton dan batako *fly ash* dengan metode uji Spektrofotometri

No	Sampel	Hasil Pemeriksaan (mg/l)			
		Arsen (As)	Kadmium (Cd)	Krom val.6 (Cr ⁶⁺)	Timbal (Pb)
1	Mix 2	0,001	0,331	0,066	0,090
2	Mix 4	0,001	0,302	0,0073	0,070
3	Mix 5	0,001	0,201	0,040	0,070
4	08/02/7	0,001	0,043	0,040	0,050
5	06/04/7	0,001	0,044	0,052	0,110

Beton dan batako yang adalah material komposit dapat membuat bahan-bahan campurannya, termasuk *fly ash* dan logam berat yang dikandungnya, menjadi padat. Peranan “*immobilisasi*” logam berat dari *fly ash* tidak terlepas dari pengaruh penurunan angka pori beton/batako yang diberikan oleh *fly ash*. Dalam campuran beton, *fly ash* dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida (CH) yang merupakan produk sampingan dari reaksi kimia air dengan semen. Dengan berekasinya CH dengan *fly ash* akan mengurangi angka pori dalam beton karena CH memiliki pori-pori yang besar. Selain itu, hasil reaksi kimia CH dengan *fly ash* akan menghasilkan kalsium silikat hidrat (CSH) yang dapat menambah kekuatan beton dan dapat mengisi/ menutup pori-pori beton. Dengan efek tersebut membuat perpindahan ion/ kandungan kimia dalam beton menjadi terbatas. Inilah yang menjadi efek “*immobilisasi*” logam berat dari *fly ash*.

Dari beberapa sampel yang ada hal lain yang menarik untuk diamati adalah perbandingan jumlah *fly ash* yang terkandung didalam beton atau batako dengan jumlah kandungan logam berat yang terdeteksi larut dalam air rendaman. Secara umum, jumlah kadar logam berat yang terlarut dalam air rendaman adalah sama berbanding lurus dengan banyaknya rasio *fly ash* dalam sampel tersebut. Hasil pemeriksaan juga meindikasikan bahwa batako memiliki kemampuan “*immobilisasi*” Cd lebih baik dibandingkan dengan beton.

Hasil penelitian ini, tentunya dapat dijadikan dasar untuk penelitian selanjutnya. Penelitian lanjutan seperti uji Sub-kronis dimana uji toksikologi sub-kronis dilakukan pada hewan uji mencit selama 90 (sembilan puluh) harus dilakukan untuk mengetahui apakah dalam waktu lama bahan beracun dan berbahaya yang terdapat pada abu batubara PLTU asam-asam dapat menyebabkan keracunan (toksisitas) pada makhluk hidup atau tidak. Selain itu, penelitian selanjutnya juga dapat dilakukan dengan mengetahui lebih lanjut kemampuan “*immobilisasi*” yang dimiliki oleh batako dan dapat pula meningkatkan kemampuan “*immobilisasi*” dari beton.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan terhadap abu batubara PLTU asam-asam, ada beberapa point penting yang dapat kita ambil sebagai kesimpulan yaitu:

1. Hasil Uji Toksikologi LD50 fly ash PLTU asam-asam tidaklah memiliki sifat toksisitas akut. Sehingga dapat dikatakan bahwa fly ash PLTU asam-asam tidak membahayakan lingkungan, kelangsungan hidup dan kesehatan makhluk hidup.
2. Hasil pemeriksaan air rendaman beton dan batako fly ash terlihat bahwa semua sampel memiliki nilai pemeriksaan Kadmium (Cd) yang jauh diatas baku mutu air bersih. Akan tetapi, yang menarik adalah apabila dibandingkan dengan hasil pemeriksaan kandungan Cd dalam fly ash PLTU asam-asam yang berkisar 0,41 s.d 0.58 mg/l terlihat adanya penurunan kandungan Cd hingga dibawah 0,33 mg/l.
3. Beton dan batako memiliki kemampuan “immobilisasi” logam berat dari fly yang cukup baik sehingga dengan memanfaatkan fly ash sebagai material konstruksi khususnya beton dan batako dapat mencegah keluarnya logam berat dengan baik.

5.2 Saran

Berdasarkan dari hasil pengujian yang didapatkan, dapat direkomendasikan bahwa abu batubara PLTU asam-asam dapat dimanfaatkan sebagai material konstruksi terutama untuk pemanfaatannya sebagai Beton atau Batako. Selanjutnya, penelitian lanjutan seperti uji Sub-kronis dimana uji toksikologi sub-kronis dilakukan pada hewan uji mencit selama 90 (sembilan puluh) harus dilakukan untuk mengetahui apakah dalam waktu lama bahan beracun dan berbahaya yang terdapat pada abu batubara PLTU asam-asam dapat menyebabkan keracunan (toksisitas) pada makhluk hidup atau tidak. Selain itu, penelitian selanjutnya juga dapat dilakukan dengan mengetahui lebih lanjut kemampuan “immobilisasi” yang dimiliki oleh batako dan dapat pula meningkatkan kemampuan “immobilisasi” dari beton.

DAFTAR PUSTAKA

- As'at Pujiyanto, 2010. *Beton Mutu Tinggi Dengan Bahan Tambah Superplastisizer dan Fly Ash*, Jurnal Ilmiah Semesta Teknik Vol. 13, No. 2, 171-180.
- Anonimous. 2015. Statistik Ketenagalistrikan 2014. Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Kementerian ESDM. Jakarta.
- Anonimous. LD50. (<http://www.epa.gov/agriculture/ag101/pestlethal.html>)
- Anonimous. 2004. 'What is an LD50 & LC50?', Canadian Center for Occupational Health & Safety (CCOHS). (<http://www.ccohs.ca>)
- Gifyul Refnita, Zamzibar Zuki, dan Yulizar Yusuf, 2012. *Pengaruh Penambahan Abu Terbang (Fly Ash) Terhadap Kuat Tekan Mortar Semen Tipe PCC Serta Analisis Air Laut yang Digunakan Untuk Perendaman*, Jurnal Kimia Unand, Volume 1 Nomor 1, November 2012
- Henry Liu, Use o Fly Ash to Make Bricks, Question & Answer, 2007
- I Wayan Suarnita. 2011. *Kuat Tekan Beton dengan Aditif Fly Ash Ex. PLTU Mpanau Tavaeli*, Jurnal Smartek, Vol. 9 No. 1. Pebruari 2011: 1 – 1
- Mursadin, A., Prasetya, I. dan Riswan. 2015. *Uji Karakteristik Abu Batubara PLTU Asam-Asam Sebagai Material Konstruksi*. Temu Ilmiah Tahunan II Rekayasa Sipil PSMTS UNLAM. Banjarmasin.
- Prasetya, I. dan Prihatini, N., S. 2015. *Tingkat Toksisitas Abu Batubara PLTU Asam-Asam*. Temu Ilmiah Tahunan II Rekayasa Sipil PSMTS UNLAM. Banjarmasin.