



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT

Jl. Brigjen H. Hasan Basry Kotak Pos 219 Banjarmasin 70123

Telp/Fax : 3304177-3304195

Laman : <https://ulm.ac.id/>

KEPUTUSAN REKTOR UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
NOMOR 701 /UN8/PP/2020

TENTANG

PENETAPAN PELAKSANA PENELITIAN DOSEN WAJIB MENELITI DENGAN
SKEMA PEMBIAYAAN PNBP UNIVERSITAS di LINGKUNGAN UNIVERSITAS
LAMBUNG MANGKURAT TAHUN ANGGARAN 2020

REKTOR UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT,

- Menimbang : a. bahwa dalam rangka meningkatkan minat dan produktivitas Tenaga Pendidik (Dosen) di lingkungan Universitas Lambung Mangkurat dalam melaksanakan penelitian, perlu diberikan stimulus berupa pemberian bantuan dana penelitian "Dosen wajib meneliti" dengan skema pembiayaan Penerimaan Negara Bukan Pajak (PNBP) Universitas Lambung Mangkurat;
- b. bahwa pemberian bantuan dana penelitian dosen wajib meneliti dengan skema pembiayaan PNBPN dilaksanakan sesuai ketentuan Peraturan Menteri Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Nomor 69 Tahun 2016 tentang Pedoman Pembentukan Komite Penilaian dan/atau Reviewer dan Tata Cara Pelaksanaan Penilaian Penelitian Dengan Menggunakan Standar Biaya Keluaran;
- c. bahwa berdasarkan pertimbangan pada huruf a dan huruf b di atas, perlu ditetapkan dalam Keputusan Rektor.
- Mengingat : 1. Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2002 tentang Sistem Nasional Penelitian, Pengembangan, dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2002 Nomor 84, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4219);
2. Undang-Undang Nomor 12 Tahun 2012 tentang Pendidikan Tinggi (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2012 Nomor 158, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5336);
3. Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1960 tentang Pendirian Universitas Lambung Mangkurat (Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 2071);
4. Peraturan Pemerintah Nomor 4 Tahun 2014 tentang Penyelenggaraan Pendidikan Tinggi dan Pengelolaan Perguruan Tinggi (Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5500);

5. Peraturan Menteri Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi RI Nomor 42 Tahun 2015 tentang Organisasi dan Tata Kerja Universitas Lambung Mangkurat (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 2078) yang telah dirubah dan ditambah dengan Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi RI Nomor 11 Tahun 2018 (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2018 Nomor 474);
6. Peraturan Menteri Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Nomor 69 Tahun 2016 tentang Pedoman Pembentukan Komite Penilaian dan/atau Reviewer dan Tata Cara Pelaksanaan Penilaian Penelitian Dengan Menggunakan Standar Biaya Keluaran (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2016 Nomor 1607);
7. Peraturan Menteri Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi RI Nomor 47 Tahun 2018 tentang Statuta Universitas Lambung Mangkurat (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2018 Nomor 1385);
8. Keputusan Menteri Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Nomor 533/M/KPT.KP/2018 tentang Pemberhentian Rektor Universitas Lambung Mangkurat Periode 2014-2018 dan Pengangkatan Rektor Universitas Lambung Mangkurat periode 2018-2022.

- Memperhatikan :
1. Surat Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Nomor 27/UN8.2/PG/2020, tanggal 23 Maret 2020, perihal Usulan Penetapan Pelaksana Penelitian Dosen wajib meneliti Sumberdana PNBPU LM TA 2020;
 2. Surat Rekomendasi Reviewer Proposal Nomor 25/UN8.2/PG/2020 perihal hasil evaluasi/penilaian terhadap proposal penelitian;
 3. Peraturan Menteri Keuangan RI Nomor 127/PMK.02/2019 tentang Standar Biaya Keluaran Tahun Anggaran 2020.

MEMUTUSKAN:

Menetapkan : KEPUTUSAN REKTOR UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT TENTANG PENETAPAN PELAKSANA PENELITIAN DOSEN WAJIB MENELITI DENGAN SKEMA PEMBIAYAAN PNBPU UNIVERSITAS di LINGKUNGAN UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT TAHUN ANGGARAN 2020.

KESATU : Memberikan bantuan dana penelitian dosen wajib meneliti dengan skema pembiayaan Penerimaan Negara Bukan Pajak (PNBP) Universitas Lambung Mangkurat Tahun Anggaran 2020 kepada Tenaga Pendidik (Dosen/Peneliti) yang namanya sebagaimana Lampiran yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari Keputusan Rektor ini.

- KEDUA : Pemberian bantuan dana dilakukan dengan tahapan:
- 70% dibayarkan setelah penandatanganan perjanjian antara Tenaga Pendidik (Dosen/Peneliti) dan Ketua LPPM Universitas Lambung Mangkurat;
 - 30% dibayar setelah Tenaga Pendidik (Dosen/Peneliti) melaporkan keluaran yang dibuktikan dengan Berita Acara dari Komite dan/atau *Reviewer* Keluaran melalui LPPM.
- KETIGA : Tenaga Pendidik (Peneliti) wajib untuk:
- melaksanakan segala ketentuan sesuai perjanjian;
 - menatausahakan dan menyimpan bukti-bukti pengeluaran atau dengan mengisi buku harian (*log book*) kegiatan penelitian;
 - memenuhi ketentuan perpajakan sesuai ketentuan yang berlaku.
 - mengembalikan dana penelitian apabila tidak melaksanakan kewajiban sebagaimana diatur dalam perjanjian.
- KEEMPAT : Segala biaya yang timbul akibat dilaksanakannya keputusan ini, dibebankan pada dana DIPA Universitas Lambung Mangkurat Revisi ke-01 Petikan Tahun Anggaran 2020 Nomor: SP DIPA-023.17.2.6777518/2020 tanggal 16 Maret 2020 pada output penelitian (4257-011.001.053A), Akun 521219.
- KELIMA : Keputusan Rektor ini berlaku sejak tanggal ditetapkan.

Ditetapkan di Banjarmasin
pada tanggal 1 April 2020

REKTOR UNIVERSITAS LAMBUNG
MANGKURAT,



SUTARTO HADIA
NIP. 196603311991021001

LAMPIRAN
 KEPUTUSAN REKTOR UNIVERSITAS LAMBUNG
 MANGKURAT
 NOMOR 701 /UN8/PP/2020
 TANGGAL 1 APRIL 2020
 TENTANG
 PENETAPAN PELAKSANA PENELITIAN DOSEN
 WAJIB MENELITI DENGAN SKEMA PEMBIAYAAN
 PNBP UNIVERSITAS di LINGKUNGAN UNIVERSITAS
 LAMBUNG MANGKURAT TAHUN ANGGARAN 2020

DAFTAR PELAKSANA PENELITIAN DOSEN WAJIB MENELITI TAHUN 2020

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Fakultas	Nilai Bantuan (Rp)	Sumber Dana
1	2	3	4	5	6
1	Mahrudin, S.Pd., M.Pd. Riya Iriyanti, S.Pd., M.Pd.	Pengembangan Buku Ilmiah Populer Berbasis Hasil Penelitian "Keragaman Ikan Familia <i>Cyprinidea</i> di Sungai Negara Kecamatan Daha Utara" Sebagai Pengayaan Konsep Pices (Ikan) Mata Kuliah Zoologi Vertebrata	FKIP	24.805.000,00	PNBP
2	Edlin Yanuar Nugraheni, S.Sn., M.Sn. Sri Hidayah, M.Sc.	Seni Tradisi Banjar : Modal Budaya Membangun Karakter Bangsa Melalui Rekonstruksi Kreatif dan Dekonstruksi Kritis di Kota Banjarmasin Kalimantan Selatan	FKIP	30.925.000,00	PNBP
3	Edwin Wahyu dirgantoro, S.Or., M.Pd. Lazuardy Akbar Fauzan, S.Pd., M.Pd.	Implementasi Papan Visual Untuk Mengetahui Tingkat Kebugaran Jasmani pada Masyarakat Pesisir Pantai Batu Licin Kalimantan Selatan	FKIP	27.150.000,00	PNBP
4	Dr. Mashud, S.Pd., M.Pd. Drs. Said Abdillah, M.Pd.	<i>School Physical Literacy In Wetland Environment</i>	FKIP	22.500.000,00	PNBP

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Fakultas	Nilai Bantuan (Rp)	Sumber dana
1	2	3	4	5	6
310	Ir. Fauzi Rahman, M.T. Gawit Hidayat, S.T., M.T.	Studi Pemanfaatan Abu Terbang Limbah Hasil Pembakaran Campuran Cangkang dan Serabut Kelapa Sawit Sebagai Substitusi Semen Pada Pembuatan Beton Normal di Lahan Basah	Teknik	21.115.000,00	PNBP
311	Dr. Iphan Fitriani Radam, S.T., M.T. Dr. Ing. Puguh Budi Prakoso, S.T., M.Sc.	Sensitifitas Tarif Parkir Progresif Pada Pusat Pembelanjaan Moder	Teknik	25.500.000,00	PNBP
312	Hesti Wijayanti, S.T., M.Eng., Ph.D. Dr. Abubakar Tuhuloula, S.T., M.T.	Upgrading Batubara Kualitas Rendah (Lignite) Kalsel Melalui Katalitik Pirolisis dengan Kantong Plastik Berbahan Polietilen	Teknik	38.000.000,00	PNBP
313	Ir. Ida Barkiah, M.T. Arya Rizki Darmawan, S.T., M.T.	Perilaku Geometri Struktur Baja Berbobot Ringan dan Berkekuatan Tinggi (Castellated Beam) Untuk Tanah Lunak Khususnya di Kalsel	Teknik	31.500.000,00	PNBP
314	Prof. Dr. Iryanti Fatyasari Nata, S.T., M.T. Rinny Jelita, S.T., M.Eng.	Pengaruh Suhu Terhadap Karakteristik Bio-Oil dan Briket Produk Pirolisis Cangkang Kelapa Sawit : Studi Kasus Kinetika dan Termodinamika	Teknik	42.439.000,00	PNBP
315	Dr. Bani Noor Muchamad, S.T., M.T. J.C.Heldiansyah, S.T., M.Sc. Naimatul Aufa, S.T., M.Sc.	Pengembangan Basis Data Spasial Sempadan Sungai Sebagai Upaya Meningkatkan Ketahanan Terhadap Bencana Banjir dan Kebakaran di Kota Banjarmasin	Teknik	39.250.000,00	PNBP
316	Dr. Eng. Irfan Prasetya, M.T. Dr. Ir Rustam Effendi, M.A.Sc. Ade Yuniarti P, Ph.D.	Kajian Pemanfaatan Limbah Industri Sebagai Material Stabilisasi Tanah Lunak	Teknik	36.115.000,00	PNBP
317	Yuniar Siska Novianti, S.T., M.T. Romla Noor Hakim, S.T., M.T. Nurhakim, S.T., M.T.	Lingkungan Pengendapan dan Karakteristik Batubara Pada Formasi Warukin Kalsel, Indonesia	Teknik	34.750.000,00	PNBP
318	Dr.Ing. Yulian Firmana Arifin, S.T., M.T. Muhammad Arsyad, S.T., M.T.	Campuran Claystone dan Bentonit Sebagai Lapisan Mineral Pada Tpa Sampah di Lahan Basah	Teknik	40.057.500,00	PNBP

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Fakultas	Nilai Bantuan (Rp)	Sumber Dana
1	2	3	4	5	6
366	Aulia Azizah, S.K.M., M.P.H. drg. Selviana Rizky Pramitha	Faktor Risiko <i>angular cheilitis</i> di RSGM Gusti Hasan Aman Banjarmasin Tahun 2019	FKG	16.000.000,00	PNBP

Ditetapkan di Banjarmasin

REKTOR UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT,



[Handwritten signature]

SUTARTO HADI

NIP 196603311991021001

Bidang Unggulan: Lahan Basah/Material Maju

Kode/Rumpun Ilmu: 421/Teknik Sipil

**LAPORAN AKHIR
PENELITIAN DASAR UNGGULAN PERGURUAN TINGGI**



**KAJIAN PEMANFAATAN LIMBAH INDUSTRI SEBAGAI
MATERIAL STABILISASI TANAH LUNAK**

Dibiayai oleh:

DIPA Universitas Lambung Mangkurat Tahun Anggaran 2020

Nomor: 023.17.2.6777518/2020 tanggal 16 Maret 2020;

Universitas Lambung Mangkurat

Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan

Sesuai dengan SK Rektor Universitas Lambung Mangkurat Nomor: 701/UN8/PP/2020

Tanggal 1 April 2020

PENELITI

Dr. Eng. Irfan Prasetya, ST., M.T NIDN 0026108501

Dr. Ir. Rustam Effendi, M.A.Sc. NIDN 0026046203

Ade Yuniati Pratiwi, ST., M.Sc., Ph.D. NIDK 8828723420

**LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
NOVEMBER 2020**

HALAMAN PENGESAHAN
LAPORAN AKHIR PENELITIAN DASAR UNGGULAN
PERGURUAN TINGGI ULM

JUDUL PENELITIAN : Kajian Pemanfaatan Limbah Industri Sebagai Material Stabilisasi Tanah Lunak

Kode/Rumpun Bidang Ilmu : 421/Teknik Sipil

Ketua Peneliti

a. Nama : Dr. Eng. Irfan Prasetya, ST., M.T

b. NIDN : 0026108501

c. Jabatan Fungsional : Lektor

d. Program Studi : Teknik Sipil

e. Nomor HP : 08115017165

f. Email : iprasetya@ulm.ac.id

Anggota Peneliti 1 (Dosen)

a. Nama : Dr. Ir. Rustam Effendi, M.A.Sc.

b. NIDN : 0026046203

c. Perguruan Tinggi : Universitas Lambung Mangkurat

Anggota Peneliti 2 (Dosen)

a. Nama : Ade Yuniati Pratiwi, ST., M.Sc., Ph.D.

b. Perguruan Tinggi : Universitas Lambung Mangkurat

Mahasiswa : Norminawati Dewi

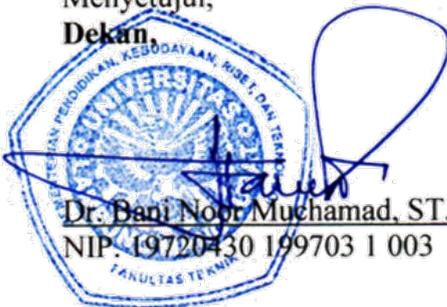
Lama Penelitian : 6 (enam) bulan

Biaya Penelitian Keseluruhan : Rp. 36.115.000,-

Biaya Tahun Berjalan : - Diusulkan ke DIKTI Rp.-
- Dana internal PT Rp. 36.115.000,-

Banjarmasin, 27 November 2020

Menyetujui,
Dekan,

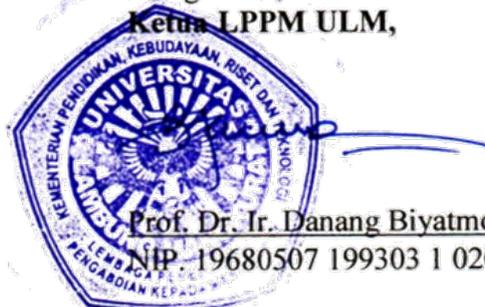


Dr. Bani Noor Muchamad, ST., MT.
NIP. 19720430 199703 1 003

Ketua Peneliti,

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

Mengetahui,
Ketua LPPM ULM,



Prof. Dr. Ir. Danang Biyatmoko, M.Si
NIP. 19680507 199303 1 020

DAFTAR ISI

Lembar Sampul	1
Halaman Pengesahan	2
Daftar Isi	3
Abstrak	4
I. Latar Belakang	5
II. Tinjauan Pustaka	7
III. Metode Penelitian	11
IV. Hasil Penelitian	15
V. Penutup	24
Daftar Pustaka	25

ABSTRAK

Batu bara sebagai bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah salah satu potensi mineral yang banyak ditemukan di daerah Kalimantan. Bertambahnya pembangunan pembangkit listrik berbahan bakar batu bara tersebut seyogyanya akan memberikan dampak yang positif bagi masyarakat yaitu peningkatan kapasitas pembangkit listrik sehingga akan semakin banyak rumah-rumah penduduk yang dapat dialiri listrik. Akan tetapi, pembangkit listrik berbahan bakar batu bara juga memunculkan masalah. Masalah yang muncul dari pembangkit listrik berbahan bakar batu bara adalah limbah industrinya, yaitu abu terbang (*fly ash*). Hanya saja untuk mengurangi jumlahnya yang terus bertambah, limbah industri ini harus segera dimanfaatkan diberbagai sektor. Pemanfaatan limbah batu bara pada tanah lunak sangat berpotensi contohnya dengan menambahkan *fly ash* dan semen sebagai *stabilizing agent* terbukti dapat meningkatkan nilai *Bearing Ratio* tanah. Hanya saja informasi pemanfaatan limbah batu bara sebagai *stabilizing agent* belumlah dapat diketahui sepenuhnya. Hal ini dikarenakan masih kurangnya penelitian yang dilakukan terhadap pemanfaatan limbah batu bara untuk stabilisasi tanah lunak. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penelitian mengenai stabilisasi tanah lunak dengan menggunakan limbah batu bara dalam hal ini campuran *fly ash* dirasa sangat perlu untuk dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pencampuran *fly ash* dan campuran *fly ash* dengan semen dalam menstabilisasi tanah lunak, mengetahui karakteristik campuran, dan mengetahui persentase optimum campuran.

Pengambilan sampel tanah lunak dan jenuh air dilakukan pada Tanah di Kampus ULM Banjarmasin, Kalimantan Selatan. Pengambilan sampel dilaksanakan di 1 titik lokasi untuk keseragaman sampel. Adapun pengujian dilakukan pada Laboratorium Mekanika Tanah dalam kondisi sebelum pemberian *stabilizing agent* maupun setelah penambahan. Pengolahan data difokuskan pada uji *California Bearing Ratio* (CBR) untuk melihat peningkatan nilai CBR tanah setelah distabilisasi.

Data hasil pengujian menunjukkan hasil yang cukup memuaskan, dimana *fly ash* memiliki pengaruh terhadap nilai CBR tanah dasar. Semakin meningkat komposisi tambahan *fly ash*, maka nilai CBR tanah akan semakin tinggi, hingga bisa dikategorikan sebagai tanah dasar kategori sedang. Adapun kombinasi *fly ash* dengan semen akan lebih signifikan dalam meningkatkan nilai CBR tanah. Hasil ini dikonfirmasi dari hasil nilai CBR sampel dengan menggunakan semen saja, dimana nilai CBR sampel semen lebih redah dibandingkan dengan nilai CBR sampel semen dengan *fly ash* dengan perbedaan hingga kurang lebih 15%. Untuk penelitian selanjutnya, seperti yang ditunjukkan pada hasil yang didapatkan, trend peningkatan nilai CBR berbanding lurus dengan peningkatan komposisi *fly ash*, sehingga belum diketahui dengan pasti komposisi penambahan *fly ash* yang optimum. Selain itu, perlu juga diteliti lebih lanjut mengenai komposisi semen yang ideal bila dibandingkan dengan biaya stabilisasi yang dilakukan. Kemudian untuk memahami lebih lanjut mengenai mekanisme kimia pada variasi sampel yang diujikan, pengujian dengan menggunakan alat SEM-EDS perlu untuk dilakukan.

Kata Kunci: stabilisasi, tanah, lunak, *fly ash*, semen

I. Latar Belakang

Batu bara sebagai bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah salah satu potensi mineral yang banyak ditemukan di daerah Kalimantan. Kalimantan sendiri memiliki pembangkit listrik berbahan bakar batu bara yang dikelola baik oleh PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN) maupun pihak swasta. Pembangkit listrik yang dikelola oleh PT. PLN diantaranya adalah PLTU Embalut di Kalimantan Timur, PLTU Asam-Asam di Kalimantan Selatan, PLTU Pulang Pisau di Kalimantan Tengah, dan PLTU di Kalimantan Barat. Selain PLTU tersebut terdapat pula unit lain yang akan dikembangkan oleh PT. PLN dan juga PLTU yang dikelola oleh swasta.

Bertambahnya pembangunan pembangkit listrik berbahan bakar batu bara tersebut seyogyanya akan memberikan dampak yang positif bagi masyarakat yaitu meningkatkan jumlah rumah-rumah penduduk yang dapat dialiri listrik. Seperti peningkatkan kualitas kehidupan masyarakat dan bahkan dapat pula untuk meningkatkan taraf hidup masyarakat. Akan tetapi, pembangkit listrik berbahan bakar batu bara juga memunculkan masalah. Salah satu masalah yang muncul dari pembangkit listrik berbahan bakar batu bara adalah limbah industrinya, yaitu abu terbang (fly ash). Sebagai contoh, PLTU Asam-asam menghasilkan setidaknya 26.400 ton abu batu bara setiap tahunnya (Yanuar & Umar, 2015). Adapun metode utama pengelolaan limbah oleh PLTU Asam-asam adalah secara konvensional menumpuk limbah batu bara pada landfill yang telah disiapkan. Sehingga, metode ini tidak akan menyelesaikan masalah utama karena jumlah limbah batu bara yang semakin meningkat. Padahal berdasarkan PP No.101 tahun 2014, limbah batu bara seperti fly ash dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) (Republik Indonesia, 2014).

Pemanfaatan fly ash sebenarnya sudah cukup banyak diteliti. Salah satu contoh pemanfaatan fly ash adalah sebagai bahan campuran beton maupun mortar (Prasetia, 2015; Prasetia, Ma'ruf, & Riswan, 2016; Prasetia, Yoshida, & Torii, 2013; Prasetia & Rizani, 2019; Tsadilas, Hu, Bi, & Nikoli, 2018; Yanuar & Umar, 2015; Zhao, Sun, Wu, & Gao, 2015). Selain itu, penelitian fly ash sebagai stabilizing agent untuk proses stabilisasi tanah juga telah dilakukan oleh beberapa peneliti (Huri, Yulianto, R W, & Hardiyati, 2013; Yasruddin, Lestari, & Rifqy, 2020). Pemanfaatan limbah batu bara yaitu fly ash pada tanah lunak sangat berpotensi dimana dengan menambahkan campuran fly ash dan semen sebagai stabilizing agent terbukti dapat meningkatkan nilai Bearing Ratio tanah (Huri et al., 2013).

Pemanfaatan limbah fly ash yang dapat digunakan untuk stabilisasi tanah lunak akan sangat berdampak positif di daerah Kalimantan Selatan yang memiliki karakteristik tanah sangat lunak dengan daya dukung tanah yang rendah, sangat jenuh (level muka air tanah tinggi), dan nilai

koefisien permeabilitas yang rendah. Kondisi ini akan mengakibatkan konsolidasi tanah berlangsung sangat lama. Sehingga, untuk dapat digunakan sebagai landasan dalam pembangunan konstruksi, tanah tersebut harus dilakukan perbaikan dengan salahsatunya melakukan stabilisasi tanah dasar. Akan tetapi, informasi pemanfaatan limbah fly ash sebagai stabilizing agent belumlah dapat diketahui sepenuhnya. Hal ini dikarenakan masih kurangnya penelitian yang dilakukan terhadap pemanfaatan limbah fly ash untuk stabilisasi tanah lunak.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penelitian mengenai stabilisasi tanah lunak dengan menggunakan limbah industri dalam hal ini campuran fly ash dirasa sangat perlu untuk dilakukan. Diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat memberikan solusi alternatif pada peningkatan stabilitas tanah lunak. Selain itu, penelitian ini menerapkan salah satu dari empat prioritas pengembangan pada Rencana Induk Penelitian (RIP) ULM Tahun 2016-2020 yaitu bidang rekayasa dan teknologi (Universitas Lambung Mangkurat, 2016). Prioritas pada bidang ini mencakup fokus infrastruktur di tanah lunak, pemanfaatan material cerdas yaitu limbah industri sebagai stabilizing agent tanah lunak, serta merupakan salah satu solusi permasalahan lingkungan.

Tujuan Penelitian

- a. Mengetahui pengaruh pencampuran mineral hasil limbah industri yaitu *fly ash*, semen dan campuran *fly ash* dengan semen dalam menstabilisasi tanah lunak.
- b. Mengetahui karakteristik campuran (*fly ash*, semen dan campuran *fly ash* dengan semen).
- c. Mengetahui persentase campuran *fly ash* terbaik.

Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi alternatif dalam menstabilisasi tanah lunak khususnya untuk daerah Kalimantan Selatan. Selain itu, parameter-parameter baru yang berkaitan dengan penelitian ini akan menjadi tambahan informasi yang sangat penting dalam bidang ilmu teknik sipil.

Luaran Penelitian

Hasil penelitian ini akan dipublikasikan di Jurnal Nasional terakreditasi Sinta atau Journal Internasional terindeks (DOAJ).

II. TINJAUAN PUSTAKA

Fly Ash atau Abu Terbang

Fly ash atau abu terbang dari abu batu bara terutama terdiri atas senyawa *silicate glass* yang mengandung silika (Si), alumina (Al), ferrum (Fe), dan kalsium (Ca). Kandungan kecil senyawa lain yang terdapat dalam *fly ash* adalah magnesium (Mg), sulfur (S), sodium (Na), potassium (P), dan karbon (C). Kandungan bahan berbahaya yang ada dalam *fly ash* antara lain: arsenic, berilium, boron, cadmium, chromium, cobalt, lead, mangan, merkuri, selenium, strontium, thallium, vanadium, juga mengandung dioksin dan senyawa PAH (*polycyclic aromatic hydrocarbon*). *Fly ash* umumnya terdiri dari partikel solid yang berbentuk bulat, dan sebagian adalah partikel bulat berongga serta partikel bulat yang berisi partikel-partikel bulat lain yang lebih kecil seperti terlihat pada Gambar 2.1.

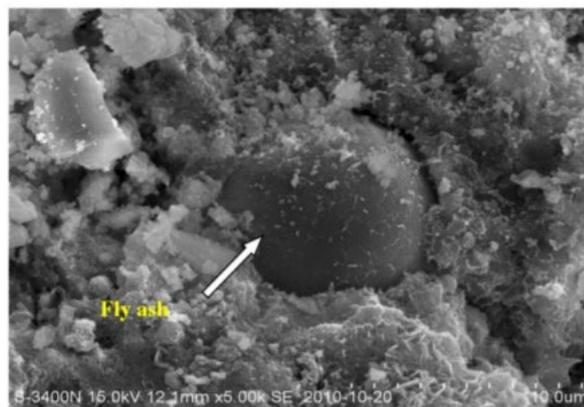
Ukuran partikel *fly ash* bervariasi mulai yang lebih kecil dari 1 μm (micrometer) sampai yang lebih besar dari 100 μm (beberapa literatur menyebutkan ukuran 0,5 μm - 300 μm), dengan sebagian besar partikel berukuran kurang dari 20 μm . Umumnya hanya sekitar 10% sampai 30% ukuran partikel flyash lebih besar dari 50 μm . Luas permukaan fly ash umumnya berkisar 300 m^2/kg - 500 m^2/kg fly ash, dengan batas bawah 200 m^2/kg dan batas atas 700 m^2/kg . Specific Gravity (Gs) fly ash bervariasi, ada beberapa institusi yang memberikan rentang nilai *specific gravity*, rentang terbesar yang diberikan dari institusi-institusi tersebut adalah antara 1,6 - 3,1. Pada umumnya *specific gravity material fly ash* berkisar antara 1,9-2,55. Massa jenis fly ash dalam kondisi *loose* berkisar 540 - 860 kg/m^3 , dan dalam kondisi dipadatkan dengan penggetaran dalam kemasan pada umumnya mempunyai massa jenis 1.120 - 1.500 kg/m^3 .

Penggolongan fly ash pada umumnya dilakukan dengan memperhatikan kadar senyawa kimiawi ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$), kadar CaO (*high calcium dan low calcium*), dan kadar karbon (*high carbon dan low carbon*). Kandungan karbon berpengaruh pada Loss on Ignition, yang ditetapkan LOI tidak boleh lebih dari 6% (fly ash kelas F dan C) atau 10 % (fly ash kelas N).

Komponen utama dari abu terbang batu bara yang berasal dari pembangkit listrik adalah silika (SiO_2), alumina, (Al_2O_3), besi oksida (Fe_2O_3), kalsium (CaO) dan sisanya adalah magnesium, potasium, sodium, titanium dan belerang dalam jumlah yang sedikit. **Tabel 2.1** memperlihatkan komposisi kimia salah satu jenis abu terbang batu bara.

Tabel 2.1 Komposisi kimia abu terbang batu bara Komponen (Mulyono, 2004)

Komponen	Bituminous	Sub Bituminous	Lignite
SiO ₂	20 - 60 %	40 - 60 %	15 - 45 %
Al ₂ O ₃	5 - 35 %	20 - 30 %	10 - 25 %
Fe ₂ O ₃	10 - 40 %	4 - 10 %	4 - 15 %
CaO	1 - 12 %	5 - 30 %	15 - 40 %
MgO	0 - 5 %	1 - 6 %	3 - 10 %
SO ₃	0 - 4 %	0 - 2 %	0 - 10 %
Na ₂ O	0 - 4 %	0 - 2 %	0 - 6 %
K ₂ O	0 - 3 %	0 - 4 %	0 - 4 %
LOI	0 - 15 %	0 - 3 %	0 - 5 %



Gambar 2.1. Hasil *Scanning Electron Microscopy (SEM)* campuran *fly ash* pada beton (Liu et al., 2014)

Sifat kimia dari abu terbang batubara dipengaruhi oleh jenis batubara yang dibakar dan teknik penyimpanan serta penanganannya. Pembakaran batubara lignit dan subbituminous menghasilkan abu terbang dengan kalsium dan magnesium oksida lebih banyak dari pada jenis bituminous. Namun, memiliki kandungan silika, alumina, dan karbon yang lebih sedikit dari pada bituminous. Kandungan karbon dalam abu terbang diukur dengan menggunakan Loss of Ignition method (LOI), yaitu suatu keadaan hilangnya potensi nyala dari abu terbang batubara.

Semen

Jenis atau tipe semen yang dijual dipasaran sangatlah bervariasi. Oleh karena itu, perlu diketahui tipe semen yang telah distandarisasi di Indonesia. Menurut SNI 03-2834-2000 (Badan Standardisasi Nasional, 2000), jenis semen terdiri dari:

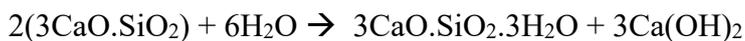
1. Semen Portland tipe I adalah semen Portland untuk penggunaan umum tanpa persyaratan khusus.

2. Semen Portland tipe II adalah semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan kalor hidrasi sedang.
3. Semen Portland tipe III adalah semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Semen Portland tipe V adalah semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.
5. Semen Portland-pozolan adalah campuran semen Portland dengan pozolan antara 15%-40% berat total campuran dan kandungan $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ dalam pozolan minimum 70%.

Sifat kimia dari semen portland sangat rumit, dan belum dimengerti sepenuhnya. Hampir dari dua pertiga bagian semen merupakan zat kapur yang proporsinya berperan penting terhadap sifat-sifat semen. Zat kapur yang berlebihan biasanya kurang baik untuk semen karena akan menyebabkan terjadinya disintegrasi (perpecahan) semen setelah terjadi reaksi pengikatan. Kadar kapur yang komposisinya pas dan tidak berlebihan cenderung memperlambat pengikatan, tetapi menghasilkan kekuatan awal yang tinggi. Sedangkan kekurangan zat kapur akan menghasilkan semen yang lemah (Murdock & Brook, 1991). Dalam semen pada dasarnya ada 4 senyawa penting, yaitu:

- a) Trikalsium silikat (C_3S)
- b) Dikalsium silikat (C_2S)
- c) Trikalsium aluminat (C_3A)
- d) Tetrakalsium aluminoforit (C_4AF)

Adapun Proses hidrasi yang terjadi pada semen portland dapat dinyatakan dalam persamaan kimia sebagai berikut:



Kalsium silikat dengan air akan terhidrolisa kalsium silikat hidrat yang berupa padatan berongga yang sering disebut tobermorite gel dan kalsium hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$ atau kapur bebas yang merupakan sisa reaksi antara C_3S dan C_2S dengan air.

Stabilisasi Tanah

Stabilitas tanah adalah salah satu usaha untuk memperbaiki kemampuan daya dukung tanah sehingga stabilitasnya meningkat. Jika tanah yang akan digunakan bersifat sangat lepas (*loose*), tingkat kompresibilitasnya tinggi, permeabilitasnya tinggi, atau memiliki sifat-sifat yang mengurangi kapasitas daya dukung tanah terhadap bangunan, maka tanah harus distabilisasikan (Bowiiies, 1997).

Stabilisasi tanah umumnya dibagi menjadi dua cara, yaitu:

1. Cara mekanis, yaitu pemadatan dengan berbagai jenis peralatan mekanis seperti mesin gilas (*roller*), benda berat yang dijatuhkan, ledakan, tekanan statis, tekstur, pembekuan, pemanasan dan sebagainya.
2. Cara kimiawi dengan bahan pencampur (*stabilizing agent*), yaitu penambahan kerikil untuk tanah kohesif, lempung untuk tanah berbutir, dan pencampur kimiawi seperti semen, batuan kapur dan lain-lainnya.

Metode atau cara memperbaiki sifat-sifat tanah ini juga sangat bergantung pada lama waktu pemeraman, hal ini disebabkan karena di dalam proses perbaikan sifat-sifat tanah terjadi proses kimia yang dimana memerlukan waktu untuk zat kimia yang ada didalam *stabilizing agent* untuk bereaksi.

III. METODE PENELITIAN

Pengambilan Sampel

Pekerjaan lapangan yang dilakukan adalah pengambilan sampel tanah dan *fly ash*. Sampel tanah yang diambil yaitu tanah terganggu (*disturb soil*) dan tanah tidak terganggu (*undisturbed soil*). Pengambilan sampel tanah lunak dilakukan pada Kawasan Kampus ULM Banjarmasin, Kalimantan Selatan. Tanah diambil di satu titik pada lokasi pengambilan sampel.

Untuk sampel tanah tidak terganggu digunakan untuk pemeriksaan kadar air tanah (*water content*), pemeriksaan analisis saringan agregat halus dan kasar, pemeriksaan batas atterberg (LL, PL dan SL), pemeriksaan berat jenis (*specific gravity*), pemeriksaan pemadatan tanah (*proctor modified*) dan pemeriksaan VST. Pengambilan sampel tanah terganggu (*disturb*) cukup dimasukkan kedalam karung plastic sebagai bahan dalam pembuatan sampel uji CBR (*california bearing ratio*). Adapun sampel *fly ash* diambil dari PLTU yang ada di Kalimantan Selatan. Pengujian bentuk dan sifat fisik *fly ash* akan dilakukan di dalam laboratorium.

Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat untuk pemeriksaan kadar air tanah (*water content*), pemeriksaan analisis saringan agregat halus dan kasar, pemeriksaan batas atterberg (LL, PL dan SL), pemeriksaan berat jenis (*specific gravity*), pemeriksaan pemadatan tanah (*proctor modified*) dan pemeriksaan CBR (*california bearing ratio*) di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Lambung Mangkurat Banjarbaru Kalimantan Selatan.

Benda Uji

1. Sampel tanah yang di uji pada penelitian ini yaitu tanah lunak dengan klasifikasi lempung lunak yang berasal dari tanah pada Kawasan Kampus ULM Banjarmasin, Kalimantan Selatan.
2. Air yang berasal dari Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Lambung Mangkurat Banjarbaru Kalimantan Selatan.
3. *Stabilizing agent* yaitu *fly ash* dari PLTU Asam-asam.
4. Portland Semen

Data Penelitian

Adapun data-data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data 1 (Primer)

Data 1 merupakan data tanah asli yang digunakan pada penelitian ini berupa:

- a. Pemeriksaan kadar air tanah (*water content*).
- b. Pemeriksaan analisis saringan agregat halus dan kasar.
- c. Pemeriksaan batas atterberg (LL, PL dan SL).
- d. Pemeriksaan berat jenis (*specific gravity*).
- e. Pemeriksaan pemadatan tanah (*proctor modified*).
- f. Pemeriksaan CBR (*california bearing ratio*).

2. Data 2 (Primer)

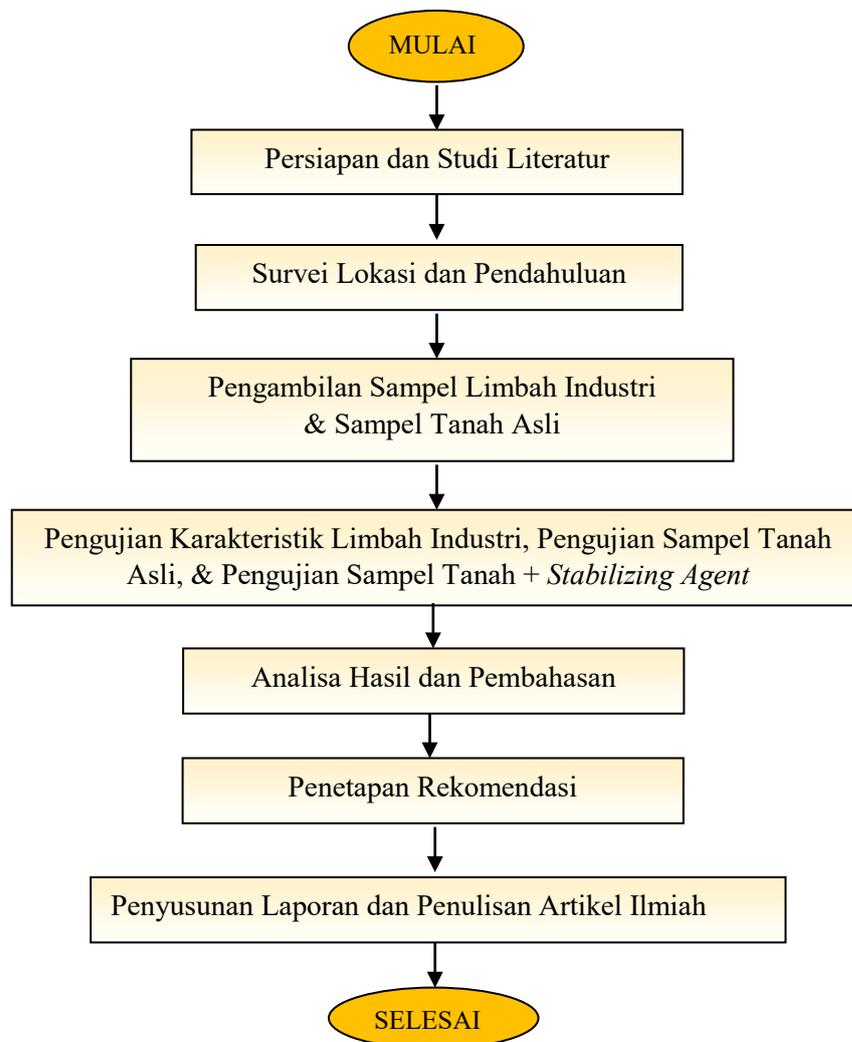
Data 2 merupakan data penelitian yang merupakan hasil pengujian campuran yaitu tanah lunak + *fly ash* dan air pada kadar air optimum, tanah lunak + semen dan air pada kadar air optimum, serta tanah lunak + *fly ash* + semen dan air pada kadar air optimum. Data 2 yang akan didapat dari penelitian ini berupa nilai CBR (pemeraman/perendaman).

Pelaksanaan Pengujian

Pelaksanaan pengujian dilakukan di laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lambung Mangkurat Banjarbaru Kalimantan Selatan. Pengujian yang dilakukan dibagi menjadi 2 bagian pengujian yaitu pengujian untuk tanah dasar (data 1) dan tanah yang telah ditambahkan *stabilizing agent* atau yang telah distabilisasi (data 2), adapun pengujian untuk tanah yang ditambahkan *stabilizing agent* tersebut adalah uji CBR.

Diagram Alir Penelitian

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.



Gambar 3.1. Bagan Alir Penelitian

Pembagian Tugas Peneliti

Adapun pembagian tugas peneliti diuraikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Pembagian tugas peneliti

No	Nama	Instansi Asal	Bidang Ilmu	Uraian Tugas
1.	Dr. Eng. Irfan Prasetia, ST MT.	Fakultas Teknik	Teknik Sipil	<ul style="list-style-type: none"> • Ketua Tim • Tenaga Ahli Material Konstruksi • Studi literatur terkait pemanfaatan limbah industri • Pengujian limbah industri • Pengujian sampel campuran tanah asli dan <i>stabilizing agent</i> • Analisis pengaruh limbah industri terhadap stabilisasi tanah • Penetapan rekomendasi
2.	Dr. Ir. Rustam Effendi, M.A.Sc	Fakultas Teknik ULM	Teknik Sipil	<ul style="list-style-type: none"> • Anggota Tim I • Tenaga Ahli Geoteknik • Studi literatur terkait stabilisasi tanah dengan campuran kimia • Pengujian sampel tanah asli • Analisis pengaruh limbah industri terhadap stabilisasi tanah • Penetapan rekomendasi
3.	Ade Yuniati Pratiwi, ST, MSc, PhD	Fakultas Teknik ULM	Teknik Sipil	<ul style="list-style-type: none"> • Anggota Tim II • Tenaga Ahli Struktur dan Material Konstruksi • Studi literatur terkait pemanfaatan limbah industri • Pengujian limbah industri • Pengujian sampel campuran tanah asli dan <i>stabilizing agent</i> • Analisis pengaruh limbah industri terhadap stabilisasi tanah • Penetapan rekomendasi

IV. HASIL PENELITIAN

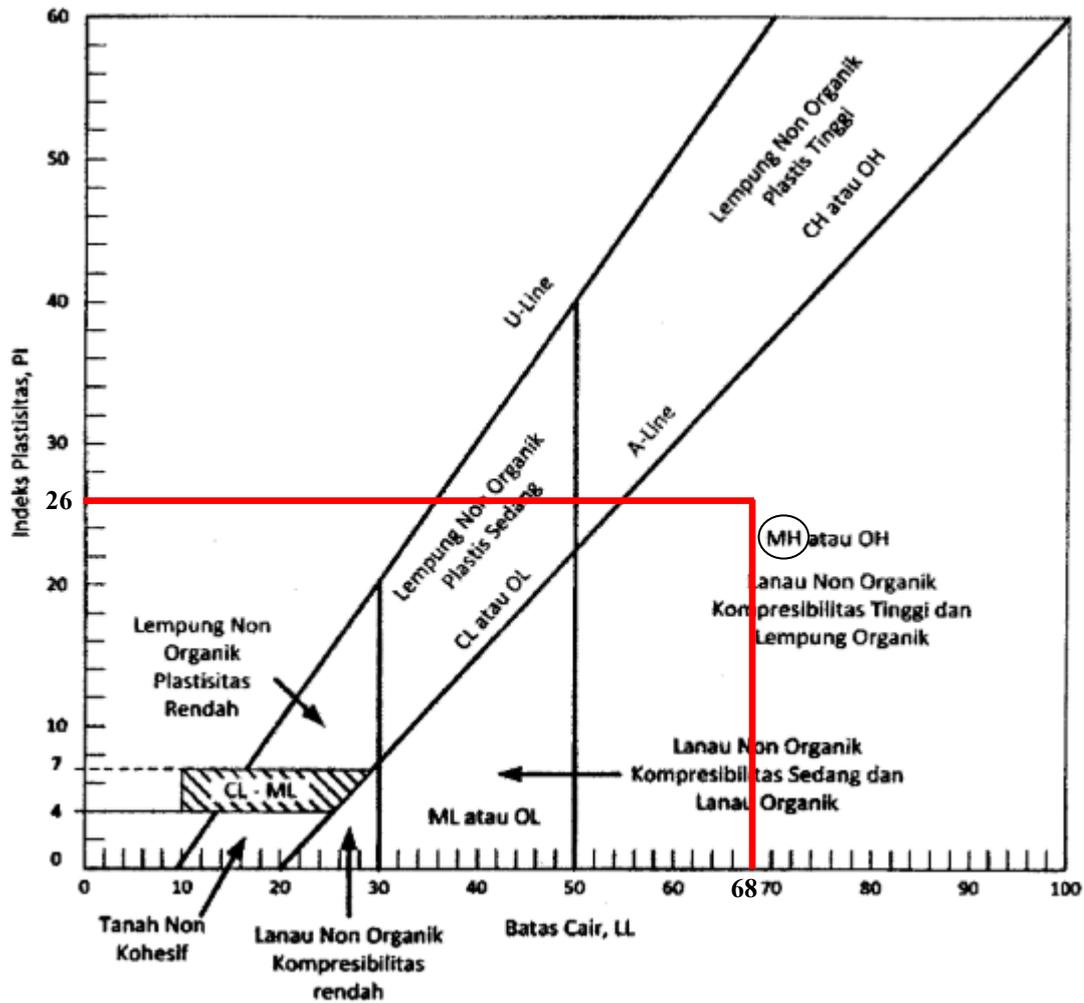
Karakteristik Dasar Tanah Asli

Berdasarkan penelitian yang dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat didapatkan karakteristik dasar tanah asli yang diambil dari tanah dasar di kawasan Kampus Universitas Lambung Mangkurat Banjarmasin. Adapun karakteristik dasar tanah asli tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Karakteristik Dasar Tanah Asli

No	Pemeriksaan	Nilai
1	Kadar air	269,64%
2	Berat jenis (Gs)	2,636
3	Kuat tekan bebas	0,101 kg/cm ²
4	Batas cair (LL)	68%
5	Batas plastis (PL)	42%
6	Indeks plastisitas (IP)	26%
7	Batas susut (SL)	72,49%
8	Kandungan Pasir	14,30%
9	Kandungan lanau dan lempung	85,70%
10	Faksi < 0,002 mm	42,08%

Berdasarkan klasifikasi menurut USCS (Unified Soil Classification System) maka tanah dasar yang digunakan termasuk kedalam tanah Lanau dengan Plastisitas Tinggi (MH). Hal ini karena kandungan lanau dan lempung yang lebih dari 50% dan nilai IP < 0,73(LL-20)%. Dengan menggunakan grafik Casagrande, diperoleh klasifikasi yang sama (Gambar 4.1).



Gambar 4.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Grafik Casagrande

Hasil Pemeriksaan Semen

Semen yang digunakan pada penelitian ini adalah semen Portland PCC merk Tiga Roda. Hasil dari pemeriksaan terhadap semen yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pemeriksaan Semen

No	Jenis Pemeriksaan	Nilai Pemeriksaan
1	Berat Jenis	3,2 gr/cm ³
2	Konsistensi Normal	29%
3	Berat Volume	
	a. Kondisi lepas	0,703 gr/cm ³
	b. Kondisi goyangan	0,780 gr/cm ³
	c. Kondisi pemadatan	0,794 gr/cm ³
4	Waktu Pengikatan	
	a. Awal	120 menit
	b. Akhir	165 menit

Hasil Pemeriksaan Fly Ash

Fly ash yang digunakan berasal dari PLTU Asam-Asam. Hasil pemeriksaan sifat fisik dapat dilihat pada Tabel 4.3. Adapun hasil pemeriksaan sifat kimia dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.3 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik *Fly Ash*

No.	Jenis Pemeriksaan	Nilai Pemeriksaan
1.	Konsistensi Normal	26%
Berat Volume		
2.	a. Kondisi Lepas	1,23 gr/cm ³
	b. Kondisi Goyangan	1,32 gr/cm ³
	c. Kondisi Pemadatan	1,38 gr/cm ³
Berat Jenis		
3.	a. Berat <i>fly ash</i>	64
	b. Suhu awal air	27°
	c. Suhu awal minyak	27°
	d. V1 (mm)	0,2 ml
	e. Suhu akhir air	28°
	f. Suhu akhir minyak	28°
	g. V2 (mm)	22,7 ml
	a. Berat jenis <i>fly ash</i> = $\frac{\text{fly ash}}{(V2-V1) \times d}$	2,84 gr/cm ³
<i>Strength Activity Index</i> (ASTM C-618)		
4.	a. f_c' rata-rata campuran kontrol	8,78 MPa
	b. f_c' rata-rata campuran test	10,30 MPa
	c. <i>Strength Activity Index</i> = $SAI = \frac{b}{a} \times 100$ $SAI \geq 75\%$	116%

Tabel 4.4 Hasil Pemeriksaan Sifat Kimia *Fly Ash* (PLTU Asam-Asam, 2018)

No	Jenis Uji	% Massa
1	Na ₂ O	0,63
2	MgO	5,9
3	Al ₂ O ₃	12,91
4	SiO ₂	49,65
5	SO ₃	0,15
6	K ₂ O	0,77
7	CaO	8,07
8	Fe ₂ O ₃	19,63
9	LOI	1,35

Untuk kandungan total Silica (SiO₂), Aluminium Oksida (Al₂O₃), Besi Oksida (Fe₂O₃), berdasarkan metode **ASTM C 618** terdapat persentase minimum dari total kandungan ketiga jenis zat kimia tersebut yaitu:

- Type F memiliki persentase kandungan minimum $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 \geq 70\%$ dengan kandungan SiO₂ > 50%
- Type C memiliki persentase kandungan minimum $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 \geq 50\%$ dengan kandungan SiO₂ antara 30% - 50%
- Type N memiliki persentase kandungan minimum $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 \geq 70\%$

Untuk kandungan SO₃ berdasarkan metode **ASTM C 618** terdapat persentase maksimum dari zat kimia tersebut yaitu:

- Type F memiliki kadar SO₃ $\leq 5\%$
- Type C memiliki kadar SO₃ $\leq 5\%$
- Type N memiliki kadar SO₃ $\leq 4\%$

Sedangkan untuk kandungan Kalsium Oksida (CaO), standar yang ditetapkan oleh **Canadian Standard CSA A-23.5** mengatur kadar CaO dalam *fly ash* yang diperbolehkan dan pengklasifikasiannya yaitu :

- Type F memiliki kadar CaO < 8%
- Type CI memiliki kadar CaO 8-20%
- Type CH memiliki kadar CaO > 20%

Dari data yang diperoleh pada Tabel 4.4, maka *fly ash* PLTU Asam-Asam dapat dikategorikan sebagai Fly Ash **Type C** berdasarkan **ASTM C 618** dan **Canadian Standard CSA A-23.5** karena memiliki nilai SiO₂ antara 30% - 50% dan Kadar CaO \geq 8%.

Variasi Sampel Tanah Yang Diujikan

Pada penelitian ini dibuat 3 (tiga) buah sampel, yaitu sampel tanah dengan campuran semen, sampel tanah dengan campuran *fly ash* dan sampel tanah dengan campuran *fly ash* dan semen. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah *fly ash* yang merupakan limbah PLTU dapat digunakan sebagai *stabilizing agent* untuk stabilisasi tanah secara kimiawi. Selain itu, akan dibandingkan pula campuran tanah dengan semen sebagai *stabilizing agent* dan pengaruh kombinasi *fly ash* dan semen sebagai *stabilizing agent*. Untuk setiap variasi akan dibuatkan 3 (tiga) buah sampel.

Untuk komposisi campuran ditetapkan bahwa material *stabilizing agent* sebagai material tambahan bukan pengganti. Adapun komposisi penambahan *fly ash* sebanyak 10%, 15% dan 20%. Sedangkan untuk komposisi penambahan semen sebanyak 5%, 7,5% dan 10%. Adapun untuk kombinasi *fly ash* dan semen sebagai *stabilizing agent* ditetapkan semen pada komposisi 10%. Campuran lengkap sampel penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Campuran Sampel Pada Penelitian

No	Jenis Sampel	<i>stabilizing agent</i>		Waktu Perendaman (hari)
		<i>Fly Ash</i> (%)	Semen (%)	
1	FA10%	10	-	7
2	FA15%	15	-	7
3	FA20%	20	-	7
4	C5%	-	5	7
5	C7,5%	-	7,5	7
6	C10%	-	10	7
7	CFA10%	10	10	7
8	CFA15%	15	10	7
9	CFA20%	20	10	7

Metode yang digunakan untuk mengukur kekuatan material tanah adalah dengan menggunakan metode uji California Bearing Ratio (CBR) Laboratorium berdasarkan SNI 1744:2012. Untuk waktu perendaman, dilakukan perendaman sampel selama 7 (tujuh) hari dimana waktu perendaman ini melebihi waktu perendaman yang disyaratkan yaitu 96 jam atau 4 (empat) hari. Hal ini dilakukan mengingat semen dan *fly ash* memiliki waktu reaksi pengikatan yang cukup lambat (optimum pada umur 28 hari atau lebih). Sedangkan untuk pemadatan dilakukan hanya terhadap satu perlakuan yaitu pemadatan dengan 56 tumbukan per lapis dengan jumlah total lapisan sebanyak 5 lapis. Diasumsikan bahwa pada jumlah tumbukan tersebut sampel telah mencapai densitas kering maksimum pada kadar air optimum.

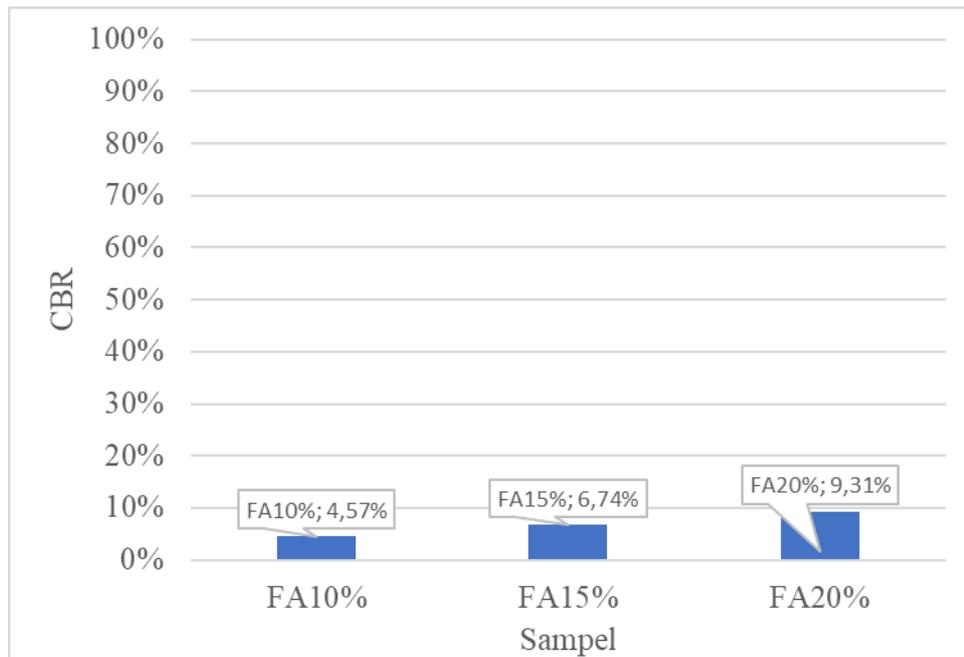
Hasil Pemeriksaan California Bearing Ratio

Hasil pemeriksaan karakteristik dasar sampel yang diuji dapat dilihat pada Tabel 4.6.

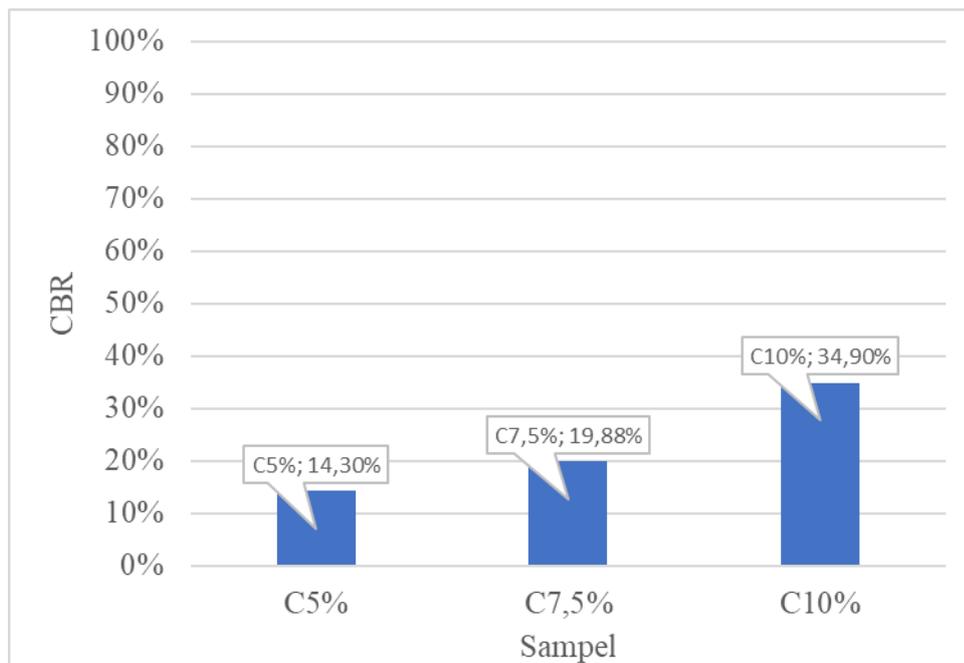
Tabel 4.6 Karakteristik Dasar Sampel Penelitian

No	Pemeriksaan	Variasi Sampel		
		FA	C	CFA
1	Kadar air	49,37%	43%	40%
2	Optimum Moisture Content	17,06%	26,25%	27,73%
3	Maximum Dry Density	1,24 gr/cm ³	2,87 gr/cm ³	1,28 gr/cm ³
4	ZAV Dry Density	2,13%	2,01%	1,95%

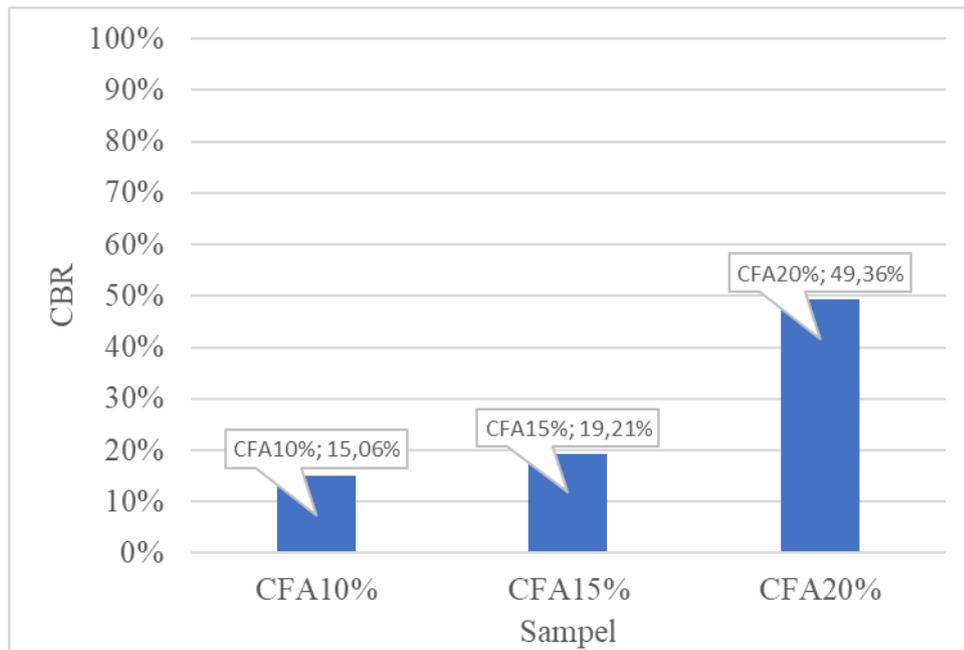
Hasil pemeriksaan CBR untuk sampel *Fly Ash* (FA) dapat dilihat pada Gambar 4.2. Untuk hasil pemeriksaan CBR sampel Semen (C) dapat dilihat pada Gambar 4.3. Adapun hasil pemeriksaan CBR sampel *Fly Ash* dan Semen (CFA) dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.2 Nilai CBR Sampel *Fly Ash* Pada Perendaman 7 (tujuh) Hari



Gambar 4.3 Nilai CBR Sampel Semen Pada Perendaman 7 (tujuh) Hari



Gambar 4.4 Nilai CBR Sampel *Fly Ash* dan Semen Pada Perendaman 7 (tujuh) Hari

Dari hasil penelitian tersebut terlihat bahwa nilai CBR tertinggi pada sampel dengan *stabilizing agent* dari limbah industri (*fly ash*) adalah sebesar 9,31% dengan komposisi penambahan *fly ash* sebesar 20%. Gambar 4.2 menunjukkan bahwa pertambahan komposisi *fly ash* akan berdampak pada peningkatan nilai CBR. Hasil ini tentu masih sangat berpotensi untuk dilakukan penelitian selanjutnya, khususnya dari aspek lama perendaman. *fly ash* adalah material yang memiliki sifat penyemenan, tetapi memerlukan waktu/proses kimia yang cukup lama (diatas 28 hari) agar dapat bersifat seperti semen. Selain itu, perlu juga dilakukan penelitian lanjutan dengan menambahkan persentase kandungan *fly ash* hingga diketahui komposisi *fly ash* yang optimum sebagai *stabilizing agent* tanah.

Adapun untuk sampel dengan menggunakan semen sebagai bahan *stabilizing agent*, menunjukkan hasil yang sangat memuaskan. Pola yang sama juga dapat terlihat seperti pada hasil CBR sampel tanah dengan menggunakan *fly ash*. Gambar 4.3 menunjukkan bahwa penambahan 10% semen memberikan efek peningkatan yang signifikan dibandingkan dengan komposisi lainnya. Sama seperti pada sampel *fly ash*, potensi untuk terjadinya peningkatan nilai CBR dengan penambahan persentase semen sangat dimungkinkan. Akan tetapi, mengingat semen adalah bahan yang relatif mahal, kajian mengenai hubungan antara nilai ekonomis dan kadar persentase semen yang digunakan perlu untuk diteliti lebih lanjut.

Gambar 4.4, menunjukkan hasil penelitian yang sangat menarik. Diketahui bahwa ternyata gabungan antara *fly ash* dan Semen memberikan efek yang jauh lebih signifikan dibandingkan

dengan hanya menggunakan satu jenis *stabilizing agent* (semen saja atau *fly ash* saja). Komposisi 20% *fly ash* dan 10% semen mampu memberikan nilai CBR hingga kurang lebih 50%. Hasil penelitian ini juga sejalan dengan hasil penelitian Yasruddin (2020), dimana secara umum peningkatan persentase *fly ash* dan semen meningkatkan nilai CBR Tanah.

Sesuai dengan Manual Desain Perkerasan Jalan Revisi 2017, dengan meningkatkan nilai CBR tanah dasar dapat menurunkan ketebalan lapis perkerasan. Pada peraturan tersebut disebutkan bahwa kondisi kekuatan tanah dasar dengan nilai CBR $> 10\%$ dapat dikategorikan sebagai tanah dasar dengan nilai CBR tinggi. Adapun pada rentang $3\% < \text{CBR} \leq 10\%$ dikategorikan sebagai tanah dasar dengan nilai CBR sedang. Sehingga pemanfaatan *fly ash* dapat meningkatkan kondisi kekuatan tanah dasar menjadi kategori sedang. Untuk komposisi *fly ash* diatas 20% dimungkinkan untuk meningkatkan kondisi kekuatan tanah dasar hingga kategori tinggi.

V. PENUTUP

Pada laporan penelitian ini telah dilakukan serangkaian pengujian untuk mengetahui peranan limbah industri, dalam hal ini *fly ash*, sebagai *stabilizing agent* untuk stabilisasi tanah lunak Banjarmasin. Data hasil pengujian menunjukkan hasil yang cukup memuaskan, dimana *fly ash* memiliki pengaruh terhadap nilai CBR tanah dasar. Semakin meningkat komposisi persentase *fly ash*, maka nilai CBR tanah akan semakin tinggi, hingga bisa dikategorikan sebagai tanah dasar kategori sedang. Adapun kombinasi *fly ash* dengan Semen memiliki pengaruh yang jauh lebih signifikan dalam meningkatkan nilai CBR tanah. Hasil ini dikonfirmasi dari hasil nilai CBR sampel dengan menggunakan semen saja, dimana nilai CBR sampel semen lebih rendah dibandingkan dengan nilai CBR sampel semen dengan *fly ash* dengan perbedaan hingga kurang lebih 15%.

Dari hasil penelitian ini, masih terdapat beberapa hal yang masih belum dapat diketahui dengan baik diantaranya komposisi *fly ash* yang optimum dan pengaruh dari lama perendaman (7 sampai dengan lebih dari 28 hari). Seperti yang ditunjukkan pada hasil yang didapatkan, trend peningkatan nilai CBR berbanding lurus dengan peningkatan komposisi *fly ash*, sehingga belum diketahui berapakah nilai komposisi yang optimal. Selain itu, perlu juga diteliti lebih lanjut mengenai komposisi semen yang ideal bila dibandingkan dengan biaya stabilisasi yang dilakukan. Kemudian untuk memahami lebih lanjut mengenai mekanisme kimia pada variasi sampel yang diujikan, pengujian dengan menggunakan alat SEM-EDS perlu untuk dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal: SNI 03-2834-2000. , Badan Standardisasi Nasional § (2000).
- Bowiiies, J. E. (1997). *Sifat-sifat fisis dan geoteknis tanah (mekanika tanah)*, penerjemah Johan K. Hainim. Jakarta: Erlangga.
- Huri, A. D., Yulianto, K., R W, S. P., & Hardiyati, S. (2013). Stabilisasi Tanah dengan Fly Ash dan Semen untuk Badan Jalan PLTU Asam-Asam. *Jurnal Sipil*, 1(2), 1–8.
- Liu, J., Tang, K., Qiu, Q., Pan, D., Lei, Z., & Xing, F. (2014). Experimental investigation on pore structure characterization of concrete exposed to water and chlorides. *Materials*, 6(9), 6646–6659. <https://doi.org/10.3390/ma7096646>
- Mulyono, T. (2004). Teknologi beton. *Penerbit Andi, Yogyakarta*.
- Murdock, L. J., & Brook, K. M. (1991). *Bahan dan Praktek Beton, Terjemahan oleh Stephanus Hindarko* (4th ed.). Jakarta: Erlangga.
- PLTU Asam-Asam. (2018). *Laporan Klasifikasi Kelas, Rencana Program, dan Rencana Biaya Pengelolaan Fly Ash dan Bottom Ash*. Pelaihari.
- Prasetia, I. (2015). The Effectiveness of High Quality Supplementary Cementitious Materials for Mitigating ASR Expansion in Concrete with High Alkali Content. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 5(5), 854–859. Retrieved from www.etasr.com
- Prasetia, I., Ma'ruf, & Riswan. (2016). Potensi Pemanfaatan Limbah Abu Batubara Sebagai Bahan Konstruksi di Daerah Rawa. *Jurnal Teknologi Berkelanjutan (Sustainable Technology Journal)*, 5(2), 71–78. Retrieved from <http://jtb.ulm.ac.id>
- Prasetia, I., & Rizani, M. F. (2019). Analysis of fly ash from PLTU Asam-Asam as a construction material in terms of its physical and mechanical properties. *MATEC Web of Conferences*, 280, 04013. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201928004013>
- Prasetia, I., Yoshida, S., & Torii, K. (2013). The Mitigating Effect of ASR Expansion in PC Girder and PCa Product by Using High-Quality Fly Ash. In Peter Claisse (Ed.), *Third International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*. Kyoto Japan: The International Committee of the SCMT conferences.
- Tsadilas, C. D., Hu, Z., Bi, Y., & Nikoli, T. (2018). Utilization of coal fly ash and municipal sewage sludge in agriculture and for reconstruction of soils in disturbed lands: results of case studies from Greece and China. *International Journal of Coal Science and Technology*, 5(1), 64–69. <https://doi.org/10.1007/s40789-018-0202-9>
- Universitas Lambung Mangkurat. (2016). *Rencana Induk Penelitian Universitas Lambung*

- Mangkurat* 2016-2020. Retrieved from <http://lppm.ulm.ac.id/id/wp-content/uploads/2016/10/Dokumen-RIP-2016-LPPM-1.pdf>
- Yanuar, K., & Umar. (2015). Pemanfaatan Limbah Abu Terbang PLTU Asam – Asam Sebagai Pengganti Sebagian Semen untuk Efisiensi Biaya. *INTEKNA*, 13(2), 104–108. Retrieved from <http://ejurnal.poliban.ac.id/index.php/intekna/article/view/121>
- Yasruddin, Lestari, U. S., & Rifqy, A. (2020). Limbah Batubara Sebagai Bahan Campuran Perbaikan Lapisan Tanah Dasar Di Kalimantan Selatan. *Al Ulum Sains Dan Teknologi*, 6(1), 19–25. Retrieved from <https://ojs.uniska-bjm.ac.id/index.php/JST/article/view/3658/2366>
- Zhao, H., Sun, W., Wu, X., & Gao, B. (2015). The properties of the self-compacting concrete with fly ash and ground granulated blast furnace slag mineral admixtures. *Journal of Cleaner Production*, 95, 66–74. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2015.02.050>