

TUGAS AKHIR

**STUDI KARAKTERISTIK *EFFLORESCENCE* MORTAR GEOPOLIMER
BERBAHAN *FLY ASH* DAN SERBUK KAYU**



FACHMY MUSFIRAH

D121 16 518

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2020



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
JL. POROS MALINO, KM.6 BONTOMARANNU KAB. GOWA

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.

Judul : **Studi Karakteristik *Efflorescence* Mortar Geopolimer Berbahan *Fly Ash* Dan Serbuk Kayu**

Disusun Oleh :

Nama: **Fachmy Musfirah**

D121 16 518

Telah diperiksa dan disetujui
Oleh Dosen Pembimbing

Gowa, 18 Agustus 2020

Pembimbing I

**Dr. Eng. Asiyanthi T Lando, S.T.,
M.T. NIP. 198001202002122002**

Pembimbing II

**Dr. Eng. M. Akbar Caronge, S.T., M.T.
NIP. 198604092019043001**

Menyetujui,
Ketua Departemen Teknik Lingkungan



**Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T.
Nip. 197204242000122001**

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Fachmy Musfirah, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “**Studi Karakteristik Efflorescence Mortar Geopolimer Berbahan Fly Ash dan Serbuk Kayu**”, adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Gowa, 14 Agustus 2020
Yang membuat pernyataan,



Fachmy Musfirah
NIM: D121 16 518

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya, tak lupa pula Salawat serta salam semoga tetap tercurakan kepada junjungan Nabi Besar Muhammad SAW, beserta para keluarga dan sahabatnya. Berkat bantuan dan dorongan dari semua pihak sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan Judul **“STUDI KARAKTERISTIK EFFLORESCENCE MORTAR GEOPOLIMER BERBAHAN FLY ASH DAN SERBUK KAYU”**. Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi di Fakultas Teknik Departemen Teknik Lingkungan Universitas Hasanuddin.

Tugas akhir ini dapat diselesaikan bukan tanpa hambatan. Ada banyak hambatan serta masalah yang dilalui oleh penulis dalam proses penyelesaiannya. Namun berkat bantuan serta dukungan dari berbagai pihak, akhirnya tugas akhir ini dapat terselesaikan. Untuk itu, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Ibu Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T., selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Dr. Eng. Irwan Ridwan Rahim, S.T., M.T., selaku Kepala Lab Riset Sanitasi dan Persampahan yang terus memberikan dorongan selama penelitian.
4. Ibu Dr. Eng. Asiyanthi T. Lando, S.T., M.T., selaku Pembimbing 1 yang telah meluangkan waktu serta senantiasa memberikan pengarahan selama penelitian.

5. Bapak Dr. Eng. Muh. Akbar Caronge, S.T., M.T., selaku Pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktu, tenaga serta selalu sabar memberikan pengarahan selama penelitian.
6. Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Lingkungan yang telah mengajar dan membimbing saya selama masa perkuliahan, serta Ibu Sumi dan Kak Oland selaku staff yang selalu siap sedia membantu mahasiswa dalam menyelesaikan berkas-berkas.
7. Teristimewa untuk Bapak Sabang S dan Ibu Martini Mide, selaku orang tua kandung yang tidak henti-hentinya memberikan doa dan motivasi serta dukungan besar dalam bentuk apapun. Semoga selalu sehat, bahagia dan selalu dalam lindungan Allah SWT.
8. Kak Ivan Fachrul M, Kak Mitha Musdalifah, Fachry Muhammad, Muthia Mahani dan Kak Didi Riadi, selaku saudara kandung dan ipar yang dari awal selalu mendukung dan membantu saya selama menjalani masa studi serta keluarga besar yang tidak pernah berhenti memberikan dukungan dan doa.
9. Asisten Laboratorium Struktur dan Bahan, terkhusus kepada Erli yang siap sedia untuk membantu selama pengujian dan selalu saya reportkan di laboratorium, serta Muh. Ichwanul selaku partner membuat benda uji yang selalu menemani dating ke kampus walaupun dalam masa pandemik
10. Saudara-saudari se-PATRON 2016, yang telah mewarnai masa perkuliahan saya sejak menjadi mahasiswa baru sampai sekarang yang selalu memberi semangat dan mengajarkan banyak hal selama penulis menjalani masa perkuliahan hingga penyusunan tugas akhir. Khususnya Iwa, Fajar, Dodi, Fandu, Alam, terimakasih sudah membantu saat di Laboratorium.
11. Lhiza, Chyka, Alma, Mila, Sabda, Ema, Sasha, Nisa, Nadia, Dewi, Fani, Wini, Dala, (kozong) saudara tak sedarah yang membuat hari-hari penulis menjadi lebih berwarna, serta memberikan semangat dalam masa studi.
12. Teman-teman Exact One 015, yang selalu memberi dukungan dan semangat walaupun jarang bertemu.
13. Rama, Amirul selaku teman Kerja Praktek penulis, serta Nurhaliza selaku patrener Kerja Praktek saya selama kurang lebih dua bulan di Balikpapan

yang sudah penulis anggap saudara, terimakasih sudah selalu mau saya repotkan.

14. Kawan-kawan seperjuangan di Lab Riset Sanitasi dan Persampahan yang selalu gugup tiap mau seminar internal, semoga sukses dengan penelitiannya masing-masing semangat kalian.
15. Rekan-rekan KKN Tematik Kementrian Desa khususnya Posko Desa Pacekke terimakasih atas kebersamaan yang selalu penuh drama.
16. Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan, sebagai Organisasi sekaligus keluarga baru . Semoga semakin berjaya.
17. Rekan-rekan senior, serta teman-teman IUT CREW, terimakasih atas ilmu serta pengalaman yang telah diberikan terhadap penulis, serta terimakasih sudah memberikan amanah terhadap penulis untuk bergabung dan menjadi bagian dari keluarga IUT CREW. Semangat dan jangan bosan untuk mengajarkan adik-adik praktikan.
18. Serta semua pihak yang namanya tidak bisa disebutkan satu persatu. Terimakasih atas segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan.

Penulis menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu saran dan kritik yang bersifat membangun penulis terima dengan senang hati. Akhir kata, semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk kedepannya dan menjadi pengembangan ilmu pengetahuan.

Gowa, Juli 2019

Penulis

Fachmy Musfirah
D121 16 518

ABSTRAK

FACHMY MUSFIRAH. *Studi Karakteristik Efflorescence Mortar Geopolimer Berbahan Fly Ash dan Serbuk Kayu.* (dibimbing oleh **Asiyanthi T. Lando** dan **M. Akbar Caronge**).

Industri semen adalah salah satu industri yang penting dalam menunjang pembangunan infrastruktur sebuah negara. Semakin meningkatnya pembangunan infrastruktur maka produksi semen semakin tahun semakin meningkat, hal ini dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan lingkungan yang semakin parah. Oleh karena alternatif yang digunakan pada penelitian ini untung mengurangi penggunaan semen yaitu geopolimer berbahan 100% *fly ash*. Penelitian ini menggunakan material *fly ash*, serbuk kayu dan larutan alkali aktivaror (NaOH dan Na₂SiO₃). Metodologi yang digunakan bersifat eksperimental yang dilakukan di laboratorium dengan variasi penambahan serbuk kayu pada mortar yaitu 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% untuk mengetahui *efflorescence* selama proses curing udara, serta dilakukan pengujian berat jenis, kuat tekan dan *efflorescence* (fungi). Hasil penelitian menunjukkan bahwa Nilai berat jenis dan kuat tekan mortar geopolimer berbahan fly ash dan serbuk kayu menurun seiring bertambahnya jumlah serbuk kayu. Berat jenis mortar termasuk kategori mortar/beton ringan (1000-2000 kg/m³) dan dapat digunakan sebagai dinding interior maupun eksterior. Sehingga, Mortar geopolimer berbahan fly ash dan serbuk kayu dapat digunakan sebagai alternatif bahan bangunan ringan dan *efflorescence* (fungi) yang terdapat pada mortar masih jauh dibawah ambang batas, sehingga mortar geopolimer berbagan *fly ash* dan serbuk kayu dapat digunakan sebagai bahan bangunan ringan yang aman terhadap aspek lingkungan.

Kata Kunci : Geopolimer, *Fly Ash*, Serbuk Kayu, Berat Jenis, Kuat Tekan, *Efflorescence* (fungi)

ABSTRACT

FACHMY MUSFIRAH. Study of the Characteristics of *Efflorescence* Mortar Geopolymer Made from *Fly Ash* and Sawdust. (supervised by **Asiyanthi T. Lando** and **M. Akbar Caronge**).

Cement industry is one of the most important industry in supporting the infrastructure development of a country. The more infrastructure development increases, the more cement production increases every year, this case can further endanger environmental problems. Therefore, the used alternative in this study is to reduce the use of cement using geopolymer made from 100% fly ash. This study used materials from fly ash, sawdust and alkaline activator (NaOH and Na₂SiO₃). The method that used in this study was experimental methodology which conducted in the laboratory with various addition of sawdust to the mortar, which were 0%, 5%, 10%, 15% and 20% to find out the efflorescence during the air curing process, and also testing for density, compression strength and efflorescence. (fungi). The results showed that the density and compression strength of geopolymer mortar made from fly ash and sawdust decreased as the amount of sawdust increased. The density of the mortar is one of the category of mortar /lightweight concrete (1000-2000 kg / m³) and can be used as interior or exterior walls. So that, geopolymer mortar made from fly ash and sawdust can be used as an alternative for lightweight building materials and the efflorescence (fungi) contained in the mortar is still far below the threshold, so that geopolymer mortar with fly ash and sawdust can be used as a lightweight building material that is safe for environmental aspect.

Keywords: Geopolymer, Fly Ash, Sawdust, Density, Compression Strength, Efflorescence (fungi)

DAFTAR ISI

	Halaman
SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	3
D. Ruang Lingkup	3
E. Sistematika Penulisan	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Semen	5
B. Limbah <i>Fly Ash</i>	7
C. Limbah Serbuk Kayu	10
D. Geopolimer	13
E. Mortar	17
F. Penelitian Terdahulu	19

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Bagan Alir Penelitian	24
B. Tempat dan Waktu Penelitian	26
C. Jenis Penelitian dan Sumber Data	26
D. Alat dan Bahan Penelitian	27
E. Rencana Campuran	27
F. Pembuatan Benda Uji	29
G. Perawatan Benda Uji	29
H. Uji Berat Jenis Mortar	30
I. Uji Kuat Tekan	30
J. Pengujian <i>efflorescence</i> Fungi	32

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengamatan Visual	33
B. Berat Jenis Mortar	37

C. Kuat Tekan	39
D. Pengujian Fungi	41
BAB V PENUTUP	
A. Kesimpulan	45
B. Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN	49

DAFTAR TABEL

	Halaman
1. Persyaratan Kandungan Kimia <i>Fly Ash</i>	9
2. Persyaratan Fisik <i>Fly Ash</i>	9
3. Komposisi Campuran Geopolymer <i>Fly Ash</i> Dan Limbah Serbuk Kayu Mortar Untuk 8 M	28
4. Jumlah Benda Uji Penelitian Untuk Pengujian	29
5. Jenis-jenis Beton Berdasarkan Jenis dan Pemakaiannya	30
6. Spesifikasi Kuat Tekan Mortar Menurut SNI 03-6882-2002	31
7. Rata-rata Hasil Berat Jenis Mortar 8 M	37
8. Rata-rata Hasil Uji Kuat Tekan Mortar 8 M Umur 28 Hari	39
9. Kandungan Senyawa Pada Fungi	42
10. Kandungan Unsur Pada Fungi	43
11. Konversi Nilai XRF ke ppm	43
12. Hasil Tes Fungi (Leaching)	44

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1. Proses Geopolimer	13
2. Curing Udara Benda Uji	29
3. Pengujian Kuat Tekan	32
4. Pengamatan Visual Fungi Pada Mortar 8 M Umur 7 Hari	34
5. Pengamatan Visual Fungi Pada Mortar 8 M Umur 14 Hari	35
6. Pengamatan Visual Fungi Pada Mortar 8 M Umur 21 Hari	35
7. Pengamatan Visual Fungi Pada Mortar 8 M Umur 28 Hari	36
8. Pengamatan Mortar Geopolimer	37
9. Sebaran Serbuk Kayu Pada Mortar 8 M	37
10. Grafik Nilai Rata-rata Berat Jenis Mortar 8 M	38
11. Grafik rekapitulasi kuat tekan mortar 8 M umur 28 hari	40
12. Visualisasi Mortar Setelah di Uji Kuat tekan	41
13. Grafik Kuat Tekan Umur 28 Hari	41

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1. Alat yang di Gunakan Selama Penelitian	50
2. Proses Pembuatan Benda Uji	53
3. Pengamatan Visual Curing Udara Benda Uji	57
4. Pengujian Kuat Tekan	59

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dalam fase berkembang sehingga pembangunan infrastruktur dari tahun ketahun semakin meningkat. Industri semen adalah salah satu industri yang penting dalam menunjang pembangunan infrastruktur sebuah negara. Meningkatnya pembangunan infrastruktur jelas akan berdampak terhadap produksi semen yang semakin meningkat. Dimana Proses produksi dari pabrik semen menggunakan bahan bakar batu bara yang merupakan bahan bakar fosil tidak terbarukan, dalam proses produksi semen dapat menghasilkan limbah B3, debu, partikel dan gas karbondioksida (CO₂) yang dapat mengganggu pernafasan, mencemari lingkungan serta meningkatkan pemanasan global yang berdampak buruk terhadap lingkungan. Oleh karena itu kita harus memikirkan alternatif lain untuk mencegah terjadinya kerusakan atau dampak buruk yang lebih beras lagi terhadap lingkungan, salah satu alternatifnya adalah menggunakan 100% *fly ash* sebagai pengganti semen.

Kebutuhan batu bara saat ini sebesar 87.7 ton untuk PLTU batu bara, jumlah ini meningkat seiring dengan adanya program 35 ribu MW, sehingga pada tahun 2019 diperkirakan meningkat menjadi 166,2 juta ton pertahun. Maka dari itu limbah dari PLTU batu bara yaitu *fly ash* dan *bottom ash* akan mencapai 8,31 juta ton pada tahun 2019 (Direktur Jenderal ketenagalistrikan Kementerian Energy dan Sumber Daya Mineral). *Fly ash* adalah limbah dari hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozolanik. Abu terbang dikategorikan sebagai limbah B3 yang sangat kecil yang dapat dengan mudah masuk ke saluran pernapasan dan mengganggu lingkungan apabila hanya di diamkan di *landfill*. Oleh karena itu limbah abu terbang dapat dimanfaatkan sebagai bahan material konstruksi pengganti semen dengan teknologi geopolimer. Geopolimer merupakan teknologi alternatif yang

telah menjadi perhatian di kalangan peneliti dan industri karena sifat ramah lingkungannya yang menghasilkan tingkat emisi CO₂ rendah dalam proses pembuatannya. Dalam proses ini 100% limbah abu terbang di tambahkan larutan alkali (NaOH + Na₂SiO₃).

Selain limbah abu terbang yang digunakan pada penelitian ini, juga memanfaatkan limbah serbuk kayu sebagai bahan campuran dalam penelitian saya. Serbuk kayu adalah limbah yang diperoleh dari hasil penggergajian kayu yang menggunakan mesin atau manual. Limbah serbuk kayu masih sangat kurang dimanfaatkan oleh banyak orang, limbah ini kebanyakan hanya di tumpuk dan bakar. Apabila limbah tersebut tidak di olah atau di biarkan begitu saja, maka akan menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan, terlebih lagi pencemaran terhadap air tanah dan pemanasan global.

Pada penelitian ini menggunakan 100% *fly ash* sebagai pengganti semen dengan teknologi geopolimer di tambah dengan limbah serbuk kayu. Pada penelitian terdahulu oleh Fitria, G. 2019 dan Dayanun, Z.D. 2019 yang menggunakan Fly ash dengan tambah serbuk kayu pada geopolimer ditemukan serbuk putih yang diduga *efflorescence*, hal ini mengakibatkan apakah penambahan bahan kimia terhadap mortar tersebut berdampak buruk terhadap aspek lingkungan. Berdasarkan uraian di atas maka penulis akan melakukan penelitian mengenai “**Studi Karakteristik *Efflorescence* Mortar Geopolimer Berbahan *Fly ash* dan Serbuk Kayu**”.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan di atas, maka di ambil rumusan masalah :

1. Bagaimana karakteristik mortar geopolimer berbahan *fly ash* dan serbuk kayu.
2. Bagaimana pengaruh karakteristik *efflorescence* mortar geopolimer berbahan *fly ash* dan serbuk kayu terhadap aspek lingkungan.

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui karakteristik mortar geopolimer berbahan *fly ash* dan serbuk kayu.
2. Untuk menegetahui karakteristik *efflorescence* mortar geopolimer berbahan *fly ash* dan serbuk kayu terhadap aspek lingkungan.

3. Ruang Lingkup

Adapun batasan-batasan dari penelitian ini yaitu:

1. Rasio alkali aktivator yang digunakan yaitu 1 dengan NaOH sebanyak 8 M.
2. Larutan alkali aktivator yang digunakan merupakan campuran sodium silikat (Na_2SiO_3) dan sodium hidroksida (NaOH) yang dijual bebas di toko bahan kimia.
3. Komposisi serbuk kayu yang ditambahkan bervariasi, yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% terhadap berat *fly ash*.
4. Benda uji di curing udara selama 28 hari.
5. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 28 hari.
6. Pengujian *efflorescence* (fungi) yang muncul pada permukaan mortar.
7. Pengujian ini tidak menganalisis proporsi pekerjaan mekanis dan manual pada proses penelitian.

4. Sistematika Penulisan

Secara umum tulisan ini terbagi dalam lima bab, yaitu: Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metodologi Penelitian, Hasil Pengujian dan Pembahasan dan diakhiri oleh Kesimpulan dan Saran.

Berikut ini merupakan rincian secara umum mengenai kandungan dari kelima bab tersebut di atas:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menyajikan hal - hal mengenai latar belakang masalah, tujuan penulisan, rumusan masalah, batasan masalah, dan sistematika penulisan yang berisi tentang penggambaran secara garis besar mengenai hal - hal yang dibahas dalam bab - bab berikutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori yang menjadi acuan dan landasan pada penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini memuat bagan alir penelitian, tahap - tahap yang dilakukan selama penelitian meliputi alat dan bagan yang digunakan, lokasi penelitian, pembuatan benda uji, perawatan benda uji dan pengujian kuat tekan benda uji mortar.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini merupakan penjabaran dari hasil - hasil pengujian

BAB V PENUTUP

Bab ini memuat kesimpulan singkat mengenai analisa hasil yang diperoleh saat penelitian dan disertai dengan saran - saran yang diusulkan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Semen

Semen merupakan bahan yang bersifat hidrolis yang apabila di campur air akan berubah menjadi bahan yang mempunyai sifat pekat. Penggunaannya antara lain meliputi beton, adukan mortal, plasteran bahan penambal, adukan encer (grout) dan sebagainya.

Menurut SNI 15-2049-2004, Semen Portland didefinisikan sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen Portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk Kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

1. Bahan Baku Pembuatan Semen Portland

Semen Portland dibuat dari serbuk halus mineral kristalin yang komposisi utamanya adalah kalsium dan aluminium silikat. Penambahan air pada mineral ini menghasilkan suatu pasta yang jika mengering akan mempunyai kekuatan seperti batu. Berat jenisnya berkisar antara 3,12 dan 3,16, dan berat volume satu sak semen adalah 94 lb/ft³. Bahan baku pembentuk semen adalah:

a. Kapur (CaO) – dari batu kapur,

b. Silika (SiO₂) – dari lempung,

c. Alumina (Al₂O₃) – dari lempung

(dengan sedikit presentasi magnesia, MgO, dan terkadang sedikit alkali).

Oksida besi terkadang ditambahkan untuk mengontrol komposisinya (Edward G. Nawy, 1995 dalam Renaldi Octovian, 2018).

2. Pembuatan semen

Secara umum proses pembuatan semen adalah :

1. Penambangan bahan baku.

2. Persiapan dan penyediaan bahan mentah/baku. Bahan baku hasil penambangan dipecah dengan mesin pemecah, digiling halus, dicampur merata dalam perbandingan tertentu yang telah dihitung sebelumnya dan dilakukan di mesin pencampur.
3. Pembakaran. Bahan baku dimasukkan ke dalam tungku pembakaran dan dibakar sampai suhu 1450°C sehingga berbentuk terak.
4. Penggilingan Terak dan penambahan Gips. Terak yang sudah dingin (suhu $\pm 90^{\circ}$) digiling halus bersama-sama dengan gips.
5. Pengepakan.

3. Jenis-jenis semen Portland

Jenis semen Portland serta penggunaannya berdasarkan SNI 15-2049-2004 tentang semen Portland sebagai berikut:

- a. Jenis I yaitu semen Portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
- b. Jenis II yaitu semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
- c. Jenis III yaitu semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- d. Jenis IV yaitu semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah
- e. Jenis V yaitu semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

4. Dampak produksi semen

Industri semen sangat berperan penting dalam perkembangan pembangunan infrastruktur di suatu wilayah, namun meningkatnya produksi semen dapat memberi dampak yang negative terhadap lingkungan dan masyarakat di daerah produksi semen tersebut. Beberapa dampak yang ditimbulkan dari produksi semen yaitu mengakibatkan terjadinya pemanasan global, rumah yang retak akibat pengeboran, debu yang membuat masyarakat sekitar lokasi mengalami gangguan

pernafasan baik debu dari hasil produksi maupun debu ketika truk-truk beroperasi keluar masuk lingkungan produksi

Dampak negatif dari pabrik semen bagi lingkungan yaitu:

a. Lahan

Penurunan kualitas dari segi kesuburan tanah akibat penambangan tanah liat. Perubahan ini dari segi waktu akan meluas ke arah menurunnya kapasitas penampungan air yang pada akhirnya akan berpengaruh juga terhadap kuantitas air sungai. Sedangkan dari segi ruang akan mempengaruhi keseimbangan atau keselarasan lingkungan setempat.

b. Air

Kualitas air bertambah buruk akibat limbah cair dari pabrik dalam bentuk minyak dan sisa air dari kegiatan penambangan, yang menimbulkan lahan kritis yang mudah terkena erosi, yang akan mengakibatkan pendangkalan dasar sungai, yang pada akhirnya akan menimbulkan masalah banjir pada musim hujan.

c. Flora dan Fauna

Berkurangnya keanekaragaman flora karena berubahnya pola vegetasi dan jenis endemic, dan pembentukan klorofil serta proses fotosintesis, Sedangkan berkurangnya keanekaragaman fauna (burung, hewan tanah dan hewan langka) disebabkan karena berubahnya habitat air dan habitat tanah tempat hidup hewan-hewan tersebut (Dayanun Z.D, 2019).

B. Limbah *Fly Ash*

Indonesia memiliki banyak industri yang menggunakan batubara sebagai bahan baku pembakaran, salah satunya adalah industri PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap). Produksi limbah PLTU berupa bottom ash (abu dasar) dan *fly ash* (abu layang). *Fly ash* merupakan partikel abu yang terbawa gas buang. Fly ash sendiri secara teknik didefinisikan sebagai bahan hasil pembakaran batubara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus (Wardani, K.L.D, 2018).

Menurut SNI 03-6414-2002, Abu terbang (*fly ash*) adalah limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozolanik, dimana pozolanik ialah perilaku mengikat mineral lain yang ada di dalam lempung sehingga menjadi semakin keras dalam jangka waktu tertentu.

Komponen utama *fly ash* batubara adalah silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), besi oksida (Fe_2O_3), sisanya adalah karbon, kalsium, magnesium dan belerang. Rumus kimia *fly ash* batubara: $\text{Si}_{1.0}\text{Al}_{0.45}\text{Ca}_{0.51}\text{Na}_{0.047}\text{Fe}_{0.039}\text{Mg}_{0.020}\text{K}_{0.013}\text{Ti}_{0.011}$. Sifat kimia dari *fly ash* batubara dipengaruhi oleh jenis batu bara yang dibakar dan teknik penyimpanan serta penanganannya (Nurhayati, D.N., Bakti M., dkk, 2012). Berdasarkan komponen *fly ash* tersebut terdapat peraturan PP No. 85 Tahun 1999 tentang Perubahan atas Peraturan Pemerintah No. 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, *fly ash* dikategorikan sebagai limbah B3 karena terdapat kandungan oksida logam berat yang akan mencemari lingkungan.

1. Klasifikasi *fly ash*

Berdasarkan standar SNI 2460-2014, tentang spesifikasi abu terbang (*fly ash*) dan pozolan alam mentah atau yang telah dikalsinasi untuk digunakan dalam beton, ada beberapa jenis *fly ash* yang digolongkan dalam 3 jenis yaitu:

- a. Kelas N – pozolan alam mentah atau telah dikalsinasi memenuhi persyaratan yang berlaku untuk kelas N, misalnya beberapa tanah *diatomae* (hasil lapukan), batu rijang opalan dan serpihan, abu vulkanik atau batu apung, dan berbagai bahan yang memerlukan kalsinasi untuk menghasikan sifat-sifat yang di inginkan misalnya lempung dan serpihan.
- b. Kelas F – mempunyai sifat pozolanik, biasanya dihasilkan dari pembakaran antrasit atau batu bara bituminous, tetapi dapat juga dihasilkan dari batu bara subbituminous dan *lignite*.
- c. Kelas C – mempunyai sifat pozolanik dan sementisius, biasanya dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau batu bara subbituminous, dan dapat juga dihasilkan dari antrasit atau batu bara bituminous. Fly ash kelas C

mengandung kadar kalsium total, yang dinyatakan sebagai kalsium oksida (CaO), lebih tinggi dari 10%.

2. Sifat sifat *fly ash*

a. Sifat kimia

Tabel 1. Tabel persyaratan kandungan kimia *fly ash*

Senyawa	Kelas Campuran Mineral		
	F (%)	N (%)	C (%)
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	70	70	50
SO ₃	4	5	5
Moisture content	3	3	3
Loss of ignition	10	6	6
Alkali Na ₂ O	1.5	1.5	1.5

(ASTM C 618-96 volume 04.02) (dalam Kurniasari T.P, 2017)

b. Sifat fisik

Tabel 2. Tabel persyaratan fisik *fly ash*

No	Persyaratan Fisika	Kelas Campuran Mineral		
		F (%)	N (%)	C (%)
1	Jumlah yang tertahan ayakan 45 µm (ro.325)	34	34	34
2	Indeks aktivitas kekuatan :			
	Dengan semen umur 7 hari	75	75	75
	Dengan semen umur 28 hari	75	75	75
3	Kebutuhan air	115	105	105
4	Autoclave ekspansi atau Contraction	0.8	0.8	0.8
5	Density	5	5	5
6	% tertahan ayakan 45 µm	5	5	5

(ASTM C 618 – 96 volume 04.02) (dalam Kurniasari T.P, 2017)

3. Dampak limbah *fly ash*

Fly ash atau abu terbang merupakan salah satu jenis limbah dari suatu proses pembakaran dengan sumber bahan bakar dari batubara. *Fly ash* yang terbang bebas di udara dapat menjadi ancaman apabila terhirup karena mengandung banyak residu

kimia yang seharusnya tidak dihirup manusia, seperti, silicon dioksida SiO_2 , baik berupa kristal ataupun debu. Selain itu pada industri tertentu juga bercampur dengan besi ataupun kapur. Selain itu *fly ash* juga dapat berbahaya jika dibiarkan tertumpuk di landfill atau lahan kosong dan bercampur dengan air hujan karena akan ada peristiwa perliindihan yang terjadi secara alami dan akan menyerap ke dalam tanah, hasilnya air tanah pun terccemar dan tingkat kualitas air tanah pun menurun (Dayanun, Z.D., 2019).

C. Limbah serbuk kayu

Negara Indonesia mempunyai kekayaan alam yang sangat melimpah, salah satunya adalah kekayaan hutan yang menghasilkan kayu yang sangat melimpah jumlahnya maupun jenisnya. Kebutuhan akan kayu untuk industri semakin meningkat, sehingga penebangan hutan untuk dimanfaatkan kayunya otomatis semakin meningkat pula. Apalagi sekarang banyak hutan Indonesia ditebangi secara liar dan tidak terkontrol. Industri penggergajian, banyak menghasilkan limbah kayu yang berupa serbuk kayu (grajen) dan potongan kayu (tatal). Sisa serbuk penggergajian masih belum dapat dimaksimalkan secara optimal. Limbah penggergajian yang belum dimanfaatkan biasanya dibuang ataupun dibakar. Serta tidak dapat dihindarkan pemotongan kayu di lokasi kerja ataupun proyek, terutama untuk mendapatkan ukuran yang tepat pada masing-masing sambungan. jika limbah dibuang terus menerus tanpa adanya pengolahan yang maksimum dapat menimbulkan gangguan keseimbangan, dengan demikian menyebabkan lingkungan tidak berfungsi seperti semula dalam arti kesehatan, kesejahteraan dan keselamatan hayati (Saifuddin, I.M, dkk.)

Serbuk kayu adalah sisa dari pengolahan kayu yang dapat digunakan sebagai bahan tambah untuk kuat tekan beton. Serbuk kayu merupakan salah satu erat alami yang dapat digunakan sebagai zat tambah dalam campuran beton. Kayu terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Lignin merupakan unsur dari sel kayu yang mempunyai pengaruh yang buruk terhadap kekuatan serat (fiber). Kuat tekan

selulosa setelah diteliti sebesar 2000 MPa, sedangkan unsur lignin dalam kayu dapat menurunkan kuat Tarik sebesar 500 MPa (Salfuddin, I.M, 2013).

Limbah serbuk gergaji kayu menimbulkan masalah dalam penanganannya, yaitu dibiarkan membusuk, ditumpuk, dan dibakar yang kesemuanya berdampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu, penanggulangannya perlu dipikirkan. Salah satu jalan yang dapat ditempuh adalah memanfaatkannya menjadi produk yang bernilai tambah dengan teknologi aplikatif dan kerakyatan, sehingga hasilnya mudah disosialisasikan kepada masyarakat. Hasil evaluasi menunjukkan beberapa hal berprospek positif, sebagai contoh teknologi aplikatif dimaksud dapat diterapkan secara memuaskan dalam mengkonversi limbah industri pengolahan kayu menjadi briket, arang serbuk, briket arang, arang aktif, dan arang kompos (Billah,M. 2009)

Beberapa sifat-sifat serbuk kayu diantaranya sebagai berikut:

a. Sifat fisik serbuk kayu

Sifat-sifat ini antara lain daya hantar panas, daya hantar listrik, angka muai dan berat jenis. Perambatan panas pada kayu akan tertahan oleh pori-pori dan rongga-rongga pada sel kayu. Karena itu kayu bersifat sebagai penyekat panas, semakin banyak pori dan rongga udaranya kayu semakin kurang penghantar panasnya. Selain itu daya hantar panas juga dipengaruhi oleh kadar air kayu, pada kadar air yang tinggi daya hantar panasnya juga semakin besar.

b. Sifat higroskopik serbuk kayu

Akibat air yang keluar dari rongga sel dan dinding sel, kayu akan menyusut dan sebaliknya kayu akan mengembang apabila kadar airnya bertambah. Sifat kembang susut kayu dipengaruhi oleh kadar air, angka rapat kayu dan kelembaban udara.

c. Sifat mekanik serbuk kayu

Kayu bersifat anisotrop (non isotropic material), dengan kekuatan yang berbeda-beda pada berbagai arah. Sel kayu jika mendapat gaya tarik sejajar serat akan mengalami patah tarik sehingga kulit sel hancur dan patah. Jika

gaya tarik terjadi pada arah tegak lurus serat, maka gaya tarik menyebabkan zat lekat lignin akan rusak.

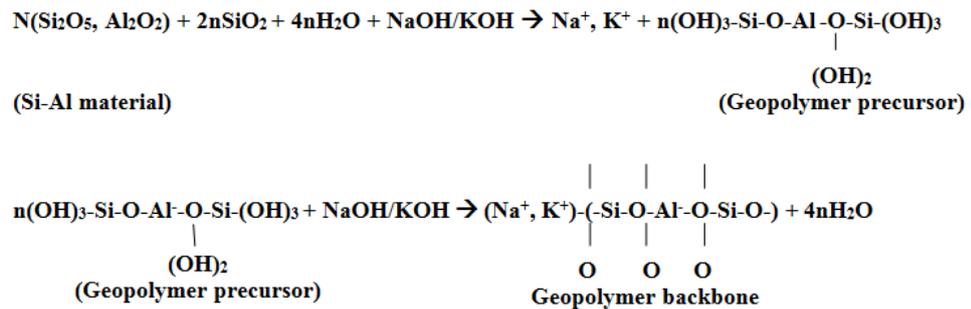
D. Geopolimer

Geopolimer pertama kali diperkenalkan oleh Joseph Davidovits pada tahun 70-an. Dinamakan demikian karena merupakan sintesa bahan-bahan alam nonorganik lewat proses polimerisasi. Bahan dasar utama yang diperlukan untuk pembuatan material geopolimer ini adalah bahan-bahan yang banyak mengandung unsur-unsur silikon dan aluminium. Prekursor yang digunakan dalam pembuatan geopolimer dapat berasal dari limbah industri yang mengandung mineral aluminosilikat. Limbah industri yang memiliki banyak kandungan alumina dan silika diantaranya adalah blast furnace slag, abu terbang, serbuk granit dan lumpur merah (Fitria G, 2019).

Davidovits, 1999 dalam Ridwan M, 2018 menyatakan “beton geopolimer terbentuk dari reaksi kimia bukan dari reaksi hidrasi seperti pada beton biasa. Proses pembuatan beton geopolimer membutuhkan alkali aktifator sebagai pereaksi kandungan silika dan alumina yang terkandung dalam *fly ash* karena *fly ash* tidak memiliki sifat cementious.” Aktivator yang umumnya digunakan adalah sodium hidoksida dan sodium silikat. Sodium silikat berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi, sedangkan natrium hidoksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung, sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat (Hardjito dkk, 2004 dalam Ridwan M, 2018). Semakin tinggi molaritas yang digunakan, maka semakin tinggi pula kuat tekan dan kuat belah yang dihasilkan. Walaupun demikian ditemukan bahwa beton geopolimer bersifat lebih getas dari pada beton konvensional.

Geopolimer merupakan polimer anorganik yang disintesis menggunakan campuran materi aluminosilikat (SiO_2 dan Al_2O_3) dan larutan basa kuat. Proses geopolimerisasi yang terjadi pada geopolimer terdiri dari disolusi dan polikondensasi, di mana prekursor geopolimer yang mengalami proses disolusi

pada permukaan partikel abu terbang akan menghasilkan ion Si_4^+ dan Al_3^+ , ion-ion ini mengalami proses hidrolisis membentuk species $\text{Si}(\text{OH})_4$ dan $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ yang kemudian terkondensasi menjadi polimer aluminosilikat dengan struktur jaringan (crosslink) 3 dimensi yang terdiri dari ikatan Si-O-Al dan Si-Si dengan mengeliminasi molekul air seperti pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Proses Geopolimerisasi (Rickard et al., 2011 dalam Fajri M.F dan Sumabrata J.R, 2017)

Salah satu sifat mekanik yang digunakan untuk menilai kualitas geopolimer adalah kuat tekan. Geopolimer berpotensi menghasilkan peningkatan kekuatan tekan dengan cara mengganti sebagian keciprekursor yang digunakan, yakni abu terbang dengan precursor lain, yaitu silica fume. Proses sintesis geopolimer tersebut dapat menggunakan metoda terpisah karena menghasilkan tingkat kekuatan yang lebih baik. Keuntungan lain dari penggunaan metoda ini adalah mampu mengontrol kinerja dari geopolimer.

Proses sintesis geopolimer menggunakan 2 jenis bahan baku (prekursor), yaitu sumber material dan larutan alkali. Pada sumber material harus memiliki kandungan utama silika (SiO_2) dan aluminium (Al_2O_3) yang dapat berasal dari mineral alam, seperti kaolin maupun limbah buangan dari industri terbang, silica fume, ampas biji besi (*blast furnace slag*) dan lain-lain. Sedangkan, larutan alkali yang digunakan dalam mengaktivasi prekursor geopolimer berupa sodium hydroxide (NaOH), potassium hydroxide (KOH), sodium silicate (Na_2SiO_3) dan potassium silicate (K_2SiO_3).

1. Sifat-sifat Geopolimer

Geopolymer memiliki sifat-sifat yang membedakannya dengan material lain, baik sifat fisik maupun kimia. Sifat fisik merupakan sifat yang dimiliki material tanpa bereaksi dengan bahan lain, termasuk sifat mekanik. Sedangkan sifat kimia adalah perilaku material apabila bereaksi secara kimia dengan bahan lain.

a. Sifat fisik geopolimer

Sifat fisik yang umumnya dimiliki beton geopolimer yaitu

- Penyusutan selama setting: $<0.05\%$, tidak dapat diukur
- Kuat tekan (uniaxial): >90 Mpa pada 28 hari (untuk kekuatan awal tinggi mencapai 20 Mpa setelah 4 jam)
- Kuat flexural: 10-15 Mpa pada 28 hari (untuk kekuatan awal tinggi mencapai 10 Mpa setelah 24 jam)
- Modulus young: >2 Gpa
- Freeze-thaw: massa yang hilang $<0.1\%$ (ASTM 4842), kekuatan yang hilang $<5\%$ setelah 180 siklus.
- Wet-dry: massa yang hilang $<0.1\%$ (ASTM 4843)

b. Sifat kimia geopolimer

Sifat kimia yang umumnya dimiliki geopolimer yaitu

- Ketahanan kimia geopolymer

Geopolymer yang direndam asam sulfat 10% hanya mengalami penyusutan massa 0.1 % perhari dan asam klorida 5% hanya menyebabkan penyusutan 1% per hari. Perendaman dengan KOH 50% hanya menyusut 0.02% perhari, larutan sulfat menyebabkan penyusutan 0.02% pada 28 hari, sedangkan larutan amonia tidak menyebabkan penyusutan massa pada geopolymer. Reaksi alkali agregat tidak terjadi pada geopolymer.

- Nilai pH antara 11,5-12,5. Bandingkan dengan pasta semen Portland yang memiliki pH antara 12-13.
- Pelarutan (leaching) dalam air, setelah 180 hari: $K_2O <0.015\%$
- Absorpsi air: $<3\%$, tidak terkait pada permeabilitas (Davidovit, 2008 dalam Kurniasari P.T, 2017).

2. Bahan Penyusun Geopolimer

Bahan penyusun geopolimer adalah prekursor dan aktivator, kedua bahan tadi akan bersintesa membentuk material padat dimana proses polimerisasinya yang terjadi adalah diikuti dengan proses polikondensasi.

a. Prekursor

Bahan mentah (*raw materials*) atau prekursor yang digunakan untuk bentuk geopolimer dapat berupa mineral alumina silikat alami seperti lempung atau limbah industri tanah lempung perlu dikalsinasi (*calcined*) pada suhu sekitar 650°C sebagai pengolahan awal untuk mengubah struktur kristal dari kristalin menjadi senyawa amorf yang reaktif. Limbah industri yang memiliki banyak kandungan alumina dan silica dapat digunakan sebagai prekursor geopolimer. Limbah industri yang termasuk ke dalam klasifikasi ini diantaranya adalah Blast Furnace Slag, abu terbang (*fly ash*), serbuk granit, dan lumpur merah (*red mud*).

b. Aktivator

Aktivator dibutuhkan untuk reaksi disolusi dan polimerisasi monomer alumina dan silica. Alkali melarutkan (disolusi) prekursor kedalam monomer (SiO_4) dan (AlO_4). Selama proses curing monomer-monomer tadi terkondensasi dan membentuk jaringan polimer tiga dimensi yang berikatan silang. Ion alkali bertindak sebagai penetral muatan untuk tiap molekul tetrabedron alumina. Larutan sodium silikat adalah aktivator yang secara umum digunakan Karena mudah didapat dan ekonomis. Kandungan sodium silikat menyediakan kation berikatan valensi satu (Na^+) sebagai aktivator dimana ion resi prokolnya Si^{4+} merupakan komposisi utama geopolimer sodium silikat terlarut dalam air, menyediakan lingkungan reaksi cairan padatan yang ideal untuk pelarutan material prekursor. Alkali Aktivator ialah aktivator yang akan mengikat oksida silika pada *fly ash* dan akan bereaksi secara kimia dan membentuk ikatan polimer. Alkali Aktivator secara umum digunakan adalah kombinasi antara larutan sodium silikat (Na_2SiO_3) dan natrium hidroksida (NaOH).

c. Proses Polimerisasi

Sintesa geopolimer aluminosilikat membutuhkan dua konstituen utama dalam reaksi pencampuran, yaitu: (1) Prekursor yang kaya akan kandungan Al dan Si; dan (2) larutan alkali silikat. Meskipun mekanisme polimerisasinya masih belum dapat dipastikan, Davidovits mengemukakan reaksi polimerisasi awal adalah berupa disolusi prekursor untuk membentuk monomer aluminat dan silikat. Kemudian dilanjutkan dengan proses polikondensasi. Sebagaimana digambarkan pada proses polimerisasi akan menghasilkan geopolimer dengan hasil samping H_2O . Perpanjangan lengan monomer $Si(OH)_4$ untuk membentuk monomer berinti -Si dengan sedikit grup OH, sebagian besar tergantung pada konsentrasi pH larutan tersebut. Kehadiran OH, tidaklah esensial pada proses disolusi silika, namun OH lebih bersifat sebagai katalis. Sebaliknya, pada disolusi alumina dari prekursor, OH dikonsumsi untuk menghidrolisis unsur Al untuk membentuk anion aluminat $Al(OH)_4$. Atas pertimbangan di atas, untuk mencapai disolusi yang sempurna pada pembentukan monomer aluminat dan silikat dibutuhkan larutan alkali aktivator yang mencukupi.

d. Kuat Tekan

Kuat tekan merupakan sifat yang paling penting bagi mortar ataupun beton. Kuat tekan dimaksud sebagai kemampuan suatu material untuk menahan suatu beban tekan. Kuat tekan mortar adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji mortar hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Tjokrodimulyo (1996) dalam Dayanun D.Z, (2019) menjelaskan bahwa “dalam teori teknologi beton dijelaskan bahwa faktor-faktor yang sangat mempengaruhi kekuatan beton adalah: factor air semen dan kepadatan, umur beton, jenis semen, dan sifat agregat”. Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan pasta dan mortar sebagai berikut (Cahyani, R., 2019)

a. Faktor air semen (f a s)

Faktor air semen adalah angka perbandingan antara berat air dan berat semen dalam campuran pasta atau mortar. Secara umum diketahui bahwa semakin tinggi nilai f.a.s maka semakin rendah mutu kekuatan beton. Namun demikian, nilai f.a.s. yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Nilai f.a.s. yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun

b. Jumlah Semen

Pada mortar dengan f.a.s sama, mortar dengan kandungan semen lebih banyak belum tentu mempunyai kekuatan lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena jumlah air yang banyak, demikian pula pastinya, menyebabkan kandungan pori lebih banyak daripada mortar dengan kandungan semen yang lebih sedikit. Kandungan pori inilah yang mengurangi kekuatan mortar. Jumlah semen dalam mortar mempunyai nilai optimum tertentu yang memberikan kuat tekan tinggi.

c. Umur Mortar

Kekuatan mortar akan meningkat seiring dengan bertambahnya umur dimana pada umur 28 hari pasta dan mortar akan memperoleh kekuatan yang diinginkan.

d. Sifat Agregat

Sifat agregat yang berpengaruh terhadap kekuatan ialah bentuk, kekasaran permukaan, kekerasan dan ukuran maksimum butir agregat. Bentuk dari agregat akan berpengaruh terhadap *interlocking* antar agregat.

E. Mortar

Menurut SNI 03-6825-2002 mortar didefinisikan sebagai campuran material yang terdiri dari agregat halus (pasir), bahan perekat (tanah liat, kapur, semen portland) dan air dengan komposisi tertentu.

Mortar adalah campuran semen, pasir dan air yang memiliki persentase yang berbeda. Sebagai bahan pengikat, mortar harus mempunyai kekentalan standar. Kekentalan standar mortar ini nantinya akan berguna dalam menentukan kekuatan mortar yang menjadi plasteran dinding, sehingga diharapkan mortar yang menahan gaya tekan akibat beban yang bekerja padanya tidak hancur (Mulyono, 2003 dalam Sari, A.M.Y, 2019). Mortar yang baik harus memiliki kuat tekan tinggi dan sifat fisis yang baik sehingga kualitas mortar memenuhi syarat SNI. Fungsi mortar yang baik harus awet atau tahan lama, mudah dikerjakan, tahan terhadap unsur perusak, selain itu fungsi utama mortar adalah menambah lekatan dan ketahanan ikatan dengan bagian-bagian penyusun suatu konstruksi.

Berdasarkan SNI 03-6882-2002 mortar dapat dibedakan atas 4 tipe, yaitu:

1. Mortar Tipe M

Mortar tipe M merupakan campuran dengan kuat tekan yang tinggi yang direkomendasikan untuk pasangan bertulang maupun pasangan tidak bertulang yang akan memikul beban tekan yang besar. Kuat tekan minimumnya 17,2 MPa.

2. Mortar Tipe S

Tipe S merupakan mortar yang umum digunakan untuk struktur yang akan memikul beban tekan normal tetapi dengan kuat lekat lentur yang diperlukan untuk menahan beban besar yang berasal dari tekanan tanah, angin dan beban gempa. Karena keawetannya yang tinggi, mortar tipe S juga direkomendasikan untuk struktur pada atau di bawah tanah, serta yang selalu berhubungan dengan tanah, seperti pondasi, dinding penahan tanah, dan saluran pembuangan. Kuat tekan minimumnya adalah 12,4 MPa.

3. Mortar Tipe N

Mortar tipe ini direkomendasikan untuk konstruksi pasangan di atas tanah. Mortar ini direkomendasikan untuk dinding penahan beban interior maupun eksterior. Mortar dengan kekakuan sedang ini memberikan kesesuaian yang paling baik antara kuat tekan dan kuat lentur yang direkomendasikan untuk aplikasi konstruksi umumnya. Kuat tekan minimumnya adalah 5,2 MPa.

4. Mortar Tipe O

Mortar tipe O merupakan mortar dengan kandungan kapur tinggi dan kuat tekan yang rendah. Mortar tipe ini direkomendasikan untuk dinding interior dan eksterior yang tidak menahan beban struktur, mortar tipe ini jarang digunakan untuk konstruksi baru, dan direkomendasikan dalam ASTM C270 hanya untuk konstruksi bangunan lama yang umumnya menggunakan mortar kapur. Kuat tekan minimumnya adalah 2,4 MPa.

Berdasarkan jenis bahan ikatnya, mortar dapat dibagi menjadi empat jenis yaitu (Simanullang, 2014 dalam Sari, A.M.Y, 2019):

1. Mortar lumpur merupakan campuran yang terdiri dari pasir, lumpur dan air. Jumlah pasir yang diberikan harus tetap agar memperoleh adukan yang baik, apabila terlalu sedikit maka akan menghasilkan mortar yang retak-retak setelah mengeras, dan apabila terlalu banyak maka menyebabkan adukan kurang dapat melekat dengan baik.
2. Mortar kapur merupakan campuran yang terdiri dari pasir, kapur, semen merah dan air. Kapur dan pasir mula-mula dicampur dalam keadaan kering kemudian ditambahkan air. Selama proses pelekatan kapur mengalami susutan sehingga jumlah pasir yang umum digunakan adalah tiga kali volume kapur.
3. Mortar semen terbuat dari adukan semen, pasir dan air. Mortar semen sering digunakan untuk bagian luar (dinding/tembok) pasta yang disebut pasta semen.
4. Mortar khusus diperoleh dengan menambahkan zat aditif seperti asbestos fibres, jutes fibres (serat alami), butir-butir kayu, serbuk gergaji kayu dan serbuk kaca. Mortar khusus digunakan dengan tujuan dan maksud tertentu.

F. Penelitian Terdahulu

- a. Pemanfaatan abu terbang (*fly-ash*) dan *silica fume* sebagai bahan utama geopolimer alternatif pengganti semen tradisional (opc) (Fadhil Muhammad Fajri dan R. Jachrizal Sumabrata. 2017)

Penelitian ini menggunakan bahan utama fly ash (abu terbang), silica fume, dan dengan bantuan larutan alkali natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat (Na_2SiO_3). Geopolimer merupakan polimer anorganik yang dapat digunakan sebagai alternative pengganti semen. Dengan sifat menghasilkan emisi CO_2 yang lebih sedikit, geopolimer yang memanfaatkan limbah industri sebagai pengganti semen, dapat berkontribusi dalam memperlambat kerusakan permukaan bumi dan atmosfer. Selain itu, berdasarkan karakterisasi melalui tes kuat tekan, kuat lentur, XRD, XRF, SEM, dan AAS peneliti menyimpulkan bahwa pasta geopolimer hasil penelitian cukup memenuhi kriteria untuk digunakan pada kegiatan konstruksi umum. Kuat tekan dan kuat lentur mencapai maksimum ketika konsentrasi larutan NaOH 12.5M, walaupun saat penambahan silica fume kuat tekan menurun karena pembentukan void.

- b. Fly ash sebagai alternatif pengganti semen pada beton geopolimer ramah lingkungan (Indrayani, Jessica Delvianty, dkk. 2019)

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dimana pada tahap ini dilakukan pencampuran semua agregat yang telah dilakukan pengujian sebelumnya, dengan variasi komposisi campuran fly ash sebagai pengganti semen dan campuran larutan alkali ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$) dengan perbandingan sebesar 1:1, 3:1, dan 5:1. Setiap variasi komposisi membuat 3 buah benda uji, setiap satu variasi benda uji dibuat 3 waktu pengujian yaitu 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh fly ash dan larutan alkali ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$) terhadap kuat tekan beton. Berdasarkan hasil penelitian pengujian kuat tekan beton normal pada umur 28 hari didapatkan nilai kuat tekan sebesar 232,59 kg/cm, sedangkan pada beton geopolimer dengan perbandingan 1 : 1 pada umur 28 hari didapatkan kuat tekan sebesar 13,33 kg/cm², jika dibandingkan dengan kekuatan beton normal maka nilai kuat tekan ini berada jauh dibawah kekuatan beton normal pada umur yang sama, sehingga beton geopolimer dengan perbandingan 1 : 1 tidak dapat digunakan sebagai pengganti beton

normal. Namun Kuat tekan beton geopolimer dengan perbandingan 3:1 pada umur 28 hari sebesar $237,78 \text{ kg/cm}^2$, nilai kuat tekan ini lebih tinggi 2,18% dari kuat tekan beton normal pada umur yang sama, dari hasil ini maka beton geopolimer dengan perbandingan 3 : 1 dapat digunakan sebagai pengganti beton normal. Sedangkan kuat tekan beton polimer dengan perbandingan 5 : 1 pada umur 28 hari sebesar $395,56 \text{ kg/cm}^2$, nilai kuat tekan mengalami kenaikan sebesar 41,20% dari kuat tekan beton normal. Penulis menyimpulkan bahwa semakin tinggi perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$, maka kuat tekan beton geopolimer dengan menggunakan fly ash semakin tinggi, sehingga dapat digunakan sebagai pengganti semen.

- c. Pemanfaatan limbah abu terbang (*fly ash*) batu bara sebagai bahan campuran beton geopolimer (Julharmito, Ahmad Fadli, dkk. 2015)

Penelitian ini, dilakukan untuk mengetahui pengaruh perbandingan Konsentrasi KOH : 8M, 10M, 12M , 14M dan Perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{KOH}$: 0,8,1,2, 1,6, dan 2,0 terhadap kuat tekan beton geopolimer. Tidak hanya itu pengujian kandungan berat dilakukan dalam penelitian ini. Berdasarkan hasil penelitian, ditemukan bahwa peningkatan konsentrasi KOH dalam pembuatan beton geopolimer memberikan hasil kuat tekan yang lebih baik, pada konsentrasi KOH 14M diperoleh kuat tekan tertinggi sebesar 30,26 MPa sedangkan pada konsentrasi 8M diperoleh kuat tekan terendah sebesar 14,73 MPa. Perbandingan rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{KOH}$ yang besar berpengaruh terhadap kekuatan mekanik beton geopolimer. Rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{KOH}$ 1.2 menghasilkan kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{KOH}$ 0.8, begitu juga dengan rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{KOH}$ 2.0 menghasilkan kuat tekan yang lebih baik dibandingkan dengan rasio $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{KOH}$ 1.6, dan pada pengujian kandungan logam berat diperoleh bahwa kandungan logam berat pada beton geopolimer memenuhi baku mutu peraturan Pemerintah Nomor 101 tahun 2014.

- d. Studi eksperimental kuat tekan dan lindi geopolimer fly ash mortar (Faradillah Syahrin Fatiha, 2018)

Pada penelitian ini, geopolimer mortar dibuat dengan menggunakan curing (perawatan) curing oven 24 jam, curing oven 48 jam, dan curing udara. Dengan dikategorikannya FA sebagai limbah B3 maka dilakukan uji karakteristik lindi guna mengetahui batasan untuk dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Uji karakteristik lindi ini digunakan dengan mengacu pada DIN 38414-S4 menggunakan mortar curing 48 jam. Hasilnya nilai kandungan senyawa kimia pada benda uji berada di bawah limit yang diizinkan. Selain itu, sebagai bahan konstruksi bangunan maka perlu dilakukan uji kuat tekan. Uji kuat tekan dilakukan dengan menggunakan 3 buah mortar di setiap curing oven 24 jam, curing oven 48 jam, dan curing udara yang di uji di hari ke tiga hari, ke-14 hari, ke-21 hari, dan ke-28 hari. Untuk hari ke-28, nilai kuat tekan pada curing oven 24 jam, curing oven 48 jam, dan curing udara secara berurut yaitu 18,29 MPa, 25,87 MPa, dan 9,00 MPa.

- e. Pengaruh molaritas alkali aktivator terhadap karakteristik geopolimer limbah serbuk kayu sebagai bahan bangunan ringan (Darasita Zahra Dayanun. 2019)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh molaritas alkali aktivator terhadap karakteristik geopolimer limbah fly ash dan serbuk kayu sebagai bahan bangunan ringan. Berdasarkan hasil penelitian, ditemukan bahwa semakin bertambahnya alkali aktivator yang terkandung pada mortar maka semakin banyak pula fungi yang timbul akibat proses perliindian secara alami, serta dalam penggunaan serbuk kayu yang dibagi menjadi 4 variasi, semakin bertambahnya serbuk kayu maka semakin rendah pula kuat tekan dan berat jenis mortar, tetapi semakin rendah potensi pola keretakan permukaan pada mortar. Selain itu peneliti juga menyimpulkan bahwa limbah fly ash dan limbah serbuk kayu sangat berpotensi menjadi material bahan bangunan ringan yang bisa dimanfaatkan untuk mengganti semen apabila ditambahkan alkali (sodium silica dan natrium dioksida) untuk

mengikat, hanya saja dari sisi ekonomi lebih tinggi jika dibandingkan dengan semen yang pada umumnya selalu digunakan dalam material bahan bangunan, tetapi sangat berdampak positif untuk meminimalisir penggunaan semen dan pencemaran udara.

- f. Pengaruh rasio alkali aktivator terhadap karakteristik geopolimer limbah serbuk kayu sebagai bahan bangunan ringan (Ghina Fitria. 2019)

Penelitian ini memanfaatkan limbah abu terbang, serbuk kayu, serta penambahan NaOH dan Na_2SiO_3 sebagai alkali aktivator dengan rasio alkali aktivator yang berbeda yaitu 1.5, 2.0, 2.5, dengan NaOH sebanyak 8M, serta komposisi serbuk kayu dengan variasi, yaitu 0%, 5%, 10%, dan 15% terhadap berat abu terbang. Berdasarkan hasil penelitian disimpulkan bahwa Rasio alkali aktivator sangat berpengaruh pada kuat tekan mortar saat di uji. Benda uji mortar dengan rasio alkali 2.5 dan serbuk kayu 15% memiliki kuat tekan paling rendah dibandingkan rasio alkali 1.5 dan 2.0, sedangkan kuat tekan tertinggi terjadi pada mortar dengan rasio 1.5 dan variasi serbuk kayu 0%. Hal ini membuktikan bahwa semakin besar rasio alkali aktivator yang dicampurkan, maka semakin rendah kuat tekan yang dihasilkan. Selain itu, penambahan rasio alkali aktivator juga berpengaruh pada visualisasi mortar, dimana semakin tinggi rasio yang ditambahkan, timbulnya efflorescence di permukaan mortar akan semakin banyak. Serta pada penelitian ini Mortar yang diuji termasuk dalam kategori mortar tipe M, N, S dan O. Dimana dalam SNI 03-6882-2002 mortar tipe tersebut dapat diaplikasikan pada dinding pemikul beban, partisi bukan pemikul beban, serta dekoratif dan pelindung.