

TUGAS AKHIR

**STUDI GEOPOLIMER *FLY ASH* – SERBUK KAYU SEBAGAI
MATERIAL DINDING PEREDAM SUHU PANAS**



MUH. ICHWANUL IMAN I.

D121 16 312

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2021

TUGAS AKHIR

**STUDI GEOPOLIMER *FLY ASH* – SERBUK KAYU SEBAGAI
MATERIAL DINDING PEREDAM SUHU PANAS**



MUH. ICHWANUL IMAN I.

D121 16 312

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2021



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 untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa.

Judul : *Studi Geopolymer Fly Ash - Serbuk Kayu Sebagai Material Dinding Peredam Suhu Panas*

Disusun Oleh :

Nama : Muh. Ichwanul Iman Iswara

NIM : D12116312

Telah diperiksa dan disetujui
Oleh Dosen Pembimbing

Gowa, 18 Mei 2021

Pembimbing I

Dr. Eng. Ibrahim Djamaluddin, S.T., M.Eng.
NIP. 197512142015041001

Pembimbing II

Dr. Eng. Akbar Caronge, S.T., M.Eng.
'198604092019043001

Menyetujui,
Ketua Departemen Teknik Lingkungan

Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T
NIP. 197204242000122000

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Muh. Ichwanul Iman I., dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “**Studi Geopolimer Fly Ash - Serbuk Kayu Sebagai Material Dinding Peredam Suhu Panas**”, 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, 20 Mei 2021

Yang membuat pernyataan,



Muh. Ichwanul Iman I.
Muh. Ichwanul Iman I.

D121 16 312

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Studi Geopolimer *Fly Ash* - Serbuk Kayu sebagai Material Dinding Peredam Suhu Panas”. Shalawat dan salam selalu tercurahkan kepada junjungan seluruh umat manusia Nabi Muhammad SAW, pimpinan dan sebaik-baik teladan bagi umat manusia.

Tujuan penulisan tugas akhir ini ialah untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) bagi mahasiswa S1 di Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik 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. Pencapaian tugas akhir ini tidak terlepas dari jasa-jasa orang tua penulis. Terima kasih yang tak terhingga dan doa yang selalu menyertai penulis ucapkan kepada Ayahanda Iswara Gautama dan Ibunda Anniy Abu Hasan yang senantiasa tak henti-hentinya memberikan doa dan dukungan dalam bentuk apapun. Semoga selalu bahagia dan selalu dalam lindungan Allah SWT. Ucapan terima kasih juga penulis ucapkan kepada saudara dan seluruh keluarga yang terus memberikan doa yang terbaik untuk penulis.

Penulisan tugas akhir ini juga tidak terlepas dari bantuan, dukungan, dorongan serta bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Dr. Eng. Ibrahim Djamaluddin, S.T., M. Eng, selaku Pembimbing I yang telah meluangkan waktu serta senantiasa memberikan pengarahan selama penelitian.

2. Dr. Eng. Muh. Akbar Caronge, S.T., M.T, selaku Pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktu, tenaga serta memberikan pengarahan selama penelitian.
3. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T, selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Lingkungan serta Ibu Sumi dan Kak Olan selaku staf yang selalu siap sedia membantu mahasiswa dalam menyelesaikan berkas-berkas.
6. St. Rahma Dzulalma Sebrilliana (Alma) yang dari awal selalu mendukung, berkorban, memberi motivasi dan selalu membantu penulis selama pengerjaan skripsi ini. Semoga selalu bersama-sama dalam suka maupun duka dengan penulis.
7. Fachmy Musfirah selaku *partner* penelitian saya yang selalu menyempatkan waktunya untuk datang ke kampus selama pembuatan dan pengujian benda uji walaupun dalam masa pandemik *covid-19*.
8. Teman-teman Lingkungan angkatan 2016 yang selalu memberikan saran dan masukan kepada penulis selama pengerjaan skripsi ini dan sudah mau berteman dengan penulis pada saat perkuliahan.
9. Slampet, Ciwal, Bohlam, Nando, Sita, dan Nat (D'*cancubels*) selaku teman bermain *mobile legend*, teman bereksperimen dalam pembuatan palekko, teman penjelajah waktu dan teman yang selalu memberi dukungan walaupun dukungannya hanya melalui firasat saja.
10. Kakanda Dodi, Kakanda Raihan, Ollex, Emots, Dalauleng, Niaji, dan Asseji (*Squad Gorra'*) selaku *partner* Kerja Praktek saya yang selama kurang lebih 2 bulan lamanya di Petrokimia Gresik berjuang bersama-sama mengayuh sepeda yang seringkali rantainya putus walaupun itu hanya rantai saya saja.
11. *Herd Immunity* sebagai *circle* baru saya di era *covid-19* yang selalu ada acara makan-makannya di masa PSBB.

12. Teman-teman seperjuangan Kelas B dan lab riset sanitasi dan persampahan yang slalu hadir di kelas dan selalu mengabsenkan saya di kelas dikala saya tidak hadir.
13. Teman-teman KKN saya di posko Desa Batulohe Kabupaten Bulukumba terima kasih sudah menemani saya ber-kkn yang *santuy* dan tidak membosankan.
14. Saudara-saudari se-patron 2017 yang telah mewarnai perkuliahan saya sejak maba di Fakultas Teknik Unhas hingga menjadi *legend* di kampus teknik unhas.
15. Serta semua pihak yang namanya tidak disebutkan satu persatu terima kasih atas segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan.

Penulis menyadari bahwa 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 Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk kedepannya dan menjadi pengembangan ilmu pengetahuan.

Gowa, 20 Mei 2021

Penulis

Muh. Ichwanul Iman I.

D12116312

ABSTRAK

MUH. ICHWANUL IMAN I. *Studi Geopolimer Fly Ash – Serbuk Kayu Sebagai Material Dinding Peredam Suhu Panas* (dibimbing oleh Ibrahim Djamaluddin dan M. Akbar Caronge).

Semen *Portland* menjadi material yang sangat penting dan banyak digunakan untuk membangun berbagai infrastruktur. Dengan adanya pembangunan infrastruktur yang semakin hari semakin meningkat mengakibatkan produksi semen yang meningkat pula. Penggunaan bahan bangunan tanpa kendali akan merusak lingkungan dan berkontribusi terhadap pemanasan global, dimana merupakan suatu bentuk ketidakseimbangan ekosistem di bumi akibat terjadinya proses peningkatan suhu rata-rata atmosfer, laut dan daratan di bumi, Dengan perkembangan teknologi dibidang rekayasa material yang semakin pesat, maka para ahli melakukan upaya untuk menanggulangi masalah tersebut, salah satunya dengan menggunakan bahan limbah sebagai bahan alternatif lain yang dapat menggantikan atau mengurangi posisi semen. Penelitian ini menggunakan material *fly ash*, serbuk kayu dan larutan alkali aktivator (NaOH dan Na₂SiO₃). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh campuran serbuk kayu dengan limbah *fly ash* terhadap *thermal performance* (kemampuan meredam suhu panas) sebagai material dinding. Metodologi yang digunakan bersifat eksperimental yang dilakukan di laboratorium dengan variasi penambahan serbuk kayu, yaitu 0%, 5%, 10% dan 15%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa substitusi serbuk kayu pada benda uji dapat meredam suhu panas. Dari 4 (empat) variasi benda uji yang diteliti, yang paling baik mereduksi panas adalah variasi 10%, dimana substitusi 10% serbuk kayu menunjukkan selisih suhu yang tinggi jika dibandingkan dengan benda uji normal (0% serbuk kayu).

Kata Kunci : Geopolimer, *Fly Ash*, Serbuk Kayu, *Thermal Performance*

ABSTRACT

MUH. ICHWANUL IMAN I. *Study of Fly Ash Geopolymer - Sawdust as a Heat Reduction Wall Material* (supervised by Ibrahim Djamaluddin and M. Akbar Caronge).

Portland cement is a very important material and is widely used to build various infrastructures. With the existence of infrastructure development which is increasing day by day, it has resulted in increased cement production as well. The use of building materials without control will damage the environment and contribute to global warming, which is a form of ecosystem imbalance on earth due to the process of increasing the average temperature of the atmosphere, sea and land on earth. The expert has made efforts to overcome this problem, one of which is by using waste materials as an alternative material that can replace or reduce the position of cement. This study used fly ash, sawdust and activator alkaline solutions (NaOH and Na₂SiO₃). The purpose of this study was to determine the effect of a mixture of sawdust and fly ash waste on thermal performance as a wall material. The method that used in this study was experimental in the laboratory with variations in the addition of sawdust, which were 0%, 5%, 10% and 15%. The results showed that the substitution of sawdust on the specimen can reduce the heat. Of the 4 (four) variations of the tested specimens studied, the best to reduce heat was the 10% variation, where the 10% substitution of sawdust showed a high difference in temperature when compared to normal specimens (0% sawdust).

Keywords: Geopolymer, Fly Ash, Wood Powder, Thermal Performance

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Batasan Masalah	3
E. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Semen	6
1. Teori Semen	6
2. Bahan Baku Pembuatan Semen <i>Portland</i>	8

3.	Jenis-Jenis Semen <i>Portland</i>	8
4.	Dampak Produksi Semen	9
	a. Lahan	9
	b. Air	9
	c. Flora dan Fauna	10
B.	Geopolimer	11
C.	<i>Fly Ash</i>	12
1.	Pembagian Jenis Abu Terbang (<i>Fly-Ash</i>)	13
2.	Sifat Fisik Abu Terbang (<i>Fly-Ash</i>)	15
	a. Bentuk dan warna (Suarnita dalam Ilmiah, 2011)	15
	b. Sifat <i>pozzolan</i> (Suarnita dalam Ilmiah, 2011)	15
	c. Kepadatan (<i>density</i>) (Suarnita dalam Ilmiah, 2011)	15
	d. Hilang pijar (Suarnita dalam Ilmiah, 2011)	16
3.	Keuntungan dan Kelemahan Penggunaan <i>Fly Ash</i>	16
4.	Dampak Limbah <i>Fly Ash</i>	17
5.	Potensi Limbah <i>Fly Ash</i> sebagai Material <i>Geopolymer</i>	17
	a. Produksi <i>Fly Ash</i> di Dunia	17
	b. Produksi <i>Fly Ash</i> di Indonesia	18
	c. Produksi <i>Fly Ash</i> di Sulawesi Selatan	18
D.	Serbuk Kayu	19
1.	Sifat Fisik Serbuk Kayu	20
2.	Sifat Higroskopik Serbuk Kayu	20
3.	Sifat Mekanik Serbuk Kayu	21

4.	Potensi Limbah Serbuk Kayu sebagai Material <i>Geopolymer</i>	21
a.	Produksi Limbah Serbuk Kayu di Indonesia	21
b.	Produksi Limbah Serbuk Kayu di Sulawesi Selatan	22
E.	Alkali Aktivator (Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida)	22
1.	Sodium Silikat (Na_2SiO_3)	23
2.	Sodium Hidroksida (NaOH)	24
F.	Konduktivitas <i>Thermal</i>	24
G.	Penelitian Terdahulu	25

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A.	Bagan Alir Penelitian	29
B.	Tempat dan Waktu Penelitian	31
C.	Jenis Penelitian dan Sumber Data	32
D.	Alat dan Bahan Penelitian	32
1.	<i>Thermometer</i> Suhu	32
2.	<i>Styrofoam</i>	33
3.	Mesin Pencampur Bahan (<i>Mixer</i>)	33
4.	Plat Balok	34
1.	Limbah <i>Fly Ash</i>	34
2.	Limbah Serbuk Kayu	34
3.	Larutan Na_2SiO_3 dan NaOH	35
E.	Rancang Campuran	36
F.	Pembuatan Benda Uji	37

G.	Uji Berat Jenis Benda Uji	38
H.	Uji Kuat Tekan	38
I.	Pengujian <i>Thermal Performance</i>	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
A.	Berat Jenis Benda Uji	42
B.	Kuat Tekan	43
C.	Pengujian <i>Thermal Performance</i>	44
1.	Variasi 1	44
2.	Variasi 2	46
3.	Variasi 3	49
4.	Variasi 4	51
BAB V PENUTUP		
A.	Kesimpulan	56
B.	Saran	56
DAFTAR PUSTAKA		57
LAMPIRAN		59

DAFTAR TABEL

	Halaman
1. Komposisi Kandungan <i>Fly-Ash</i>	14
2. Persyaratan Mutu Abu Terbang	15
3. Komposisi campuran <i>geopolymer fly ash</i> dan limbah serbuk kayu mortar untuk 8 M.	37
4. Jenis Jenis Beton Berdasarkan Berat Jenis dan Pemakaiannya	38
5. Spesifikaasi Kuat Tekan Mortar Menurut SNI 03-6882-2002	39

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1. Semen	6
2. Ilustrasi Emisi CO ₂ dalam Produksi Semen <i>Portland</i>	11
3. Limbah <i>Fly Ash</i> Batubara	13
4. Limbah Serbuk Kayu	19
5. Bagan Alir Penelitian	31
6. <i>Thermometer</i> Suhu	32
7. <i>Styrofoam</i>	33
8. <i>Mixer</i>	33
9. Plat Balok	34
10. Limbah <i>Fly Ash</i>	34
11. Serbuk Kayu	35
12. Larutan Na ₂ SiO ₃ dan NaOH	35
13. Pengujian <i>Thermal Performance</i>	40
14. Ilustrasi Cara Pengukuran <i>Thermal Performance</i>	40
15. Grafik Berat Jenis Benda Uji Berdasarkan Variasi	42
16. Persentase Perubahan Berat Jenis Terhadap Variasi 0%	42
17. Grafik Kuat Tekan Rata-Rata Benda Uji Berdasarkan Variasi	43
18. Grafik Hasil Uji <i>Thermal Performance</i> Variasi Benda Uji 0% Terhadap Waktu a. Suhu Luar; b. Suhu Dalam; c. Perbedaan Suhu Luar dan Suhu Dalam	45
19. Grafik Hasil Uji <i>Thermal Performance</i> Variasi Benda Uji 5% Terhadap Waktu a. Suhu Luar; b. Suhu Dalam;	47

	c. Perbedaan Suhu Luar dan Suhu Dalam	
20.	Grafik Hasil Uji <i>Thermal Performance</i> Variasi Benda Uji 10% Terhadap Waktu a. Suhu Luar; b. Suhu Dalam; c. Perbedaan Suhu Luar dan Suhu Dalam	50
21.	Grafik Hasil Uji <i>Thermal Performance</i> Variasi Benda Uji 15% Terhadap Waktu a. Suhu Luar; b. Suhu Dalam; c. Perbedaan Suhu Luar dan Suhu Dalam	52
22.	Grafik Selisih Pengukuran Suhu Dalam dan Suhu Luar Terhadap Waktu	54
23.	Grafik Perbandingan Selisih Suhu Benda Uji Pukul 10:00, 12:50 dan 14:00 Terhadap Variasi	54

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1. Alat yang digunakan selama penelitian	59
2. Proses Pembuatan Benda Uji	62
3. Proses Pengujian Benda Uji	65

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Beton sebagai material bangunan paling populer, tersusun dari komposisi utama agregat kasar, agregat halus, air, dan Semen *Portland* menjadi material yang sangat penting dan banyak digunakan untuk membangun berbagai infrastruktur. Dengan adanya pembangunan infrastruktur yang semakin hari semakin meningkat mengakibatkan produksi semen yang meningkat pula.

Penggunaan bahan bangunan tanpa kendali akan merusak lingkungan dan berkontribusi terhadap pemanasan global. Pemanasan global atau *global warming* adalah suatu bentuk ketidakseimbangan ekosistem di bumi akibat terjadinya proses peningkatan suhu rata-rata atmosfer, laut, dan daratan di bumi. Pemanasan global sendiri merupakan fenomena peningkatan temperatur global dari tahun ke tahun karena terjadinya efek rumah kaca atau *green house effect* yang disebabkan oleh meningkatnya emisi gas-gas seperti karbondioksida (CO₂), metana (CH₄), dinitroksida (N₂O) dan CFC sehingga sinar matahari terperangkap dalam atmosfer bumi. Menurut *International Energy Authority, World Energy Outlook*, jumlah CO₂ yang dilepaskan pada saat produksi semen mencapai 7% dari keseluruhan CO₂ yang dihasilkan berbagai sumber.

Dengan perkembangan teknologi dibidang rekayasa material yang semakin pesat, maka para ahli melakukan upaya untuk menanggulangi masalah tersebut. Salah satu upaya yang telah dilakukan yaitu dengan menggunakan bahan limbah sebagai bahan alternatif lain yang dapat menggantikan atau mengurangi posisi semen dalam campuran beton.

Dapat dikatakan ramah lingkungan, karena campuran beton yang dibuat akan menggantikan semen seutuhnya dengan menggunakan bahan-bahan industri buangan. Campuran beton tersebut dikenal dengan nama *geopolymer*. Beton *geopolymer* ini dapat terbentuk dari bahan baku yang banyak mengandung unsur

silika dan aluminium. Unsur tersebut banyak didapati pada hasil buangan industri, salah satunya *fly ash* (hasil abu sisa pembakaran batu bara).

Berdasarkan PP No. 85 tahun 1999 tentang pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3), *fly ash* dikategorikan sebagai limbah B3 karena terdapat kandungan oksida logam berat yang akan mengalami pelindihan secara alami dan mencemari lingkungan. Pemanfaatan limbah abu terbang (*fly ash*) batubara menjadi suatu produk merupakan salah satu cara dalam mengatasi limbah yang dihasilkan. Selain dapat meningkatkan nilai ekonomisnya, proses pemanfaatan limbah abu terbang (*fly ash*) juga mengurangi jumlah dan dampak buruknya terhadap lingkungan. Saat sekarang ini, pemanfaatan abu terbang (*fly ash*) batubara sering digunakan sebagai salah satu bahan campuran pembuatan beton yang mengandung senyawa kimia bersifat *pozzolan* seperti alumina dan silika. Oleh karena itu, abu terbang (*fly ash*) ini cocok untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku konstruksi bangunan (Sari N.U, dkk. 2015). Zat tersebut tidak dapat bereaksi sendiri untuk proses pengikatannya, tetapi juga membutuhkan senyawa alkalin sebagai aktifator (NaOH) dan katalisator (Na_2SiO_3).

Kayu merupakan salah satu material yang limbahnya dapat dimanfaatkan dengan bijak. Supangat (2015) dalam Fitriana (2015) menyebutkan bahwa berdasarkan data Balai Besar Latihan Masyarakat (BBLM) Yogyakarta terdapat 124 industri pengolahan kayu di Temanggung, industri pengolahan kayu tersebut menghasilkan sedikitnya 200 ton limbah gergaji per hari. Sampai saat ini serbuk kayu hanya dibiarkan membusuk, ditumpuk, dan dibakar yang dapat berdampak negatif terhadap lingkungan, sehingga penanggulangannya perlu dipikirkan. Menurut Miniati (2014), jika limbah padat ditimbun dan membusuk karena adanya mikroorganisme musim kemarau dan hujan, terjadi proses pemecahan bahan organik oleh bakteri penghancur dalam suasana aerob/anaerob. Substansi pencemar yang terdapat di udara dapat masuk ke dalam tubuh melalui sistem pernafasan. Dampak kesehatan paling umum adalah ISNA (Infeksi Saluran Nafas Atas), termasuk di antaranya asma, bronkitis, dan gangguan pernafasan lainnya. Meskipun beberapa produsen mebel telah berupaya menjadikan serbuk kayu sebagai bahan dasar maupun bahan tambah, namun upaya tersebut masih perlu

dikembangkan agar limbah yang dihasilkan kayu dapat bermanfaat secara optimal.

Kayu memiliki sifat insulator panas yang baik (penghantar panas yang kurang baik), sehingga kayu dengan bentuk serbuk diharapkan dapat menahan panas lebih baik untuk sebagai bahan baku konstruksi bangunan. Oleh karenanya dibutuhkan uji konduktivitas termal untuk campuran serbuk kayu dan 100% *fly ash* dengan berbagai variasi. Dengan penelitian ini diharapkan serbuk kayu nantinya dapat dijadikan bahan baku atau campuran isolator yang lebih murah dan ramah lingkungan tetapi tetap memiliki sifat isolator yang baik.

Berdasarkan uraian tersebut maka penulis akan melakukan penelitian dengan judul “**Studi Geopolimer *Fly Ash* – Serbuk Kayu Sebagai Material Dinding Peredam Suhu Panas**”.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah yang menjadi kajian dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh campuran serbuk kayu dengan limbah *fly ash* terhadap *thermal performance* (kemampuan meredam suhu panas) sebagai material dinding?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh campuran serbuk kayu dengan limbah *fly ash* terhadap *thermal performance* (kemampuan meredam suhu panas) sebagai material dinding.

D. Batasan Masalah

Untuk mendapatkan hasil pembahasan yang terarah, maka penulis perlu membatasi masalah yang akan dibahas. Adapun batasan masalah pada tugas akhir ini adalah:

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. Dalam penelitian ini menentukan nilai *thermal performance* campuran serbuk kayu dengan limbah 100% *fly ash*.
4. Komposisi serbuk kayu yang ditambahkan bervariasi, yaitu 0%, 5%, 10% dan 15%.
5. Pengujian *thermal performance* dilakukan pada umur 28 hari.

E. Sistematika Penulisan

Secara umum tulisan ini terbagi dalam lima bab, yaitu: Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metodologi Penelitian, Hasil dan Pembahasan dan diakhiri oleh Penutup. 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, rumusan masalah, tujuan penelitian, 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 menguraikan tentang kerangka konseptual yang memuat beberapa penulisan sebelumnya yang berkaitan dengan limbah serbuk kayu dan suhu.

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 sampel dan benda uji.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang beberapa pengujian yang dilakukan untuk membandingkan tingkat efisiensi penambahan limbah serbuk kayu terhadap limbah *fly ash* untuk meredam panas.

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

1. Teori Semen



Gambar 1. Semen

Semen (dalam bahasa Inggris *Cement*) berasal dari Bahasa Latin *Caementum* merupakan nama batu kapur di Italia lebih dari 2000 tahun, yang telah dipergunakan sebagai bahan adukan (mortar). Semen merupakan perekat hidraulis (*hydraulic binder*), yang berarti bahwa senyawa-senyawa mineral yang terkandung di dalam semen dapat bereaksi dengan air dan membentuk zat baru yang bersifat sebagai perekat terhadap batuan. Oleh karena sifat hidraulis tersebut, maka semen bersifat dapat mengeras bila dicampur dengan air, tidak larut dalam air.

Semen pada awalnya dikenal pada Zaman Mesir Kuno tahun 500 SM pada pembuatan piramida, yaitu sebagai pengisi ruang kosong diantara celah-celah tumpukan batu. Semen yang digunakan bangsa Mesir

merupakan kalsinasi *gypsum* yang tidak murni, sedang kalsinasi batu kapur mulai digunakan pada zaman Romawi. Kemudian bangsa Yunani membuat semen dengan cara mengambil tanah vulkanik (*volcanic tuff*) yang berasal dari pulau Santoris yang dikenal sebagai *santoris cement*. Bangsa Romawi menggunakan semen yang diambil dari material vulkanik yang ada di pegunungan Vesuvius di lembah Napples yang dikenal sebagai *pozzolona cement*, yang diambil dari sebuah nama di Italia yaitu *pozzoula*. Penggunaan bahan perekat dalam konstruksi telah dipergunakan sejak zaman Mesir, Yunani dan Romawi kuno. Bahan perekat berupa batu-batuan anorganik seperti, kapur, gamping (*quick lime*), gypsum dan *pozzolan* akhirnya dikenal sebagai semen.

Setelah Revolusi Industri di Eropa pada pertengahan abad 18, dikembangkan penelitian-penelitian penting. Pada tahun 1756, John Smeaton seorang penemu Inggris menemukan batu kapur lunak yang tidak murni dan mengandung tanah liat merupakan bahan pembuat semen hidrolis yang bagus. Campuran itu dikenal sebagai *hydraulic lime* yang dipakai untuk membangun gedung Eddystore Lighthouse. Kemudian oleh Vicat ditemukan sifat hidrolis akan bertambah lebih baik jika ditambahkan alumina dan silika. Sehingga Vicat membuat kapur hidrolis dengan cara mencampur tanah liat dengan batu kapur dengan perbandingan tertentu.

Pada tahun 1797, James Parker seorang penemu Inggris menemukan suatu pembaharuan dengan membuat semen hidraulik dengan cara membakar batu kapur dan batuan silika. Semen inilah yang akhirnya dikenal dengan nama *Roman Cement* yang banyak dipakai pada periode tersebut. Tahun 1811, James Frost melanjutkan penelitian Vicat mulai membuat semen dengan mencampur dua bagian batu kapur dengan satu bagian tanah liat. Penelitian ini dilanjutkan dengan penambahan tanah *argillaceous* (mengandung 9 – 40% silika). Semen yang dihasilkan disebut *British Cement*.

Tahun 1824 John Aspadin (Inggris) membuat paten tentang perbaikan cara pembuatan batu buatan dengan cara kalsinasi campuran batu kapur dan

tanah liat yang telah dihaluskan dan dibakar menjadi lelehan dalam tungku. Pada proses ini terjadi penguraian batu kapur (CaCO_3) menjadi kapur tohor (CaO) dan karbondioksida (CO_2). Kapur tohor (CaO) bereaksi dengan senyawa-senyawa lain membentuk klinker, kemudian digiling menjadi tepung yang dikenal sebagai *Portland Cement*. Dalam produksi semen Portland, ada beberapa persenyawaan yang harus terdapat didalam bahan dasar, yaitu Oksida Kalsium (CaO), Oksida Silika (SiO_2), Oksida Aluminium (Al_2O_3) dan Oksida Besi (Fe_2O_3).

2. **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/ft^3 . Bahan baku pembentuk semen adalah (Edward G. Nawy, 1995 *dalam* Renaldi Octovian, 2018 *dalam* Fachmy Musifah, 2020).

- a. Kapur (CaO) – dari batu kapus,
- b. Silika (SiO_2) – darilempung,
- c. Alumina (Al_2O_3) – dari lempung (dengan sedikit presentasi magnesia, MgO , dan terkadang sedikit alkali).
- d. Oksida besi terkadang ditambahkan untuk mengontrol komposisinya.

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 negatif 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:

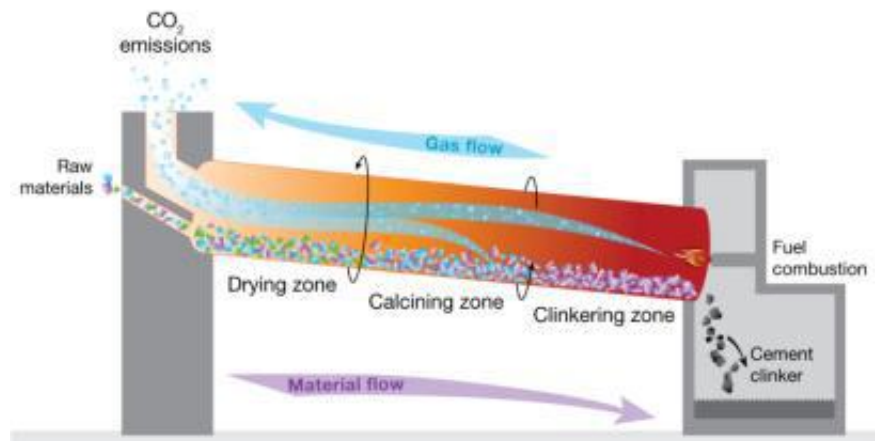
- a. **Lahan.** Penurunan kualitas dari segi kesuburan tanah akibat penambangan tanah liat. Perubahan ini dari segi waktu akan meluas ke arah berpengaruh juga terhadap kuantitas air sungai. Sedangkan dari segi ruang akan mempengaruhi keseimbangan atau keselarasan lingkungan setempat.
- b. **Air.** Kualitas 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 *dalam* Fachmy Musfirah, 2020).

Pabrik semen *Portland* tersebar di berbagai pulau di Indonesia (Asosiasi Semen Indonesia 2010) tidak hanya di pulau Jawa. Beberapa produsen semen memiliki pabrik lebih dari satu, seperti PT. Indocement Tunggal Prakarsa (Semen Tiga Roda) yang memiliki tiga unit pabrik, satu pabrik di Kalimantan Selatan dan dua pabrik di Jawa Barat. Lokasi pabrik menentukan tipe semen yang dapat diproduksi oleh pabrik tersebut. PT. Semen Indonesia (Semen Gresik) misalnya yang terletak di Jawa Timur dimana pozolan alam sangat melimpah pasti akan lebih memilih untuk memproduksi *Portland Pozolanic Cement* (PPC). Kondisi yang demikian mendorong pabrik lainnya akan lebih berpotensi untuk memproduksi semen jenis *Portland Composite Cement* (PCC).

Pembatasan produksi *Ordinary Portland Cement* (OPC) oleh mayoritas produsen Semen Portland di Indonesia adalah tuntutan dari Protokol Kyoto yang merupakan sebuah amandemen terhadap Konvensi Rangka Kerja Perserikatan Bangsa Bangsa tentang Perubahan Iklim *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC), yaitu sebuah persetujuan internasional mengenai pemanasan global. Negara-negara yang meratifikasi protokol ini berkomitmen untuk mengurangi emisi karbon dioksida dan lima gas rumah kaca lainnya atau bekerja sama dalam perdagangan emisi jika mereka menjaga jumlah atau menambah emisi gas-gas tersebut, yang telah dikaitkan dengan pemanasan global. Produksi semen yang menggunakan pemanasan menjadikan industri semen sebagai salah satu penyumbang efek rumah kaca yang terbesar, dimana setiap ton OPC yang diproduksi akan menghasilkan CO₂ dalam jumlah yang sama.

Ilustrasi emisi CO₂ pada produksi semen Portland dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi Emisi CO₂ dalam Produksi Semen *Portland*

Pada tahun 2012 Menteri Perindustrian juga telah menerbitkan peraturan (Indonesia, 2012), dimana di dalam peraturan tersebut emisi CO₂ spesifik diturunkan secara sukarela sebesar 2% dalam kurun waktu dari tahun 2011 sampai dengan tahun 2020.

B. Geopolimer

Geopolimer ialah proses yang memanfaatkan polimerisasi sebagai pengikatnya. Dalam proses polimerisasi terdapat zat molekul kecil yang dilepaskan yakni air dalam proses perawatan berlangsung, khususnya dalam pembuatan pasta dan mortar geopolimer. Pasta dan mortar geopolimer merupakan bahan penyusun utamanya yang mengandung unsur senyawa silika (Si) dan alumina (Al) tinggi. Pasta dan mortar geopolimer tidak menggunakan semen sebagai pengikatnya, akan tetapi menggunakan senyawa yang kandungan intinya menyerupai semen seperti *fly-ash*. *Fly-ash* tersebut tidak dapat bereaksi sendiri dalam pengikatan beton, akan tetapi membutuhkan senyawa katalisator berupa larutan hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (Na₂SiO₃) yang nantinya membentuk ikatan Polimer Si-O-Al sehingga membentuk padatan amorf sampai semi kristal (Pujiyanto, NA, Martyana, dan Hendra, 2013).

Dengan memanfaatkan bahan ini sebagai pengganti semen, secara tidak langsung telah menyelamatkan bumi dari *Global Warming* yang disebabkan oleh emisi CO₂ akibat pembuatan semen portland yang semakin meningkat setiap tahunnya (Nugraha dan Antoni, 2007 : 10 – 11). Dalam reaksi polimerisasi pasta (Beton) geopolimer, kandungan aluminium (Al) dan silika (Si) akan menjadi senyawa yang aktif jika ditambahkan dengan bahan alkalin untuk menghasilkan AlO₄ dan SiO₄ (Davidovits, 1994). Awal mula ditemukannya proses geopolimer ini dipelopori oleh seorang ilmuwan yang bernama Profesor Joseph Davidovits di tahun 1979 dengan objek utamanya ialah kandungan struktur mineral pengikat dari piramida yang berada di Mesir. Bangunan tersebut seakan-akan dibuat dengan menyusun balok-balok raksasa saja dengan tenaga manual zaman dahulu hingga membentuk piramida, namun berdasarkan penelitiannya, piramida tersebut dibangun dengan metode modern, yakni menggunakan semen zaman dahulu yang mana bangunan tersebut bertahan hingga sekarang. Dari ketahanan bangunan piramida itulah Profesor Joseph Davidovits melakukan risetnya dan ditemukanlah beton yang tanpa semen atau lebih dikenal dengan beton geopolimer. Semen tersebut digantikan oleh zat yang banyak mengandung silika (Si) dan alumina (Al) seperti abu terbang (*fly-ash*), abu sekam dan lain-lain. Namun beton geopolimer tidak dapat mereaksikan sendiri ikatan antar molekulnya, akan tetapi membutuhkan senyawa alkalin sebagai katalisator dan aktivator ikatan tersebut. Aktivator berupa NaOH dan Na₂SiO₃ (B, Triwulan dan Ekaputri, 2013). Dibanding dengan semen portland, geopolimer lebih unggul dalam masalah lingkungan dan hemat energi.

C. *Fly Ash*

Abu terbang (*fly ash*) adalah sisa hasil pembakaran serbuk batu bara dari tungku uap yang terbawa gas buangan cerobong asap atau hasil sampingan dari pembakaran batu bara sebagai bahan dasar pembangkit listrik tenaga uap yang memiliki sifat *pozzolan* buatan dengan bentuk halus, bulat (SNI 06-6867-2002). *Pozzolan* adalah bahan yang mengandung senyawa silika (Si) dan alumina (Al)

tidak atau sedikit mempunyai sifat pengikat seperti semen, akan tetapi dalam bentuk halus serta dengan adanya air, maka senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan hidroksida-hidroksida alkali atau alkali tanah pada temperatur ruang yang berfungsi membentuk senyawa yang dimiliki oleh semen. *Pozzolan* dibagi menjadi dua yakni *pozzolan* alam dan *pozzolan* buatan. *Pozzolan* alam adalah bahan-bahan yang secara alami menunjukkan sifat *pozzolan*, seperti abu vulkanik dan endapan lava gunung berapi, sedangkan *pozzolan* buatan adalah bahan-bahan yang dihasilkan dari kalsinasi tanah yang mengandung senyawa silika (Si) dan alumina (Al), kalsinasi yang dimaksudkan adalah untuk mengaktifkan sifat-sifat *pozzolan* (SNI 06-6867-2002).



Gambar 3. Limbah *Fly Ash* Batubara

1. Pembagian Jenis Abu Terbang (*Fly-Ash*)

Banyak peneliti terdahulu membahas tentang beton geopolimer berbahan dasar *fly-ash*. Dari peneliti tersebut lebih cenderung memilih *fly-ash* tipe F daripada tipe C. Hal ini disebabkan karena kandungan-kandungan silika (Si) dan alumina (Al) yang terkandung dalam tipe F lebih banyak dan ketika dicampur dengan senyawa alkalin menghasilkan ikatan polimer.

Tabel 1. Komposisi Kandungan *Fly-Ash*

Komposisi	Kadar	N	F	C
Kimia (Chemical)				
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	Min %	70	70	50
SO ₃	Max %	4	5	5
Konten kelembaban	Max %	3	3	3
Kehilangan ion	Max %	10	6	6
Bentuk (Physical)				
Tersedia Alkalin	Max %	1.5	1.5	1.5
Kehalusan	Max %	34	34	34
Aktifitas kekuatan	Min %	75	75	75
Persyaratan air	Max %	11	105	105
Kepadatan	Rata-rata %	5	5	5
Tertahan pada 45- μ m (No. 325)	Max %	5	5	5

Sumber: ASTM C-618 05, 2005.

Fly-ash dibagi menjadi tiga tipe yakni, antara lain sebagai berikut:

- a. Tipe N adalah *pozzolan* alami atau *pozzolan* yang telah terkalsinasi seperti abu vulkanik, *tuff* (batu putih yang mengandung debu vulkanik), tanah liat/lempung dan serpih (batuan sedimen yang berbutir halus dan terbentuk dari padatan lumpur dan lempung, dapat dihasilkan dari proses pembakaran dan bersifat *pozzolan* yang baik berdasarkan ASTM C-618 05, 2005, sedangkan menurut Nugraha dan Antoni pada tahun 2007 menyatakan, bahwa tipe N termasuk pada *pozzolan* alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah *diatomic*, *opaline chertz* dan *shales*, *tuff* dan abu vulkanik, yang mana biasa diproses melalui pembakaran atau tidak melalui proses pembakaran. Selain itu juga mempunyai sifat *pozzolan* yang baik.
- b. Tipe F adalah *pozzolan* yang terbentuk dari hasil pembakaran batu bara jenis *anthracite* atau *bituminous coal*. *Fly-ash* jenis ini memiliki sifat seperti semen alami atau *pozzolan* alami yang baik dengan ciri yang paling menonjol ialah kandungan CaO < 10% dari massanya berdasarkan ASTM C-68 05, 2005, sedangkan menurut Nugraha dan Antoni pada tahun 2007 menyatakan, bahwa tipe N memiliki kadar (SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃) > 70%, kadar CaO < 5%, dan dalam campuran beton digunakan sebanyak 15% - 25% dari total berat.

- c. Tipe C adalah *pozzolan* yang terbentuk dari hasil pembakaran batu bara muda (*bituminous coal*) yang kandungan CaO > 10% dari massanya. *Fly-ash* jenis ini bersifat seperti semen atau *pozzolan* yang baik berdasarkan ASTM C-618 05, 2005, sedangkan kandungan kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) > 50%, kadar CaO mencapai 10%, dan dalam campuran beton digunakan sebanyak 15% - 35% dari total berat binder.

Tabel 2. Persyaratan Mutu Abu Terbang

No	Senyawa	Kadar (%)
1	Jumlah Oksida $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (minimum)	30
2	SO_3 (Maksimum)	5
3	Hilang pijar (Maksimum)	6
4	Kadar air (Maksimum)	3
5	Total alkali dihitung sebagai Na_2O (Maksimum)	1.5

Sumber: (Standard Nasional Indonesia 06-6867-2022 dalam Ilmiah, 2002)

2. Sifat Fisik Abu Terbang (*Fly-Ash*)

- a. **Bentuk dan warna (Suarnita dalam Ilmiah, 2011).** Memiliki bentuk yang halus dan berwarna abu-abu, bervariasi dari abu-abu muda sampai abu-abu tua. Dari warna tersebut dapat mengetahui sifat *pozzolan* yang baik, yakni semakin muda warnanya maka semakin baik *pozzolan*, sedangkan warna hitam yang dimiliki *fly-ash* disebabkan karena adanya karbon yang dapat mempengaruhi mutu *fly-ash*.
- b. **Sifat *pozzolan* (Suarnita dalam Ilmiah, 2011).** Sifat *pozzolan* adalah sifat senyawa yang ukurannya sudah kecil, dalam keadaan halus serta dan bereaksi dengan kapur padam aktif dan air pada suhu kamar ($24^\circ\text{C} - 27^\circ\text{C}$) membentuk senyawa yang padat dan homogen dengan air.
- c. **Kepadatan (*density*) (Suarnita dalam Ilmiah, 2011).** Sifat kepadatan abu terbang berbeda-beda, bergantung pada besar butir dan hilang pijarnya. Biasanya berkisar antara 2.43 gr/cc hingga 3 gr/cc. Luas permukaan spesifik rata-rata 225 m^2/kg sampai 300 m^2/kg .

Ukuran butiran yang kecil kadang-kadang terselip dalam butiran yang besar yang mempunyai fraksi lebih besar dari 300 μm .

- d. **Hilang pijar (Suarnita dalam Ilmiah, 2011).** Penentuan sifat *pozzolan* juga dapat dilihat dari hilang pijarnya yakni apabila hilang pijar tersebut berkisar 10% - 20% dari berat *fly-ash* dan kadar oksida kurang maka dapat disimpulkan bahwa *pozzolan* tersebut kurang baik.

3. Keuntungan dan Kelemahan Penggunaan *Fly Ash*

Keuntungan *fly ash* digunakan sebagai bahan pengganti sepenuhnya semen untuk *patch repair* karena sifatnya yang *pozzolan* yang dapat meningkatkan ketahanan/keawetan beton terhadap ion sulfat.

Fly ash cukup baik digunakan sebagai bahan ikat karena bahan penyusun utamanya adalah silikon dioksida (SiO_2), aluminium (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3) dan kalsium (CaO) sedangkan magnesium, potasium, sodium, titanium dan sulfur juga ada tetapi dalam jumlah yang kecil. Oksida-oksida tersebut dapat bereaksi dengan air. Clarence (1966:24) menjelaskan dengan pemakaian *fly ash* sebesar 20 – 30% terhadap berat binder maka jumlah binder akan berkurang secara signifikan dan dapat menambah kuat tekan mortar. Pengurangan jumlah binder akan menurunkan biaya material sehingga efisiensi dapat ditingkatkan, sekaligus sebagai bentuk pemanfaatan limbah yang akan membantu menjaga kelestarian lingkungan.

Disamping kelebihan *fly ash* juga mempunyai kelemahan sebagai bahan mortar geopolimer diantaranya proses pengerasan dan penambahan kekuatan mortarnya agak lambat sehingga pemakaian *fly ash* kurang baik untuk pengerjaan mortar yang memerlukan waktu pengerasan dan kekuatan awal yang tinggi, pengendalian mutu sering dilakukan karena mutu *fly ash* sangat tergantung pada proses pembakaran (suhu) serta jenis batubara yang digunakan (Husin, 1998).

4. 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 silikon dioksida SiO_2 , baik berupa Kristal ataupun debu. Selain itu pada industry 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 tercemar dan tingkat kualitas air tanah pun menurun (Dayanun, Z.D., 2019 dalam Fachmy Musfirah, 2020).

5. Potensi Limbah *Fly Ash* sebagai Material *Geopolymer*

- a. **Produksi *Fly Ash* di Dunia.** Pada tahun 1989, total abu yang dihasilkan dari pembakaran batu bara di seluruh dunia mencapai 440 miliar ton. Sekitar 75 persen adalah abu terbang. Produsen utama adalah Negara-negara bekas Uni Soviet (99 miliar ton), diikuti Tiongkok (55 miliar ton), Amerika Serikat (53 miliar ton) dan India (40 miliar ton). Tiongkok sendiri menghasilkan lebih dari 110 miliar ton abu pada tahun 2000, dengan total produksi abu dunia tahun 2000 mencapai angka 661 miliar ton. Tingkat pemanfaatan abu terbang dalam produksi semen saat ini masih tergolong amat rendah, Tiongkok memanfaatkan sekitar 15 persen, India kurang dari lima persen, untuk memanfaatkan abu terbang dalam pembuatan beton. Berdasarkan laporan *Energy Information Administration* di tahun 2002, jumlah total produksi batubara di seluruh dunia mencapai 5.6 miliar ton dan sekitar 60%-nya digunakan sebagai pembangkit listrik. Sedangkan *coal combustion by-product* batubara ini sebesar 544.3

juta metric ton dengan jumlah *fly ash* sebesar 453.6 juta metrik ton (Darasita Zahra Dayanun, 2019).

- b. Produksi *Fly Ash* di Indonesia.** Saat ini, kebutuhan energi di Indonesia diperkirakan sebesar 1.050, 3 juta barel setara minyak dan 50%nya masih berasal dari bahan bakar impor. Dengan adanya rencana pembangunan beberapa Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) baru dengan kapasitas total 35.000 MW atau 35 GW, baik di dalam maupun luar Jawa, maka permasalahan lingkungan yang dianggap cukup penting dari kegiatan industri penghasil energi berbahan bakar batubara tersebut adalah masalah abu batubara. Limbah padat yang dihasilkan tersebut diperkirakan akan bertambah secara signifikan dan semakin bertumpuk bila tidak dapat dimanfaatkan secara masif. Konsumsi batubara domestik tahun 2005 diproyeksikan mencapai 45.5 juta ton dan rata-rata meningkat sebesar 9% per tahun. Pembakaran batu bara sebanyak itu akan menghasilkan 3.58 juta ton limbah abu layang. Jumlah abu layang yang dihasilkan terus meningkat sejalan dengan laju konsumsi batubara. Oleh karena itu, Departemen Perindustrian bersama Kementerian Negara Lingkungan Hidup memandang perlu adanya program terpadu penanganan dan pemanfaatan limbah batubara dalam rangka meningkatkan daya saing industri (Jumaeri, 2009 *dalam* Darasita Zahra Dayanun, 2019). Pada saat ini produksi pertambangan batubara di Indonesia mengalami perkembangan yang sangat pesat. Dalam kurun waktu 4 tahun terakhir, sumber daya batubara diketahui mengalami sedikit peningkatan.
- c. Produksi *Fly Ash* di Sulawesi Selatan.** PLTU Jeneponto menggunakan bahan bakar berupa batubara. Batubara ini jika dibakar maka akan menghasilkan limbah gas dan limbah padat yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*) yang cukup besar jumlahnya. Abu terbang yang dihasilkan berkisar 80 – 90% dari total abu seluruhnya. Limbah abu terbang merupakan masalah yang tidak

asing lagi yang dihadapi oleh banyak Negara di dunia yang menggunakan batubara sebagai sumber energi. Di Indonesia jumlah pemakaian abu terbang batubara untuk berbagai tujuan masih sangat sedikit (Jumaeri, 2007: 38 *dalam* Darasita Zahra Dayanun, 2019).

D. Serbuk Kayu



Gambar 4. Limbah Serbuk Kayu

Kayu merupakan hasil hutan yang mudah di proses untuk dijadikan barang sesuai dengan kemajuan teknologi. Kayu memiliki beberapa sifat yang tidak dapat ditiru oleh bahan-bahan lain. Kayu berasal dari berbagai jenis pohon yang memiliki sifat-sifat yang berbeda-beda. Bahkan dalam satu pohon, kayu mempunyai sifat yang tidak seragam (heterogen). Selain itu, itu kayu juga memiliki sifat penghantaran panas yang buruk.

Di Indonesia, Industri kayu adalah salah satu industri yang berkembang pesat karena permintaan terhadap barang-barang berbahan baku kayu semakin meningkat. Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2017, produksi kayu hutan dengan jenis kayu bulat sebanyak 48.690.623 m³, kayu gergajian sebanyak 2.812.812 m³ dan kayu lapis sebanyak 3.793.059 m³. Kayu-kayu hasil produksi

tersebut kemudian akan diolah menjadi berbagai macam barang yang kemudian akan menghasilkan limbah serbuk kayu. Semakin bertambah jumlah penduduk Indonesia maka konsumsi masyarakat terhadap produk atau *furniture* berbahan dasar kayu akan semakin bertambah pula.

Serbuk kayu atau *sawdust* merupakan hasil atau sisa-sisa dari pengolahan kayu. Serbuk kayu juga adalah salah satu serat alami yang dapat digunakan untuk campuran beton atau bahan bangunan ringan. Sebagai contoh, serbuk kayu sering dijadikan bahan campuran untuk beton atau mortar geopolimer. Penggunaan serbuk kayu sebagai salah satu campuran untuk bahan bangunan ringan karena hingga saat ini limbah serbuk kayu masih belum dimanfaatkan dengan baik sementara jumlah limbah yang dihasilkan oleh industri kayu itu sendiri semakin banyak.

1. 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.

2. 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 surut kayu dipengaruhi oleh kadar air, angka rapat kayu dan kelembaban udara.

3. 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. Dukungan gaya tarik pada arah tegak lurus serat jauh lebih kecil dibandingkan dengan pada arah sejajar serat. Sel kayu yang mengalami gaya desak dengan arah sejajar serat, menyebabkan sel kayu tertekuk. Sel-sel kayu disampingnya akan menghalangi tekuk ke arah luar, sehingga sel kayu patah karena tertekuk ke dalam.

Jika gaya desak terjadi pada arah tegak lurus serat, sel kayu akan tertekan atau seolah-olah sel kayu dipejet saja. Jadi dukungan gaya desak pada arah tegak lurus serat akan lebih besar dibandingkan dengan pada arah serat sejajar. Gaya geser sejajar serat pada sel kayu akan menyebabkan rusaknya zat lekat lignin. Jika gaya geser terjadi pada arah tegak lurus serat, maka gaya seolah-olah memotong dinding-dinding sel. Gaya untuk mematahkan zat lekat lignin. Jadi dukungan gaya geser pada arah tegak lurus serat akan lebih besar dibandingkan dengan pada arah sejajar serat.

Keunggulan yang dimiliki oleh serbuk kayu apabila dijadikan sebagai campuran beton biasanya yaitu harganya yang relatif murah, mudah dijangkau, tidak beracun dan dengan pemanfaatan ini sekaligus mengurangi limbah serbuk kayu yang selama ini berpotensi mencemari lingkungan.

4. Potensi Limbah Serbuk Kayu sebagai Material *Geopolymer*

a. **Produksi Limbah Serbuk Kayu di Indonesia.** Pada pemanenan kayu, limbah umumnya berupa kayu bulat mencapai 66.16%. Pada industri penggergajian kayu meliputi serbuk gergaji 10.6%, sabetan 25.9% dan potongan sebesar 14.3%, dengan total 59.8% dari jumlah bahan baku yang digunakan. Limbah pada industri kayu lapis meliputi

limbah potongan 5.6%, serbuk gergaji 0.7%, sampah vinir basah 24.8%, sampah vinir kering 12.6%, sisa kupasan 11% dan potongan tepik kayu tipis sebesar 6.3%, total limbah kayu lapis ini sebesar 61% dari jumlah bahan baku yang digunakan. Produksi total kayu gergajian Indonesia mencapai 2.6 juta m³ pertahun. Dengan asumsi bahwa jumlah limbah yang terbentuk 54.24% dari produksi total, maka dihasilkan limbah penggergajian kayu sebanyak 1.4 juta m³ pertahun. Angka tersebut cukup besar karena mencapai sekitar separuh dari produksi kayu gergajian.

- b. Produksi Limbah Serbuk Kayu di Sulawesi Selatan.** Serbuk merupakan salah satu bentuk limbah industri penggergajian kayu dan belum banyak dimanfaatkan. Hasil penelitian pada beberapa industri penggergajian kayu di Sulawesi Selatan menunjukkan bahwa limbah yang dihasilkan rata-rata 52.56% dari bahan baku yang digunakan (Arif dan Sanusi, 2001), termasuk diantaranya bentuk serbuk. Selain pemanfaatan serbuk kayu secara komersil untuk pembuatan briket arang atau *charcoal* (Hendra dan Darmawan, 2000), juga digunakan sebagai media tumbuh jamur tiram *Pleurothus* sp., yang dikombinasikan dengan bahan lain seperti bekatul dan CaCO₃ (Marlina dan Siregar, 2001 *dalam* Darasita Zahra Dayanun, 2019).

E. Alkali Aktivator (Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida)

Sodium silikat dan sodium hidroksida digunakan sebagai alkalin aktivator (Hardjito, et.al, 2004). Sodium silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Sedangkan sodium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam *fly ash* sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat.

1. **Sodium Silikat (Na_2SiO_3)**

Sodium silikat merupakan salah satu bahan tertua dan yang paling aman yang sering digunakan di dalam industri kimia. Proses produksinya yang lebih sederhana menyebabkan sodium silikat berkembang dengan cepat sejak tahun 1818. Sodium silikat dapat dibuat dengan dua proses yaitu proses kering dan proses basah. Pada proses kering, pasir (SiO_2) dicampur dengan sodium carbonate (Na_2SiO_3) atau dengan potassium carbonate (K_2CO_3) pada temperatur 1100 - 1200° C. Hasil reaksi tersebut menghasilkan kaca (*cullets*) yang dilarutkan ke dalam air dengan tekanan tinggi menjadi cairan yang kering dan agak kental. Sedangkan pada proses pembuatan basah, pasir (SiO_2) dicampur dengan sodium hidroksida (NaOH) melalui proses filtrasi sehingga menghasilkan sodium silikat yang murni.

Sodium silikat terdapat dalam dua bentuk, yaitu padatan dan larutan. Untuk campuran mortar lebih banyak digunakan sodium silikat dengan bentuk larutan. Sodium silikat pada mulanya digunakan sebagai campuran dalam pembuatan sabun. Tetapi dalam perkembangannya sodium silikat dapat digunakan untuk berbagai macam keperluan, antara lain untuk bahan campuran semen, pengikat keramik, campuran cat serta dalam beberapa keperluan seperti kertas, tekstil dan serat. Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa sodium silikat dapat digunakan untuk bahan campuran dalam beton (Hartono. F., Budi. G., 2002).

Sodium silikat ini merupakan salah satu larutan alkali yang berperan penting dalam proses polimerisasi karena sodium silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Reaksi terjadi secara cepat ketika larutan alkali banyak mengandung larutan silika seperti sodium silikat, dibandingkan reaksi yang terjadi akibat larutan alkali yang banyak mengandung larutan hidroksida.

2. **Sodium Hidroksida (NaOH)**

Sodium hidroksida (NaOH), juga dikenal sebagai soda kaustik atau natrium hidroksida, adalah sejenis basa logam kaustik. Sodium hidroksida membentuk larutan alkalin yang kuat ketika dilarutkan ke dalam air. Digunakan di berbagai macam bidang industri, kebanyakan digunakan sebagai basa dalam proses produksi bubur kayu dan kertas, tekstil, air minum, sabun dan deterjen. Sodium hidroksida adalah basa yang paling umum digunakan dalam laboratorium kimia.

Sodium hidroksida murni berbentuk putih padat dan tersedia dalam bentuk pellet, serpihan, butiran ataupun larutan jenuh 50%. Bersifat lembab cair dan secara spontan menyerap karbondioksida dari udara bebas. NaOH sangat larut dalam air dan akan melepaskan panas ketika dilarutkan.

Sodium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam *fly ash* sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat. Sebagai *activator*, sodium hidroksida harus dilarutkan terlebih dahulu dengan air sesuai dengan molaritas yang diinginkan. Larutan ini harus dibuat dan didiamkan setidaknya 24 jam sebelum pemakaian (Hardjito et.al, 2005).

F. *Konduktivitas Thermal*

Perpindahan panas melalui benda padat disebut konduksi. Panas tersebut bergerak dari partikel yang lebih panas (memiliki energi lebih tinggi) ke molekul yang lebih dingin (memiliki energi yang lebih rendah). Perpindahan panas ini tidak menyebabkan perpindahan molekul benda. Kecepatan aliran panas pada suatu benda padat ditunjukkan dari nilai konduktivitas termal material tersebut. Semakin besar nilai konduktivitas termal suatu material maka material tersebut semakin baik dalam memindahkan panas, dan sebaliknya. Konduktivitas termal adalah laju aliran panas (dalam Watt) melalui suatu luasan material yang homogen dengan ketebalan 1 m yang menyebabkan perbedaan suhu 1 K. Konduktivitas

termal memiliki satuan W/m.K. Konduktivitas merupakan ukuran keefektifan suatu material dalam menghantarkan panas. Konduktivitas termal beton dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain jenis agregat, porositas beton (tipe pori, volume pori, jarak pori, arah pori) dan kadar kelembapan.

Material insulasi panas memiliki konduktivitas termal yang rendah sehingga dapat menahan aliran kalor. Aliran kalor ditahan oleh udara yang terjebak dalam material insulasi. Udara yang terjebak dalam ukuran mikroskopik dan dalam jumlah banyak sehingga dapat disebut sel mikroskopis. Sel mikroskopis ini juga mampu mengurangi efek penyaluran panas secara radiasi. Efek radiasi tersebut dipatahkan sehingga gelombang radiasi yang panjang menjadi pendek. Pendeknya gelombang radiasi panas dapat diserap udara yang terjebak dalam material insulasi.

G. Penelitian Terdahulu

1. Penelitian oleh Cyntia Lestari H (2020) dengan judul Batu Bata Berbahan Limbah Abu Cangkang Kelapa Sawit dan Daun Teh sebagai Peredam Suhu Panas Bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh penambahan limbah abu cangkang kelapa sawit dan daun teh (ACKDST) terhadap *thermal performance* kemampuan meredam panas batu bata. Dalam penelitian ini material yang digunakan adalah limbah abu yang digunakan berasal dari perusahaan pembuat teh yang berlokasi di Kabupaten Gowa dengan kombinasi abu cangkang kelapa sawit dan ampas daun teh. Metodologi penelitian ini bersifat eksperimental dan dilakukan di laboratorium, dimana setiap benda uji memiliki variasi yang berbeda yaitu 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan abu cangkang kelapa sawit dan daun teh (ACKSDT) sebagai substitusi tanah pada batu bata efektif meredam/mengurangi suhu panas karena memiliki pori-pori yang lebih banyak sehingga mampu meredam suhu panas dari luar. Penggunaan abu cangkang kelapa sawit dan daun teh

pada pembuatan batu bata tidak hanya mengurangi limbah tetapi juga dapat mengurangi penggunaan pendingin ruangan (AC).

2. Penelitian oleh Ghina Fitria (2019) dengan judul Pengaruh Rasio Alkali Aktivator terhadap Karakteristik Geopolimer Limbah Serbuk Kayu sebagai Bahan Bangunan Ringan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pemanfaatan limbah abu terbang sebagai material geopolimer dalam upaya mengurangi penggunaan semen, pengaruh alkali aktivator terhadap karakteristik geopolimer serta bagaimana pengaplikasian metode geopolimer tersebut pada bahan bangunan ringan. Dalam penelitian ini, material yang digunakan adalah abu terbang, serbuk kayu serta NaOH dan Na_2SiO_3 sebagai campuran alkali aktivator. Metodologi penelitian yang dilakukan bersifat eksperimental dan dilakukan di laboratorium, dimana setiap benda uji memiliki kandungan serbuk kayu yang berbeda yaitu 0%, 5%, 10%, 15% dengan rasio alkali aktivator yang bervariasi yaitu 1.5, 2.0, 2.5 dan dilakukan perawatan selama 7 dan 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa abu terbang yang merupakan limbah hasil pembakaran batu bara berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai pengganti semen karena produksi semen terbilang kurang ramah lingkungan. Tidak hanya itu, serbuk kayu juga memiliki potensi untuk dijadikan material bahan bangunan ringan karena berdasarkan tinjauan lingkungan lebih unggul dibandingkan dengan mortar semen. Hasil uji kuat tekan menunjukkan bahwa penambahan serbuk kayu serta rasio alkali aktivator yang ditambahkan sangat berpengaruh. Semakin banyak serbuk kayu yang ditambahkan sangat berpengaruh. Semakin banyak serbuk kayu yang dicampurkan maka kuat tekannya akan semakin rendah. Sementara pada penambahan alkali aktivator, semakin tinggi rasio alkali aktivator yang ditambahkan maka semakin rendah pula hasil uji tekan yang dihasilkan.
3. Penelitian oleh Cipta Nusa (2016) dengan judul Studi Material Isolator Berbahan Dasar *Fly Ash*, *Perlite* dan *Gypsum*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan nilai konduktivitas *thermal* dari bahan isolator, untuk mengetahui sifat-sifat mekanik dan sifat-sifat fisik dari bahan isolator

dengan melalui uji konduktivitas *thermal*, densitas dan kekuatan tekan dari komposisi 60% *fly ash*, 30% *perlite*, 10% *gypsum*; 50% *fly ash*, 40% *perlite*, 10% *gypsum*; 40% *fly ash*; 50% *perlite*; 10% *gypsum*. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan campuran bahan isolator dengan komposisi *fly ash* 60%, *perlite* 30% dan *gypsum* 10%; 50% *fly ash*, 40% *perlite*, 10% *gypsum*; 40% *fly ash*; 50% *perlite*; 10% *gypsum*. Komposit yang dibuat berbentuk balok dengan ukuran 24 cm x 12 cm x 2 cm dan 8 cm x 2 cm x 2 cm. Komposit dengan ukuran 24 cm x 12 cm x 2 cm digunakan dalam pengujian konduktivitas dengan standar ASTM C177 dan densitas dengan standar ASTM C-00-2005, sedangkan spesimen dengan ukuran 8 cm x 2 cm x 2 cm digunakan dalam pengujian *bending* dengan standar ASTM D790. Hasil pengujian konduktivitas *thermal* yang rendah pada material isolator terdapat pada komposisi *fly ash* 40%, *perlite* 50% dan *gypsum* 10% dengan nilai sebesar 3.686830 W/m °C, sedangkan hasil pengujian densitas dan *bending* terdapat pada komposisi *fly ash* 60%, *perlite* 30% dan *gypsum* 10% dengan nilai masing-masing sebesar 1.405 gram/cm³ dan 0.2052 N/mm².

4. Penelitian oleh Aulia Rahmina Anhadi (2018) dengan judul Pengaruh Pemanfaatan Serbuk Kayu dan *Fly Ash* terhadap Kuat Tekan dan Penyerapan Air pada Batako. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui persentase penambahan optimum *fly ash* dalam campuran batako serbuk kayu berdasarkan kuat tekan tertinggi dan penyerapan air terendah menurut SNI 03-0349-1989 dan untuk mengetahui pengaruh penambahan serbuk kayu dan *fly ash* terhadap kemampuan batako dalam menahan panas. Dalam penelitian ini, batako normal dibuat dengan perbandingan 1 semen portland pozolan : 5 pasir : 2 serbuk kayu dengan penambahan *fly ash* sebesar 15%, 20%, 25%, 30% dan 35% dari berat semen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa batako dengan komposisi campuran 1 semen portland pozolan : 5 pasir : 2 serbuk kayu + 25% *fly ash* memiliki kuat tekan tertinggi pada 28 hari sebesar 35.45 kg/cm² dan penyerapan air terendah sebesar 4.67%. Pada pengujian insulasi panas, didapatkan nilai tertinggi 3.27°C pada batako

dengan komposisi campuran 1 semen portland pozolan : 5 pasir : 2 serbuk kayu + 20% *fly ash*. Berdasarkan hasil yang diperoleh, batako dengan bahan tambah serbuk kayu dan *fly ash* memiliki kuat tekan, penyerapan air, dan insulasi panas lebih baik daripada batako normal (tanpa bahan tambah).