

TUGAS AKHIR

**STUDI REDUKSI BISING DENGAN MENGGUNAKAN MATERIAL
INSULASI GEOPOLIMER *FLY ASH* – SERBUK KAYU**



NUR KHALIFA

D131 18 1009

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022



LEMBAR PENGESAHAN

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

Judul : **Studi Reduksi Bising Dengan Menggunakan Material Insulasi Geopolimer *Fly-Ash-Serbuk Kayu***

Disusun Oleh :

Nama : Nur Khalifa

D131181009

Telah diperiksa dan disetujui
Oleh Dosen Pembimbing

Gowa, 6 Desember 2022

Pembimbing I

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

Pembimbing II

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

Menyetujui,
Ketua Departemen Teknik Lingkungan



Dr. Eng. Muzalia Hustim, S.T., M.T.
NIP. 197204242000122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :


Nama : Nur Khalifa
Nim : D131181009
Program Studi : Teknik Lingkungan
Jenjang Studi : Strata 1 (S1)

Menyatakan bahwa karya tulis dengan judul:

"Studi Reduksi Bising dengan menggunakan Material Insulasi Geopolimer Fly ash- Serbuk Kayu"

Adalah karya saya sendiri dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun. Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi ini berasal dari penulis lain yang telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Jika terdapat pihak yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk dimintai pertanggungjawaban mengenai hal tersebut.

Makassar, 08 Desember 2022
Yang membuat pernyataan,


Nur Khalifa
D131181009

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Puji dan syukur kehadiran Allah swt . atas limpahan rahmat dan hidayahNya sehingga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Studi Reduksi Bising dengan menggunakan material insulasi geopolimer *fly ash*- serbuk kayu” . Skripsi ini diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana pada departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Salam dan shalawat tidak luput penulis haturkan kepada baginda Rasulullah Muhammad saw. keluarga, sahabat, dan pengikutnya yang setia sampai sekarang.

Penulis sadar skripsi ini tidak lepas dari bantuan, petunjuk, arahan, dan masukan yang berharga dari berbagai pihak, untuk itu pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih yang setulus tulusnya dan penghargaan yang setinggi- tingginya kepada Bapak Dr.Eng. Muhammad Akbar Caronge, ST., M.Eng , Ibu Dr.Eng. Asiyanthi Tabran Lando, ST., MT. (Pembimbing I) dan Bapak Dr. Eng. Ibrahim Djamaluddin, ST., M.Eng. (Pembimbing II) atas ketulusan hati dalam membimbing penulis, memberikan masukan dalam menyelesaikan Skripsi Ini. Semoga Allah SWT. membalas kebaikan Bapak dan Ibu dengan berlipat- lipat kebaikan, Aamiin.

Tak lupa penulis menghaturkan ucapan Terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc., selaku Rektor Universitas Hasanuddin, beserta jajarannya
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, S.T.,M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik
3. Ibu Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T., selaku ketua Departemen Teknik Lingkungan, dan Ibu Dr. Eng. Asiyanthi T. Lando, S.T.,M.T., selaku Sekretaris Departemen. Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Lingkungan yang telah mendidik penulis selama menempuh kuliah di Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

4. Ibu Sumi, Pak Olan dan Ibu Utami selaku staf yang selalu siap membantu mahasiswa dalam menyelesaikan berkas-berkas.
5. Kak Darasita Zahra Dayanun, selaku *partner* dalam penelitian ini yang telah banyak membantu
6. Teman-teman yang berkontribusi membantu dalam penelitian ini: Suarni, Alpi Yunita, Linda, Era, Eva, Wiwi, Risda, Rahma, Tadha, Idrus, Ikram dan teman-teman laboratorium Struktur dan Bahan
7. Sobat Enviro 18 yang sudah mau berteman dengan penulis di masa perkuliahan, dan membantu dalam proses penelitian ini.
8. Saudara-saudari se-transisi 19 yang telah mewarnai perkuliahan saya sejak maba di Fakultas Teknik Unhas
9. Kakak dan Ukhtifillah GKM LD Al-Muhandis yang juga berperan semasa kuliah saya.
10. Keluarga tercinta kak Sri, kak Ummi, Cheryl, yang telah banyak membantu baik dari segi material maupun non material. Thks guys...
11. Serta semua pihak yang namanya tidak disebutkan satu persatu terima kasih atas segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan.

Rasa terima kasih istimewa tercurahkan kepada ibunda tercinta Sapiah Bosang dan Ayahanda tersayang K.M. Bakri atas segala teguran, nasehat dan doanya, serta kakak, adik-adikku Ija, Fia, Tita, Amina, Nanning, Dede dan sahabat tercinta Asrisnawanti atas kasih sayang yang tak terhingga, pengorbanan dan segala doanya untuk penulis, semoga Allah yang maha pengasih, senantiasa memberikan rahmatNya atas kalian, orang-orang yang paling kucintai. Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karenanya, saran dan kritik yang bersifat membangun penulis terima dengan senang hati. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Gowa, 5 September 2022

Penulis

Nur Khalifa
D131181009

ABSTRAK

NUR KHALIFA. *Studi Reduksi Bising dengan menggunakan Material Insulasi Geopolimer Fly ash- Serbuk Kayu* (dibimbing oleh Asiyanthi T. Lando dan Ibrahim Djamaluddin)

Telah dilakukan penelitian mengenai material peredam suara berbahan dasar Fly ash dan serbuk kayu. Material uji dibuat dengan komposisi serbuk kayu yang berbeda yaitu sampel 1; 0% sampel 2: 5%, sampel 3, 10% sampel 4, 15 % sampel 5; 20% . Penelitian ini menggunakan alat yang didesain untuk menghitung intensitas suara dengan alat penunjang berupa 2 buah SLM HT-80A dan pipa PVC 4 Inch dengan panjang 1 meter. Penelitian ini dilakukan upaya untuk mereduksi tingkat kebisingan dengan memanfaatkan limbah serbuk gergaji kayu sebagai Salah satu material yang dapat dijadikan komposit akustik sebagai peredam bunyinya. Komposit akustik merupakan salah satu produk komposit yang dapat dibuat dengan menggunakan bahan baku limbah kayu, selain untuk mengatasi limbah juga meningkatkan nilai ekonominya dan mengurangi jumlah dan dampak buruknya terhadap lingkungan. Bahan yang diuji adalah material geopolimer Fly Ash- serbuk kayu dengan ketebalan 2 cm dan pengambilan data untuk rentang frekuensi yang digunakan adalah 1000 Hz, 1500 Hz, , 2000 Hz, 2500Hz, 3000 Hz, 3500 Hz, 4000 Hz, 4500Hz, 5000 Hz, 5500 Hz, 6000 Hz, 6500 Hz, 7000 Hz,7500 Hz, dan 8000 Hz. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa substitusi serbuk kayu pada benda uji dapat meredam kebisingan dan dari kelima variasi benda uji yang optimum mereduksi kebisingan adalah variasi 20% dimana benda uji ini menunjukkan selisih antara suara yang masuk dan suara yang keluar lebih tinggi dibanding benda uji lain.

Kata Kunci: geopolimer, *fly ash*, serbuk kayu, akustik

ABSTRACT

NUR KHALIFA. *Noise Reduction Study using Fly ash- Sawdust Geopolymer Insulation Material* (Supervised by Asiyanthi T. Lando and Ibrahim Djamaluddin)

Research has been carried out on sound dampening materials made from fly ash and sawdust. The test materials were made with different compositions of sawdust, namely sample 1; 0% sample 2: 5%, sample 3, 10% sample 4, 15% sample 5; 20%. This study used a tool designed to calculate sound intensity with supporting tools in the form of 2 SLM HT-80A and 4 Inch PVC pipe with a length of 1 meter. In this research, efforts were made to reduce noise levels by utilizing sawdust as one of the materials that can be used as acoustic composites as sound absorbers. Acoustic composite is one of the composite products that can be made using wood waste raw materials, in addition to dealing with waste it also increases its economic value and reduces the amount and negative impact on the environment. The material tested was Fly Ash- sawdust geopolymer material with a thickness of 2 cm by collecting data for the frequency ranges used were 1000 Hz, 1500 Hz, 2000 Hz, 2500 Hz, 3000 Hz, 3500 Hz, 4000 Hz, 4500 Hz, 5000 Hz, 5500 Hz, 6000 Hz, 6500 Hz, 7000 Hz, 7500 Hz and 8000 Hz. The results of this study indicate that the substitution of sawdust in the test object can reduce noise and of the five variations of the test object that reduce noise optimally is the 20% variation where this 20% substitution shows the difference between incoming sound and outgoing sound is higher than other test objects .

Keywords: Geopolymer, Fly ash, sawdust, acoustics

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I_PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Tujuan dan Manfaat Penelitian	5
D. Batasan Masalah	5
E. Sistematika Penulisan	5
BAB II_TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Fly Ash	7
B. Serbuk kayu	10
C. Geopolimer	13
D. Teori insulasi	17
E. Alkali Aktivator	19
F. Kebisingan	21
	viii

G. Penelitian terdahulu tentang <i>fly ash</i> dan Serbuk kayu dalam pemanfaatannya sebagai material Insulasi	26
BAB III_METODOLOGI PENELITIAN	30
A. Rancangan Penelitian	30
B. Bagan Alir Penelitian	31
C. Tempat dan waktu Penelitian	32
D. Alat dan Bahan Penelitian	32
E. Rancangan Campuran geopolimer <i>Fly Ash</i>	35
BAB IV_HASIL DAN PEMBAHASAN	42
A. Berat Jenis Benda Uji	42
B. Kuat Tekan	43
C. Pengujian Kebisingan	45
BAB V_PENUTUP	53
A. Kesimpulan	53
B. Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	59

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Kebutuhan Fisik Fly Ash	8
Tabel 2. Kebutuhan kandungan kimia <i>fly ash</i>	9
Tabel 3. Tingkat dan Sumber Bunyi pada Skala Kebisingan tertentu	23
Tabel 4. Baku Mutu Tingkat Kebisingan Sesuai dengan Peruntukan Lahan	24
Tabel 5. Penelitian terdahulu tentang Fly Ash dan serbuk kayu	26
Tabel 6. Komposisi campuran Fly Ash dan serbuk kayu	36
Tabel 7. Pembuatan benda Uji	37
Tabel 8. Jenis beton berdasarkan berat jenis dan pemakaiannya	40

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Proses Geopolimerisasi	14
Gambar 2. Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 3. Sound Level Meter	32
Gambar 4. Mixer	32
Gambar 5. Cetakan silinder	33
Gambar 6 . Pipa PVC	33
Gambar 7. Timbangan	33
Gambar 8. Speaker	34
Gambar 9. Fly Ash	34
Gambar 10. Serbuk kayu	34
Gambar 11. Alkali Aktivator	35
Gambar 12. Universal Tasting Macine	35
Gambar 13. Proses pemeliharaan benda uji selama 28 hari	37
gambar 14 . Sound level meter	38
Gambar 15. Ilustrasi pengukuran Insulasi kebisingan menggunakan SLM	38
Gambar 16. Grafik berat jenis benda Uji berdasarkan variasi	42
gambar 17. Persentase penurunan berat jenis	43
Gambar 18. Grafik kuat tekan benda uji	44
Gambar 19. Tingkat kebisingan variasi 0%	45
Gambar 20. Tingkat kebisingan variasi 5%	46
Gambar 21. Tingkat kebisingan variasi sampel 10%	47
Gambar 22. Tingkat kebisingan variasi 15%	48
Gambar 23. Tingkat kebisingan variasi sampel 20 %	49
Gambar 24 . Selisih tingkat kebisingan In dan Out	50
Gambar 25. Selisih intensitas suara in dan out saat frekuensi 4.5 k Hz	51

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Alat dan bahan	60
Lampiran 2 Pembuatan Benda uji	63
Lampiran 3 Pengujian Hasil Benda uji	67

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Saat ini seiring berkembangnya zaman berbagai aktivitas atau kegiatan masyarakat baik yang disadari maupun tidak disadari dapat menimbulkan berbagai sumber bising dengan tingkat kebisingan yang berbeda-beda. Kebisingan merupakan salah satu masalah kesehatan lingkungan yang ada dikota-kota besar saat ini. Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor Kep-48/MENLH/11/1996 Tentang Baku Mutu Tingkat Kebisingan, Kebisingan adalah bunyi yang tidak diinginkan dari usaha atau kegiatan dalam tingkat dan waktu tertentu yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan termasuk ternak, satwa, dan sistem alam. Dalam (Fithri, 2015) dikatakan bahwa kebisingan merupakan salah satu faktor bahaya fisik yang sering dijumpai dilingkungan. Adapun sumber kebisingan dapat berasal dari kegiatan industri, perdagangan, pembangunan, alat pembangkit tenaga, alat pengangkut dan kegiatan rumah tangga (Abdi, 2018).

Seperti yang telah dijelaskan CI Erliana, (2018) Kebisingan merupakan masalah yang serius dikarenakan bising merupakan sebuah bentuk energi yang bila tidak disalurkan pada tempatnya akan berdampak serius bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Pada zaman modern seperti sekarang ini, pembangunan dan perkembangan teknologi maju dengan pesat, hal ini menyebabkan kebisingan suara suatu ruangan juga meningkat. Kebisingan ini mengakibatkan efektifitas penggunaan ruangan pada bangunan juga menurun. Oleh sebab itu, diperlukan suatu sistem untuk mengisolasi suara yaitu salah satunya dengan menggunakan material kedap suara atau material insulasi.

Dinding insulasi merupakan dinding penyekat atau penghambat untuk mencegah perpindahan energi. Dinding insulasi mengacu pada beberapa hal yang pertama insulasi bangunan dipergunakan untuk meningkatkan efisiensi energi dan

kenyaman, insulasi Akustik yang berguna untuk mengurangi intensitas suara, insulasi thermal untuk mengurangi laju perpindahan panas, pada penelitian (Iman I, 2021) yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh campuran serbuk kayu dengan limbah *fly ash* terhadap thermal performance sebagai material dinding dimana didapatkan bahwa pada substitusi serbuk kayu dalam benda uji dapat meredam panas. Ada pula insulasi listrik untuk mencegah aliran listrik, dan terakhir insulasi pipa berfungsi untuk menyekat suatu sistem perpipaan untuk mencegah kondensasi, proyeksi terhadap transfer panas, dan proteksi terhadap kontak fisik. Saat ini banyak upaya yang dilakukan untuk meredam suara yang ditimbulkan dari suatu kegiatan yang berdampak buruk bagi masyarakat dan lingkungan di sekitar. bahan – bahan untuk meredam suatu kebisingan. Bahan peredam tersebut biasanya bersifat lunak dan berongga. Contohnya bahan peredam yang ada diantaranya busa (poliuretan). (Ramadhan, 2018)

Bahan peredam suara untuk mengurangi kebisingan dapat menggunakan bahan-bahan jadi yang sudah ada ataupun membuatnya sendiri, diantara bahan-bahan yang sudah ada tersebut antara lain adalah bahan berpori, resonator dan panel (Lee, 2003), sementara material yang sering digunakan adalah *glasswool* dan *rockwool*, namun dapat juga diganti dengan gabus maupun bahan yang berkomposisi serat. Kualitas dari bahan peredam suara ditunjukkan dengan harga α (koefisien penyerapan bahan terhadap bunyi), semakin besar α maka semakin baik digunakan sebagai peredam suara. Nilai α berkisar antara 0 sampai 1, jika α bernilai 0, artinya tidak ada bunyi yang diserap, sedangkan jika α bernilai 1 artinya 100% bunyi yang datang diserap oleh bahan.(Putri, 2020)

Material komposit alami (*indigenous materials*) seperti serat batang kelapa sawit (*oil palm frond fiber*), sekam padi (*rice husk*), serbuk kayu (*sawdust*), serabut kelapa (*coconut fiber*), eceng gondok (*eichhornia crassipes*), dan serat nenas mempunyai potensi komersial yang sangat baik untuk dimanfaatkan sebagai material pengganti komposit serat kaca (*glass fiber*). Saat ini telah banyak yang melakukan penelitian mengenai bahan peredam suara ini seperti sekam padi, serabut kelapa dan serbuk kayu, dalam penelitian ini menggunakan serabut kelapa sebagai tambahan di dalam campuran beton sebagai benda uji pada uji peredaman

suara atau kebisingan. Hal ini dikarenakan harga yang relative rendah, proses yang sederhana dan juga jumlahnya yang melimpah di sekitar lingkungan kita (Putri, 2020)

Saat ini perkembangan teknologi semakin pesat dalam bidang konstruksi, contoh khusus mengenai teknologi tentang dinding alternatif, salah satu yang paling populer sebagai material bangunan adalah beton yang tersusun dari agregat kasar, agregat halus, air dan semen, dimana semen ini menjadi material yang sangat penting dan banyak digunakan dalam sebuah infrastruktur, yang juga menjadi masalah dimana semakin hari pembangunan infrastruktur semakin meningkat yang mengakibatkan produksi semen juga meningkat dan penggunaan bahan bangunan yang berlebih dapat merusak lingkungan.

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk menanggulangi masalah tersebut adalah menggunakan bahan limbah yaitu *fly ash* sebagai alternatif yang dapat menggantikan posisi semen dalam campuran beton. Alternatif ini termasuk ramah lingkungan karena campuran beton yang dibuat 100% menggunakan *Fly ash* yang merupakan hasil pembakaran batu-bara, dimana beton tersebut biasa kita sebut dengan nama Geopolymer (Fitria. 2019)

Dalam proses pembakaran batu bara dihasilkan material dimana yang keluar dari cerobong asap berupa debu halus atau *Fly Ash*. Dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Tentang penyelenggaraan Perlindungan dan pengelolaan Lingkungan Hidup menetapkan Abu Batubara (*Fly Ash*) masuk kedalam kategori limbah non-B3. 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, 2015). Zat tersebut tidak dapat bereaksi sendiri untuk proses pengikatannya, tetapi membutuhkan senyawa

alkalin sebagai aktivator (NaOH) dan katalisator (Na_2SiO_3) sebagai reaktan. (Zahra.D, 2019)

Pasir atau agregat halus juga dibutuhkan untuk menyempurnakan pencampuran, dalam (Iman I, 2021) mengatakan ada beberapa limbah dari hasil alam bisa dijadikan sebagai pengganti pasir yaitu limbah serbuk kayu. Kita ketahui kebutuhan akan kayu di Indonesia setiap tahunnya meningkat lima puluh persen kayu nasional Indonesia tersebut digunakan sebagai bahan baku industri kayu lapis atau Plywood (Halawane dkk,2001).

Menurut (Ahmed, 2022) Kayu adalah salah satu material yang limbahnya dapat dimanfaatkan secara bijak, mengingat kayu memiliki sifat insulasi yang baik, tetapi sampai saat ini serbuk kayu hanya dibiarkan membusuk, ditumpuk, dan dibakar dimana hal tersebut dapat berdampak buruk terhadap lingkungan. Pengolahan limbah serbuk kayu terus diupayakan karena limbah industri ini memiliki potensi yang sangat besar untuk dikembangkan sebagai bahan dasar berbagai keperluan masyarakat salah satunya yaitu menambahkan serbuk kayu sebagai bahan campuran beton. Dalam penelitian (Nurmaidah,2017) upaya yang dapat menangani permasalahan dengan semakin berkembangnya teknologi di bidang rekayasa material maka sebagai alternatif salah satu upaya yang telah dilakukan dengan menggunakan bahan limbah seperti serbuk kayu sebagai pengganti agregat halus yang digunakan pada campuran pembuatan beton ringan, karena selain mempunyai nilai kuat tekan yang tinggi serbuk kayu juga memiliki sifat resapan suara yang bagus, adapun alasan lain penggunaan serbuk kayu untuk bahan campuran pembuatan beton adalah untuk menciptakan bangunan yang ramah lingkungan. Mengacu pada penelitian sebelumnya oleh (Iman I, 2021) dimana penambahan serbuk kayu dalam pembuatan geopolimer *fly ash* sebagai material penahan panas, maka dari itu diharapkan pula penambahan serbuk kayu dan *fly ash* dapat meredam kebisingan oleh karenanya suatu uji kebisingan diperlukan untuk campuran serbuk kayu dan *fly ash* dengan berbagai variasi substitusi untuk dijadikan sebagai material dinding insulasi dalam meredam kebisingan.

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan diatas maka penulis mengambil judul yaitu: **“Studi Reduksi Bising dengan Menggunakan Material Insulasi Geopolimer *Fly Ash* – Serbuk Kayu”**

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang perlu dikaji dalam penelitian ini adalah bagaimana efektifitas dari penambahan limbah *Fly Ash* dan serbuk kayu sebagai Meterial Insulasi Geopolimer dalam upaya mereduksi Kebisingan.

C. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efektifitas penambahan limbah *Fly Ash* dan serbuk sebagai material insulasi geopolimer dalam upaya mereduksi kebisingan

D. Batasan Masalah

Agar penelitian ini terarah dan berjalan sesuai rencana, maka dari perlu adanya batasan masalah, adapun batasan masalah yakni:

1. *Fly Ash* lolos saringan nomor 200 sebagai material pengganti semen
2. *Fly Ash* yang digunakan berasal dari PLTU di Barru
3. Serbuk kayu lolos saringan 4 sebagai pengganti agregat halus
4. Larutan alkali aktivator yang digunakan yaitu campuran sodium silikat (Na_2SiO_3) dan sodium hidroksida (NaOH) serta aquades.
5. Komposisi serbuk kayu yang ditambahkan bervariasi, yaitu 0%, 5%, 10% 15% dan 20%
6. Pengujian kebisingan yang dilakukan setelah curing benda uji 28 hari

E. Sistematika Penulisan

Secara umum tulisan ini terbagi dalam lima bab yaitu: Pendahuluan, Tinjauan pustaka, Metodologi Penelitian, hasil dan Pembahasan terakhir Penutup. Adapun untuk penjelasan lebih rinci sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini mencakup latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan yang berisi tentang gambaran secara garis besar mengenai hal-hal yang dibahas dalam bab-bab berikutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bagian ini berisi teori-teori yang digunakan sebagai landasan atau acuan penelitian

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai tahapan, persiapan alat dan bahan, cara penelitian serta uraian tentang pelaksanaan penelitian sampai akhir penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini merupakan pembahasan mengenai pengamatan visual

BAB V PENUTUP

Bab ini memuat kesimpulan mengenai data hasil penelitian serta berisi saran

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Fly Ash

Abu terbang (Fly Ash) adalah material sisa yang berasal dari hasil pembakaran batu bara yang digunakan pada boiler Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dan tidak terpakai lagi. *Fly ash* ini diambil secara mekanik dengan sistem pengendapan elektrostatik. Menurut SNI 03-6414-2002 abu terbang atau *Fly ash* adalah limbah hasil pembakaran batubara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozolanik.

Dalam penelitian (Ardha, 2003), secara kimia *fly ash* merupakan material oksida anorganik yang mengandung silika dan alumina aktif karena sudah melalui proses pembakaran pada suhu tinggi. Bersifat aktif yaitu dapat bereaksi dengan komponen lain dalam komposisinya yaitu membentuk material baru (Mulite) yang tahan terhadap suhu tinggi.

Menurut (Suhud,1993) *Fly ash* memiliki butiran yang lebih halus daripada butiran semen dan mempunyai sifat hidrolis, *fly ash* bila digunakan sebagai bahan tambah atau pengganti sebagian semen maka tidak sekedar menambah kekuatan mortar, tetapi secara mekanik *fly ash* ini akan mengisi ruang kosong (rongga) diantara butiran-butiran dan secara kimiawi akan memberikan sifat hidrolis pada kapur mati yang dihasilkan dari proses hidrasi, dimana mortar hidrolis ini akan lebih kuat daripada mortar udara (Kapur mati dan air) (Kurniasari, 2017)

Menurut ASTM C618-03 (2003), *fly ash* didefinisikan sebagai material halus yang berasal dari hasil pembakaran batu bara. Banyaknya hasil material, hanya abu terbang dan slag telah terbukti menjadi sumber material yang dapat membuat geopolimer. Abu terbang dianggap menguntungkan karena reaktivitas partikelnya lebih halus daripada slag. Selain itu, abu terbang yang mengandung rendah kalsium lebih diharapkan dibandingkan slag yang digunakan sebagai bahan baku (Hardjito dan Rangan,2005)

Berdasarkan SNI S-15-1990-f tentang abu terbang sebagai bahan tambahan untuk campuran beton terdapat beberapa jenis *fly ash*, yang digolongkan menjadi 3 jenis:

1. Kelas N

Buangan atau pozzolan alam terkalsinasi yang dipenuhi dengan kebutuhan yang memenuhi syarat yang dapat dipakai sesuai kelasnya seperti beberapa tanah *diatomaceous*, *opalinse chert* dan serpihan-serpihan *tuff* debu-debu vulkanik atau *pumicities*, dan bahan-bahan lainnya yang mungkin masih belum terproses oleh kalsinasi; dan berbagai material yang memerlukan kalsinasi untuk memperoleh sifat-sifat yang memuaskan, misalnya beberapa jenis tanah liat dan serpihan-serpihan. *Fly ash* Kelas N memiliki Senyawa $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 > 70 \%$

2. Kelas F

Abu batu bara yang umumnya diproduksi dari pembakaran *anthracite* (batubara keras yang mengkilap) atau bitumen-bitumen batubara yang memenuhi syarat-syarat yang dapat dipakai untuk kelas ini seperti yang disyaratkan. Abu batubara jenis ini memiliki sifat *Pozzolanice*. *Fly ash* kelas F ini memiliki senyawa $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 > 70 \%$

3. Kelas C

Abu batu bara yang umumnya dipakai dari *lignite* atau batubara subbitumen yang memenuhi syarat yang dapat dipakai untuk kelas ini seperti yang disyaratkan. Abu batubara kelas ini, selain memiliki sifat *Pozzolan* juga memiliki beberapa sifat yang lebih menyerupai semen. Untuk beberapa abu batubara kelas C biasanya mengandung kapur lebih tinggi dari 10%. *fly ash* kelas C memiliki Senyawa $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 > 50 \%$

Berdasarkan PP RI No 18 tahun 1999 dan ASTM C618-03, maka *fly ash* dapat dikelola dan digunakan sebagai bahan dalam pembuatan geopolimer.

Tabel 1. Kebutuhan Fisik Fly Ash

Kebutuhan	Kelas		
	N	F	C
Jumlah lolos saringan 4 mm (No 325) kondisi basah	34	34	34

Kebutuhan	Kelas		
	N	F	C
Deangan semen Portlan pada umur 7 hari	75 ⁰	75 ⁰	75 ⁰
Dengan semen portland pada umur 28 hari	75 ⁰	75 ⁰	75 ⁰
Kebutuhan air maksimum	115	105	105
Ekspansinatau peubahan bentuk, max 100%	0,8	0,8	0,8
Berat jenis maksimum variasi darirata-rata %	5	5	5
Persentasi lolos saringan 45 mm (No.325), maka variasi dari rata-rata	5	5	5

Sumber: ASTM C618-03, 2003

Pada Tabel 1 diatas menunjukkan persyaratan fisik fly ash dimana tes menentukan kekuatan portlan semen yang tidak dianggap menjadi bagian yang direkomendasikan untuk digunakan pada pembuatan beton dan melakukan kontrol kekuatan pada umu 3, 7, 14 dan 28 hari. Umumnya fly ash memiliki komposisi kimia utama berupa *silica* (SiO₂), *alumina* (Al₂O₃) dan *ferro oxide* (Fe₂O₃). Kandungan kimia lainnya seperti *calcium oxides*(CaO), *Magnesium* (MgO), *sulfur* (SO₂), *alkaline* (Na₂O, K₂O), *phosphorus* (P₂O₂), *Manganese* (Mn₂O₃) dan *titanium* (TiO₂).

Fly ash terbagi dalam 3 kategori yaitu Kelas N, kelas F dan kelas C seperti pada tabel 2 minimum kandungan senyawa SiO₂, Al₂O₃ dan Fe₂O₃ adalah 70% untuk kelas N dan kelas F, sedangkan kelas C antara 50%-70% sehingga kandungan CaO pada fly ash kelas N dan F relatif kecil dibandingkan dengan kelas C dimana kandungan CaO Lebih besar daripada 10% (ASTM C618-03, 2003).

Tabel 2. Kebutuhan kandungan kimia fly ash

Kebutuhan	Kelas		
	N	F	C
Silicon dioxide (SiO ₂) plus aluminium oxide (Al ₂ O ₃) Plus Iron Oxide (F ₂ O ₃), min, %	70	70	50
Sulfur Trioxide (SO ₃), maks,	4,0	5,0	5,0

Kebutuhan	Kelas		
	N	F	C
%			
Moisuture,maks,%	3,0	3,0	3,0
Loss on ignition (LOI), maks,%	10,0	6,0	6,0

Sumber: ASTM C618-03 (2003)

Dari ketiga jenis fly ash pada Tabel 2 yang bisa digunakan sebagai Geopolimer adalah jenis fly ash yang memiliki kandungan CaO rendah dan kandungan Si dan Al lebih dari 50% yaitu fly ash tipe C dan F karena Si dan Al merupakan unsur yang utama dalam terjadinya proses geopolimerisasi. Dari penelitian terdahulu (Kosnatha dan Prasetyo, 2007) geopolimer yang menggunakan fly ash tipe C menghasilkan kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan fly ash tipe F baik yang menggunakan curing dengan oven maupun pada suhu ruang. (Kurniasari, 2017).

B. Serbuk kayu

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 hasil produksi tersebut kemudian akan diolah menjadi berbagai macam barang yang kemudian akan menghasilkan limbah serbuk kayu. Semakin bertambahnya jumlah penduduk di negara kita maka konsumsi masyarakat terhadap produk berbahan dasar kayu akan semakin meningkat pula.

Limbah kayu adalah sisa-sisa kayu atau bagian kayu yang dianggap tidak bernilai ekonomi lagi dalam proses tertentu, contohnya serbuk gergajian, sisa potongan kayu, dan kulit kayu. Dimana dalam penelitian ini kita menggunakan serbuk kayu bekas gergajian yang pada umumnya tidak lagi dapat dimanfaatkan. Serbuk kayu atau serbuk gergajian adalah butiran kayu yang dihasilkan dari proses menggergaji (Setiono,2004). Serbuk-serbuk gergaji ini dapat diperoleh dari berbagai sumber, seperti limbah pertanian dan perkayuan. Dalam (Pari, 2002)

produksi total kayu gergajian di Indonesia mencapai 2,6 juta m³ per tahun, dengan asumsi bahwa jumlah limbah yang terbentuk 54,24% dari produksi total dan 10 % dari itu berbentuk limbah serbuk kayu yang tidak terpakai, oleh karena itu maka dihasilkan limbah penggergajian kayu sebanyak 1,4 juta m³ per tahun dan angka ini cukup besar karena mencapai sekitar separuh dari produksi kayu gergajian.

Pengolahan serbuk kayu terus diupayakan karena limbah kayu memiliki potensi yang sangat besar untuk dikembangkan sebagai bahan dasar berbagai keperluan manusia diantaranya pembuatan etanol, sebagai media tanam, bahan baku furniture, bahan baku briket arang, bahan bakar guna melengkapi kebutuhan energi industri vinir/kayu lapis dan pulp/kertas, batako/bahan bangunan lainnya seperti yang dikatakan sebelumnya kita ketahui bahwa serbuk kayu merupakan salah satu serat alami yang dapat digunakan untuk campuran beton atau bahan bangunan ringan, sebagai contoh serbuk kayu sering digunakan bahan campuran untuk beton atau mortar geopolimer. Penggunaan serbuk kayu ini 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 sendiri semakin meningkat. (Iman I,2021)

Serbuk gergaji mengandung komponen utama selulosa, hemiselulosa, lignin dan zat ekstraktif kayu. Serbuk gergaji kayu merupakan bahan berpori, sehingga air mudah terserap dan mengisi pori-pori tersebut. Dimana sifat serbuk gergaji yang higroskopik atau mudah menyerap air. Serbuk gergaji kayu jati merupakan serbuk yang memiliki potensi sebagai material alternatif untuk pembuatan papan komposit peredam suara. (Leo, 2016)

Menurut Haygreen dan Bowyer (1996), ukuran-ukuran limbah kayu ialah:

1. Pasahan (sahaving), partikel kayu kecil berdimensi tidak menentu yang dihasilkan apabila mengentam lebar atau mengentam sisi ketebalan kayu.
2. Serpih (flake), partikel kayu kecil dengan dimensi yang telah ditentukan sebelumnya yang dihasilkan dalam peralatan yang telah dikhususkan.
3. Biskit (Wafer), serupa serpih dalam bentuknya tetapi lebih besar. Biasanya lebih dari 0,025 inci tebalnya dari 1 inci panjangnya.

4. Tatal (*chips*), sekeping kayu yang dipotong dari satu balok dengan pisau yang besar atau pemukul seperti dengan mesin pembuat tatal kayu pulp.
5. Serbuk gergaji (*sawdust*), dihasilkan oleh pemotong dengan gergaji
6. Untaian (*strand*), pasahan panjang, tetapi pipih dengan permukaan yang sejajar.
7. Kerat (*sliver*), hampir persegi potongan melintangnya, dengan panjang paling sedikit 4 kali tebalnya
8. Wol kayu (*exelcior*), keratan yang panjang, berombak, ramping, juga digunakan sebagai kasuran dalam pengepakan.

Berikut beberapa sifat-sifat serbuk kayu diantaranya:

a) Sifat fisik serbuk kayu

Sifat fisik serbuk kayu 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. Sama halnya dengan bahan peredam bunyi untuk meminimalkan kebisingan, (Lee dalam Khuriati, 2006) menyatakan bahwa jenis bahan peredam bunyi yang sudah ada yaitu bahan berpori, resonator dan panel. Dari ketiga jenis bahan tersebut bahan berpori lah yang sering digunakan. Hal ini karena bahan berpori lebih murah dan ringan jenis peredam lain (Priyoko, 2011). Maka dari itu salah satu bahan untuk peredam bunyi adalah serbuk kayu karena sifatnya berpori.

b) Sifat higroskopik serbuk kayu

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

c) Sifat mekanik serbuk kayu

Kayu bersifat anisotropik (nonisotopic material), dengan kekuatan yang berbeda-beda pada berbagai arah sel kayu jika mendapat gaya tarik sejajar erat 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.

C. Geopolimer

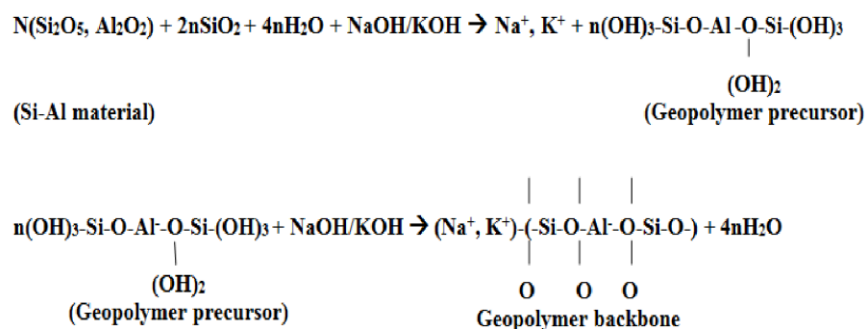
Geopolymer adalah sebuah senyawa silikat alumino anorganik yang disintesis dari bahan – bahan produk sampingan seperti abu terbang (*fly ash*) abu sekam padi (*risk husk ash*) dan lain – lain, yang banyak mengandung silika dan alumina. *Geopolymer* merupakan produk beton geosintetik dimana reaksi pengikatan yang terjadi adalah reaksi polimerisasi. Dalam reaksi polimerisasi ini Aluminium (Al) dan Silika (Si) mempunyai peranan penting dalam ikatan polimerisasi. Geopolimer merupakan material ramah lingkungan yang biasa dikembangkan sebagai alternatif pengganti beton semen di masa mendatang Geopolimer merupakan sintesa bahan-bahan alam anorganik lewat proses polimerisasi (Davidovits, 1994).

Geopolimer dikategorikan sebagai material ramah lingkungan karena pembuatan bahan dasar geopolimer membutuhkan jumlah energi yang rendah jika dibandingkan dengan produksi semen portland yang menghasilkan CO₂ dalam jumlah besar (Pari, dkk 2002). Dengan menghasilkan CO₂ yang rendah secara langsung membantu mengurangi pemanasan global.

Bahan dasar utama yang diperlukan untuk pembuatan material geopolimer ini adalah bahan-bahan yang banyak mengandung unsur-unsur silicon dan aluminium. Unsur-unsur ini banyak didapati, di antaranya pada material buangan hasil sampingan industri, seperti misalnya abu terbang dari sisa pembakaran batu bara. Abu terbang sendiri tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen. Tetapi dengan kehadiran larutan alkali dan ukuran partikelnya yang halus, oksida silika yang dikandung oleh abu terbang akan bereaksi secara alami dengan campuran NaOH dan Na₂SiO₃ sebagai pengikat dan polimerisasi pada abu terbang (*fly ash*).

Dalam (Ridwan M, 2018) Davidovits (1999) menyatakan “beton geopolimer terbentuk dari reaksi kimia bukan dari reaksi hidrasi seperti pada beton biasa. Proses pembuatan beton geopolimer membutuhkan alkali aktivator sebagai pereaksi kandungan silika dan alumina yang terkandung dalam *fly ash* karena *fly ash* tidak memiliki sifat cementitious.” Aktivator yang umumnya digunakan adalah sodium hidroksida dan sodium silikat. Sodium silikat berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi, sedangkan natrium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur unsur Al dan Si yang terkandung, sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat (Hardjito dkk, 2005). 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. (Ridwan, 2018)

Menurut (Fajri F.M, 2017) 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 alumino silikat 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, 2011 dalam Fajri F.M, 2017)

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.

Data di bawah ini merupakan sifat fisik yang umumnya dimiliki *geopolymer* (Davidovits, 2008)

Semen *Geopolymer*

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

Binder *Geopolymer*

1. Ekspansi linier: < 5.10⁻⁶/K
2. Konduktivitas panas: 0.2 sampai 0.4 W/K.m
3. *Specific heat* : 0.7-1.0 KJ/kg
4. Densitas *bulk* 1 sampai 1.9 g/mL
5. Porositas terbuka 15-30 %
6. Penyusutan geopolimerisasi 0.2 – 0.4 %
7. D.T.A : endotermik pada 250°C (air zeolitik)

Data di bawah ini merupakan sifat kimia yang umumnya dimiliki *geopolymer* (Davidovits, 2008)

1. Ketahanan kimia *geopolymer*

Geopolymer yang direndam asam sulfat 10% hanya mengalami penyusutan massa 0.1 % per hari dan asam klorida 5% hanya menyebabkan penyusutan 1% per hari. Perendaman dengan KOH 50% hanya menyusut 0.02% per hari, 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*.

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

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.

1. 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 silika 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*).

2. Aktivator

Aktivator dibutuhkan untuk reaksi disolusi dan polimerisasi monomer alumina dan silika. alkali melarutkan (disolusi) prekursor ke dalam 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 tetrahedral 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 protokolnya 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)

3. Proses polimerisasi

Sintesis 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 $\text{Si}(\text{OH})_4$ 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 $\text{Al}(\text{OH})_4$. Atas pertimbangan diatas, untuk mencapai disolusi yang sempurna pada pembentukan monomer aluminat dan silikat dibutuhkan larutan alkali aktivator yang mencukupi.

D. Teori insulasi

Insulasi adalah penggunaan material dengan nilai konduktan rendah untuk mengurangi aliran energi melintasi material tersebut. Untuk mereduksi aliran energi tersebut material harus mempunyai nilai resistan yang tinggi (nilainya kebalikan dari konduktan). Secara umum udara merupakan insulator yang bagus untuk menghambat panas, dengan syarat proses konveksi dapat ditekan. Dalam (Mustafa, 2020) insulasi dapat membantu untuk mengurangi penggunaan sistem pemanas dan pendingin, menghemat biaya, meningkatkan kenyamanan penghuni, mengurangi kebisingan, memperlambat dan mencegah kebocoran udara dan

transmisi uap air, Membantu meningkatkan ketahanan bangunan terhadap api (fireproof).

Penggunaan bahan penyerap sebagai bahan isolasi pada bangunan sangat penting untuk mengurangi salah satunya dampak buruk kebisingan terhadap kesehatan manusia. Disamping itu peredam suara juga dibutuhkan untuk menciptakan bangunan atau gedung dengan karakteristik akustik tertentu sehingga tercipta kenyamanan bagi penggunanya.

Jenis bahan peredam suara yang sudah ada yaitu bahan berpori, resonator dan panel (Lee, 2003). Dari ketiga jenis bahan tersebut, bahan berpori lah yang sering digunakan. Khususnya untuk mengurangi kebisingan pada ruang-ruang yang sempit seperti perumahan dan perkantoran. Hal ini karena bahan berpori relatif lebih murah dan ringan dibanding jenis peredam lain (Lee, 2003). Material yang telah lama digunakan pada peredam suara jenis ini adalah *glasswool* dan *rockwool*. Namun karena harganya yang mahal, berbagai bahan pengganti material tersebut mulai dibuat. Diantaranya adalah berbagai macam gabus maupun bahan berkomposisi serat. (Khuriati, 2006)

Kualitas dari bahan peredam suara ditunjukkan dengan harga α (koefisien penyerapan bahan terhadap bunyi), semakin besar α maka semakin baik digunakan sebagai peredam suara. Nilai berkisar dari 0 sampai 1. Jika α bernilai 0, artinya tidak ada bunyi yang diserap. Sedangkan jika α bernilai 1, artinya 100% bunyi yang datang diserap oleh bahan. Pada penelitian ini, limbah kayu dimanfaatkan untuk pengganti sebagian agregat halus yang digunakan pada campuran pembuatan beton. Kayu telah digunakan sebagai bahan struktur sejak dahulu. Kayu mempunyai kekuatan tarik dan tekan, dan secara struktural cocok untuk berperan sebagai elemen yang memikul beban jenis tekan aksial, tarik aksial, dan beban lentur. (Angus J. Macdonald, 2001) dalam (Nurmaidah, dkk. 2017)

Bahan peredam suara untuk mengurangi kebisingan dapat menggunakan bahan-bahan jadi yang sudah ada ataupun membuatnya sendiri, diantara bahan-bahan yang sudah ada tersebut antara lain adalah bahan berpori, resonator dan panel (Lee, 2003), sementara material yang sering digunakan adalah *glasswool*

dan *rockwool*, namun dapat juga diganti dengan gabus maupun bahan yang berkomposisi serat. Kualitas dari bahan peredam suara ditunjukkan dengan harga α (koefisien penyerapan bahan terhadap bunyi), semakin besar α maka semakin baik digunakan sebagai peredam suara. Nilai α berkisar antara 0 sampai 1, jika α bernilai 0, artinya tidak ada bunyi yang diserap, sedangkan jika α bernilai 1 artinya 100% bunyi yang datang diserap oleh bahan. Material komposit alami (*indigenous materials*) seperti serat batang kelapa sawit (*oil palm frond fiber*), sekam padi (*rice husk*), serabut kelapa (*coconut fiber*), eceng gondok (*eichhornia crassipes*), dan serat nenas mempunyai potensi komersial yang sangat baik untuk dimanfaatkan sebagai material pengganti komposit serat kaca (*glass fiber*). Hal ini dikarenakan harga yang relative rendah, proses yang sederhana dan juga jumlahnya yang melimpah di sekitar lingkungan kita Serat serat yang telah digunakan dan diteliti untuk meredam kebisingan (bunyi) antara lain serat bamboo, serabut kelapa. Dalam penelitian ini menggunakan serabut kelapa sebagai tambahan di dalam campuran beton sebagai benda uji pada uji peredaman suara atau kebisingan. (Putri 2020)

E. Alkali Aktivator

Alkali Aktivator (Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida) Sodium silikat dan sodium hidroksida digunakan sebagai alkalin aktivator (Hardjito, 2005). 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 2 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 2 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). Dalam penelitian ini, sodium silikat digunakan sebagai alkali *activator*.

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

F. Kebisingan

Menurut Leslie (1993) dalam Septian 2019, kebisingan adalah semua bunyi yang mengalihkan perhatian, mengganggu atau berbahaya bagi kegiatan sehari-hari. Secara sederhana dapat dikatakan bahwa tiap bunyi yang tidak diinginkan oleh penerima dianggap sebagai bising. Sedangkan menurut sv szokolay (1979) kebisingan didefinisikan sebagai getaran-getaran yang tidak teratur, memperlihatkan bentuk yang tidak biasa. Kebisingan merupakan terjadinya bunyi yang tidak dikehendaki termasuk bunyi yang tidak beraturan dan bunyi yang dikeluarkan oleh transportasi dan industri, sehingga dalam jangka waktu yang panjang dapat mengganggu dan membahayakan konsentrasi kerja, merusak pendengaran (kesehatan) dan mengurangi efektifitas kerja (Santoso,2008)

1. Bunyi

(Menurut Delle 1993 dalam santoso, 2008) bunyi atau suara memiliki dua definisi

- a) Secara fisik, bunyi adalah penyimpangan tekanan, pergeseran partikel dalam medium elastis seperti udara. Definisi ini menghasilkan bunyi objektif
- b) Secara fisiologis, bunyi adalah sensasi pendengaran yang disebabkan penyimpangan tekanan dalam medium elastik. Definisi ini menghasilkan bunyi subjektif.

Jika dilihat di sekitar kita sumber bising sangatlah banyak. Sumber bising adalah sumber bunyi yang kehadirannya dianggap mengganggu pendengaran baik dari sumber bergerak maupun tidak bergerak. Umumnya sumber kebisingan dapat berasal dari kegiatan *industri*, perdagangan, pembangunan, alat pembangkit tenaga, alat pengangkut dan kegiatan rumah tangga lainnya. (Dalam Nahrio,2019) sumber kebisingan dibedakan menjadi:

1. Bising *Industri*, *industri* besar termasuk di dalamnya pabrik, bengkel dan sejenisnya. Bising *industri* dapat dirasakan oleh karyawan maupun masyarakat di sekitar *industri* dan juga setiap orang yang secara tidak sengaja berada di sekitar *industri* tersebut. Sumber kebisingan bising *industri* dapat diklasifikasikan menjadi 3 macam, yaitu :
 - a) Mesin: Kebisingan yang ditimbulkan oleh mesin.
 - b) Vibrasi: Kebisingan yang ditimbulkan oleh akibat getaran yang ditimbulkan akibat gesekan, benturan atau ketidakseimbangan gerakan bagian mesin. Terjadi pada roda gigi, roda gila, batang torsi, piston, fan, dan lain-lain.
 - c) Pergerakan udara, gas dan cairan: Kebisingan ini ditimbulkan akibat pergerakan udara, gas, dan cairan dalam kegiatan proses kerja industri misalnya pada pipa penyalur cairan gas, outlet pipa, gas buang, dan lain-lain.
2. Bising Rumah Tangga, umumnya disebabkan oleh peralatan rumah tangga dan tingkat kebisingannya tidak terlalu tinggi.
3. Bising Spesifik, bising yang disebabkan oleh kegiatan khusus, misalnya pemasangan tiang pancang tol atau bangunan.

Bila dilihat dari sifatnya sumber bising dibagi menjadi dua yaitu :

- a) Sumber bising yang berbentuk sebagai suatu titik atau bola atau lingkaran, misalnya: sumber bising dari mesin industri atau mesin yang tidak bergerak.
- b) Sumber bising yang berbentuk sebagai suatu garis, misalnya kebisingan lalu lintas.

Menurut Leksono (dalam Irfan, 2019) berdasarkan asal sumbernya, kebisingan dapat diklasifikasikan menjadi 5 macam kebisingan, yaitu :

- a) Kebisingan kontinyu dengan spektrum frekuensi luas (*steady state, wide band noise*), misalnya suara yang ditimbulkan oleh kipas angin;
- b) Kebisingan kontinyu dengan spektrum frekuensi sempit (*steady state, narrow band noise*), misalnya suara yang ditimbulkan oleh gergaji sirkuler dan katup gas;
- c) Kebisingan terputus-putus (*intermitten*), misalnya suara lalu lintas, suara kapal terbang di lapangan udara;
- d) Kebisingan impulsif (*impact or impulsive noise*), misalnya suara tembakan atau meriam;
- e) Kebisingan impulsif berulang, misalnya suara yang ditimbulkan mesin tempa.

Tingkat kebisingan dapat diklasifikasikan berdasarkan intensitas yang diukur dengan satuan decibel (dB) seperti pada Tabel 3

Tabel 3. Tingkat dan Sumber Bunyi pada Skala Kebisingan tertentu

Tingkat kebisingan (dB)	Sumber Bunyi	Skala Intensitas
0 – 20	Gemerisik daun	Sangat tenang
20 – 40	Perpustakaan, percakapan sangat pelan	Tenang
40 – 60	Radio pelan, percakapan normal, perkantoran, perumahan	Sedang
60 – 80	Perusahaan, radio keras, jalan	Keras
80 – 100	Peluit polisi, pabrik tekstil, pekerjaan mekanis	Sangat keras
100 – 120	Ruang ketel, mesin turbin uap, mesin diesel besar, kereta bawah tanah	Sangat amat keras
>120	Ledakan bom, mesin jet, mesin roket	Menulikan

Sumber : Suharsono, 2005

Baku Mutu Kebisingan Baku mutu kebisingan adalah batas maksimal tingkat Baku mutu kebisingan yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan dari usaha atau kegiatan sehingga tidak menimbulkan gangguan emperatu manusia dan

kenyamanan lingkungan (Kep.Men LH No.48 Tahun 1996). Tingkat kebisingan adalah ukuran energi bunyi yang dinyatakan dalam satuan Decible disingkat dB. Decible adalah ukuran energi bunyi atau kuantitas yang dipergunakan sebagai unit-unit tingkat tekanan suara berbobot A. Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor KEP.48/MENLH/11/1996, tanggal 25 Nopember 1996 tentang baku tingkat kebisingan Peruntukan Kawasan atau Lingkungan Kegiatan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Baku Mutu Tingkat Kebisingan Sesuai dengan Peruntukan Lahan

Peruntukan kawasan/ Lingkungan Kegiatan		Tingkat kebisingan (dBA)
1.	Peruntukan kawasan	
	a. Perumahan dan permukiman	55
	b. Perdagangan dan jasa	70
	c. Perkantoran dan perdagangan	65
	d. Ruang terbuka Hijau	50
	e. Industri	70
	f. Pemerintahan dan Fasilitas Umum	60
	g. Rekreasi	70
	h. Khusus:	
	- Pelabuhan laut	70
	- Cagar budaya	60
2.	Lingkungan Kegiatan	
	a. Rumah sakit dan sejenisnya	55
	b. Sekolah dan sejenisnya	55
	c. Tempat ibadah dan sejenisnya	55

Sumber: KEP.48/MENLH/11/1996

Kebisingan yang cukup tinggi, diatas 70 dB dapat menyebabkan kegelisahan, kurang enak badan, kejenuhan mendengar, sakit lambung dan masalah peredaran darah. Kebisingan diatas 85 db dapat menyebabkan kemunduran serius pada kondisi kesehatan seseorang, bila hal ini berkepanjangan dapat merusak pendengaran yang bersifat sementara maupun permanen. Tingkat kebisingan yang cukup tinggi untuk menyebabkan ketulian sementara atau permanen terjadi di industri. berbagai kriteria telah ditetapkan dan menyatakan tingkat kebisingan maksimum tidak boleh dilampaui. Bila tingkat kebisingan melampaui tingkat kebisingan yang membahayakan maka harus diambil suatu tindakan pencegahan untuk mereduksinya. (Utomo,2017)

Salah satu metode reduksi bising seperti yang telah disebutkan di atas adalah

dengan menggunakan bahan penyerap suara/absorber. Penggunaan material absorber menjadi solusi paling baik dalam penerapan metode pengendalian bising. Selama ini panel penyerap suara yang dikembangkan menggunakan serat absorber sintetis yang diimpor sehingga harganya menjadi mahal. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk mengembangkan material absorber yang mempunyai kualitas baik dengan bahan baku yang terbuat dari serat alami dan tersedia melimpah di sekeliling kita. Karakteristik akustik dan mekanis suatu material komposit dapat diketahui dengan melakukan suatu pengujian. Pengujian akustik suatu material merupakan suatu proses untuk menentukan sifat-sifat akustik, yang berupa koefisien penyerapan, refleksi, impedansi, dan *transmission loss* suara. Untuk menghasilkan produk yang rendah bising maka pengujian karakteristik akustik suatu material menjadi langkah utama dalam menentukan karakteristik akustik suatu bahan. (Ramdhan, 2018)

G. Penelitian terdahulu tentang *fly ash* dan Serbuk kayu dalam pemanfaatannya sebagai material Insulasi

Tabel 5. Penelitian terdahulu tentang Fly Ash dan serbuk kayu

Nama, Tahun, Judu Penelitian	Tujuan penelitian	Hasil Penelitian
<p>Penelitian oleh Muh. Ichwanul Iman (2021) dengan judul Studi Geopolimer <i>Fly Ash</i>–Serbuk kayu sebagai material dinding peredam suhu panas</p>	<p>Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh campuran serbuk kayu dengan limbah fly ash terhadap <i>thermal performance</i> (kemampuan meredam suhu panas) sebagai material dinding.</p>	<p>Hasil dari penelitian ini dimana variasi serbuk kayu yang paling efektif dalam mereduksi suhu panas dapat dilihat berdasarkan perbandingan selisih penurunan suhu untuk benda uji normal pada jam puncak dengan benda uji dengan variasi substitusi variasi serbuk kayu pada jam tersebut. Pada benda uji normal, jam puncak atau suhu paling tinggi terdapat pada pukul 12:50. Dari 4 (empat) variasi benda uji 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) pada jam puncak.</p>
<p>A. Abdel Hakim, Tarek M. dkk, <i>Faculty of Nanotechnology for Postgraduate studies, Cairo University</i>. 2021. Yang berjudul <i>Acoustic, Ultrasonic, Mechanical properties and Biodegradability of Eco-Friendly Expanded Polystyrene Recycled Sawdust/Composite</i>.</p>	<p>Dalam penelitian ini, komposit serbuk gergaji/<i>recycled expand polystyrene</i> (SD/rEPS) diproduksi untuk digunakan sebagai bahan penyerap suara.</p>	<p>Hasil dari penelitian ini dimana penyerapan suara meningkat dengan meningkatnya tingkat pemuatan serbuk kayu. Sampel <i>nonperforated</i> dari 60% serbuk kayu dan 80% serbuk kayu memiliki nilai yang tinggi penyerapan pada 500 dan 315 Hz di mana koefisien penyerapan suara (SAC) adalah sekitar 0,85 dan 0,75, masing-masing. Sampel 80% serbuk kayu menunjukkan penyerapan suara tertinggi pada frekuensi rendah 315 Hz.</p>
<p>Nurmaidah, R.Exaudi Simon Purba Teknik Sipil, Fakultas Teknik,</p>	<p>Tujuan penelitian ini membahas tentang karakteristik kedap</p>	<p>Hasil dari penelitian ini menunjukkan pada campuran 30% serbuk gergaji kayu yaitu</p>

Nama, Tahun, Judu Penelitian	Tujuan penelitian	Hasil Penelitian
Universitas Medan Area yang berjudul pemanfaatan Limbah serbuk gergaji kayu sebagai substitusi campuran bata ringan kedap suara	suara dengan pemanfaatan limbah serbuk gergaji kayu, semen PC, dan pasir sebagai bahan pembentuknya.	pada variasi ke-III menunjukkan nilai koefisien serap bunyi terbesar yaitu 0.6832 dengan frekuensi 1000 Hz dengan koefisien absorpsi 0,50% dan dengan kecepatan rambat gelombang bunyi menunjukkan 683,2 m/det. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa semakin besarnya persentase campuran serbuk gergaji kayu maka kemampuan untuk meredam suara semakin besar
Penelitian oleh G.H.M.J. Subashi De Silva. <i>Departement of Civil and Environmental Engineering Faculty of Engineering, University of Ruhuna, Sri Lanka, International Construction Consortium, Colombo, Sri Lanka. 2018</i>	<i>Effect of Rice Husk Ash Waste on Structural, Thermal and Acoustic Properties of Burnt Clay Bricks</i>	Tanah liat dicampur secara manual dengan enam kadar abu sekam padi yang berbeda: 0%, 2%, 4%, 6%, 8% dan 10%, menurut berat bata. Batu bata dengan ukuran 195 mm x 95 mm x 50 mm disiapkan dan dibakar dalam tungku skala industri. Sifat fisik (batas atterberg, distribusi ukuran partikel), komposisi kimia bahan, sifat struktural (kekuatan tekan), kinerja termal batu bata dievaluasi. Tanah liat yang dicampur dengan limbah abu sekam padi meningkatkan campuran untuk pembuatan batu bata. Bata ringan yang diproduksi dengan limbah abu sekam padi menunjukkan kuat tekan optimum sebesar 3,55 N/mm ² (peningkatan 32,7% dibandingkan dengan bata tanah liat konvensional) dan daya serap air sebesar 19% pada abu sekam 4%, menyiratkan bahwa abu sekam padi memiliki potensi untuk memperbaiki sifat struktural. Pada 4% abu sekam padi, bata menunjukkan

Nama, Tahun, Judu Penelitian	Tujuan penelitian	Hasil Penelitian
		<p>penurunan suhu dalam ruangan sebesar 6 C° dan pengurangan kebisingan 10 dB dibandingkan dengan bata tanah liat konvensional. Limbah abu sekam padi yang ditambahkan bata tanah liat menunjukkan sifat struktural, termal dan akustik yang lebih baik dibandingkan dengan bata tanah liat konvensional, sementara pengelolaan limbah abu sekam padi dengan desentralisasi, yang akan menjadi pencapaian lingkungan dan ekologi yang luar biasa.</p>
<p>Penelitian yang berjudul <i>Mechanicals</i>, oleh Beatriz Marquez, Antonio Tedeu, dkk. 2020, <i>Chemistry Centre, Department of Chemistry, University of Coimbra, Portugal</i></p>	<p><i>Thermal and Acoustics of Geopolymer based Composite materials produced with expanded Rice Husk and Cork byproducts,</i></p>	<p>Dalam karya ini, bahan komposit berbasis polimer inovatif yang dibuat dengan sekam padi dan produk sampingan gabus yang diperluas telah diproduksi dan dikarakterisasi. Pertama, sekam padi dan butiran gabus yang diperluas dipelajari secara terpisah untuk memastikan sifat material, seperti konduktivitas termal, ketahanan uap air, stabilitas termal dan kapasitas panas spesifik. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa kandungan sekam padi yang lebih tinggi dapat berkontribusi untuk meningkatkan kinerja akustik, sedangkan penggabungan butiran gabus yang diperluas dalam formulasi komposit membantu mengurangi konduktivitas termal dan meningkatkan perilaku mekanis. Penerapan komposit</p>

Nama, Tahun, Judu Penelitian	Tujuan penelitian	Hasil Penelitian
		<p>ini dalam sistem konstruktif seperti dinding dan lantai dinilai. Untuk tujuan ini, formulasi komposit yang paling cocok dipilih setelah analisis multi-kriteria dilakukan. Kinerja termal statis dan dinamis yang diberikan oleh solusi bangunan yang mencakup bahan komposit yang dipilih kemudian dievaluasi. Hasilnya menunjukkan bahwa solusi konstruksi berdasarkan bahan komposit ini dapat digunakan pada bangunan, sehingga berkontribusi untuk mengurangi konsumsi energi selama masa pakai bangunan.</p>