



BUKU REFERENSI

# MATERIAL ARSITEKTUR HIJAU

BERBAHAN DASAR LIMBAH  
dan aplikasinya

PROF. DR. IR. ERNI SETYOWATI, MT  
ATH THAARIQ RIFQI OKTAFRI

**BUKU REFERENSI**

**MATERIAL ARSITEKTUR HIJAU  
BERBAHAN DASAR LIMBAH DAN APLIKASINYA**

**DEPARTEMEN ARSITEKTUR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**HALAMAN COVER**

*MATERIAL ARSITEKTUR HIJAU*  
**BERBAHAN DASAR LIMBAH DAN APLIKASINYA**

Prof. DR. IR. ERNI SETYOWATI, MT  
Ath Thaariq Rifqi Oktafri

**ISBN: 978-623-88383-8-7**  
**978-623-88383-9-4 (PDF)**  
Desember, 2022

## PENGANTAR DARI DEKAN

Puji syukur kami panjatkan ke Hadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayahnya dalam menuntun kami, akademisi yang selalu mengobarkan api semangat menularkan ilmu bermanfaat bagi lingkungan akademik tercinta, peneliti, dosen, mahasiswa, dan siapapun yang tiada henti-hentinya menuntut ilmu.

Sebagaimana telah dituangkan ke dalam Undang-undang No 12 Tahun 2012 tentang Pendidikan Tinggi bahwa Pendidikan Tinggi sebagai bagian dari sistem Pendidikan Nasional, Dosen memiliki peranan yang strategis dalam mencerdaskan kehidupan bangsa. Sementara dalam Tri Dharma Perguruan Tinggi, Perguruan Tinggi dituntut untuk melaksanakan pendidikan, penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat. Salah satu manifestasi bidang penelitian tersebut adalah penulisan buku teks maupun buku ajar yang menjadi salah satu bagian dari sistem infrastruktur pembelajaran dalam penyelenggaraan pendidikan di Perguruan Tinggi.

Buku ini merupakan hasil penelitian yang didanai oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi, Republik Indonesia. Dengan terbitnya buku teks berjudul: “**Material Arsitektur Hijau Berbahan Dasar Limbah dan Aplikasinya**” ini, maka diharapkan perkembangan ilmu material berkelanjutan akan semakin ditingkatkan.

Sekali lagi, kami selalu bersyukur jika kualitas pendidikan didorong menjadi semakin baik, semakin berkembang. Akhir kata, semoga buku ini bermanfaat serta memberikan api semangat bagi dosen dan peneliti di Perguruan Tinggi manapun untuk terus berkarya dan menulis, meneliti dan mengembangkan keilmuan.

Desember, 2022  
Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Diponegoro

Prof. Ir. M. Agung Wibowo, MSc, PhD

## KATA PENGANTAR

Syukur Kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang melimpahkan karunia-Nya atas terselesaikannya buku bertema Material Arsitektur Hijau ini. Buku ini merupakan hasil penelitian penulis yang didanai oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi, Republik Indonesia. Hibah penelitian yang dimaksud adalah Hibah Penelitian Berbasis Kompetensi dalam kurun waktu tiga tahun anggaran 2016-2018 bersamaan dengan Skim Riset Publikasi Internasional (RPI) yang didanai oleh Dana PNBPU Universitas Diponegoro Tahun Anggaran 2015-2017.

Sebagaimana kita ketahui bahwa Indonesia memiliki sumber daya yang berlimpah. Selama ini instansi pemerintah terkait belum begitu detail menyentuh industri sampingan yang dihasilkan dari limbah sumber daya alam tersebut. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah sumber daya alam Indonesia menjadi obyek yang menarik untuk ditelaah.

Sehubungan dengan pemanfaatan limbah, maka buku ini memuat beberapa material berbahan limbah yang dihasilkan dari kegiatan Riset dalam kurun waktu 5 (lima) tahun terakhir. Beberapa di antaranya sudah sampai pada taraf maupun paten terdaftar dan *granted patent*.

Harapan penulis agar buku ini dapat bermanfaat bagi siapa saja yang berkepentingan. Penulis juga menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi dan Universitas Diponegoro yang telah memberikan Hibah Penelitian yang sangat bermanfaat bagi perkembangan ilmu bahan dan material, terutama dalam kaitannya dengan Disain Bangunan serta aplikasinya. Akhir kata, penulis berharap semoga buku ini bermanfaat bagi insan akademisi dan masyarakat luas.

Semarang, Desember 2022

Penulis

# DAFTAR ISI

HALAMAN COVER.....	i
PENGANTAR DARI DEKAN .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	iv
DAFTAR TABEL .....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
GLOSSARY .....	x
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Perumusan Permasalahan.....	2
1.2 Peta Jalan Penelitian .....	2
BAB 2 POLYURETHANE CONCRETE .....	6
2.1 Mix – Method Pada Material Beton .....	7
2.2 Hasil Penelitian Sementara .....	7
2.2.1 Densitas .....	7
2.2.2 Uji Kuat Tekan .....	8
2.2.3 Densitas / Kerapatan Material .....	11
2.2.4 Test Koefisien Absorpsi (A) .....	12
2.2.5 Uji Sound Transmission Loss (STL).....	12
2.2.6 Hasil Pembuatan Material Mortar Berbahan Cangkang Kerang .....	14
2.2.7 Uji Akustik Material Polymeric Concrete (Polyurethane Concrete).....	18
2.2.8 Hasil Uji Akustik .....	19
2.2.8.1 Uji Koefisien Absorpsi .....	19
2.2.8.2 Uji Sound Transmission Loss (STL).....	19
2.2.8.3 Uji Akustik Material Beton Polimer ( <i>Polyurethane Concrete</i> ).....	21
2.3 Metode Uji Akustik .....	22
2.3.1 Metode Uji Sound Transmission Loss (STL).....	23
2.4 Hasil Uji Akustik .....	24
2.4.1 Koefisien Absorpsi .....	24
2.4.2 Sound Transmission Loss (STL) .....	25
2.5 Implementasi Material <i>Polimer Concrete</i> Pada Bangunan .....	26
Daftar Pustaka .....	27
BAB 3. KOMPOSIT CANGKANG KERANG.....	30
Overview .....	30
3.1 Pendahuluan .....	31
3.2 Review Teori .....	33
3.3 Bahan Dan Metode .....	34
3.4 Komposit Poliester.....	34

3.5 Tipe Campuran .....	35
3.5.1 Density Of The Samples Of Sfrp .....	36
3.5.2 Morfologi Permukaan .....	37
3.6 Kinerja Akustik: Koefisien Absorpsi Suara Dan <i>Sound Transmission Loss</i> .....	37
3.6.1 Koefisien Absorpsi Suara.....	37
3.6.2 <i>Sound Transmission Loss (STL)</i> .....	39
3.7 Hasil Dan Pembahasan .....	41
3.7.1 Koefisien Absorpsi Suara.....	41
3.7.2 <i>Sound Transmission Loss (STL)</i> .....	41
3.7.3 Morfologi Permukaan .....	41
3.8 Kesimpulan.....	41
Daftar Pustaka .....	55
BAB 4. MATERIAL KOMPOSIT DARI BAHAN RAMI DAN SERAT NANAS .....	52
4.1 Pendahuluan .....	52
4.2 Hemp, Kenaf, Sabut Kelapa Dan Bahan Lain Sebagai Serat Biomassa Pada Material Akustik .....	54
4.3 Peran Perawatan Dalam Meningkatkan Kinerja Redaman Dari Bahan Serat Alami.....	58
4.4 Bahan Dan Metode .....	59
4.5 Morfologi Permukaan .....	61
4.6 <i>Sound Absorption Coefficient</i> .....	61
4.7 <i>Sound Transmission Loss (STL)</i> .....	63
4.8 Hasil Dan Pembahasan .....	65
4.9 Kesimpulan.....	75
Daftar Pustaka .....	75
BAB 5. KONSEP MODULAR PREFAB HOUSING .....	78
5.1 Pendahuluan .....	78
5.2 Review Teori .....	79
5.2.1 Beton Cangkang Kerang Dan Beton Agregat Polimer.....	79
5.2.2 Beton Berpolimer.....	80
5.3 Metode Penelitian .....	80
5.3.1 Performa Secara Struktural Pada Beton .....	81
5.3.2 Performa Akustik Beton.....	81
5.4 Hasil Dan Pembahasan .....	83
Ringkasan .....	86
Daftar Pustaka .....	87
BAB 6. KESIMPULAN.....	88
BIODATA .....	89

## DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Kepadatan Sample Mortar .....	7
Tabel II.2	Hasil Uji Kuat Tekan .....	8
Tabel II.3	Uji Densitas / Kerapatan material .....	10
Tabel II.4	Uji Kuat Tekan dan modulus of Elasticity Mortar Polymer + cangkang kerang .....	14
Tabel II.5	Koefisien Absorpsi dalam oktaf band frekuensi .....	21
Tabel II.6	Koefisien absorpsi pada oktaf band frekuensi .....	23
Tabel III.1	Dimensi geometris dan perlakuan sampel uji .....	31
Tabel III.2	Kerapatan spesimen uji dari Shell Fiber Reinforced Polyester.....	32
Tabel III.3	Analisis Oksida Anadara granosa Linn .....	45
Tabel III.4	Analisis Oksida dari Perna viridis Linn.....	46
Tabel III.5	Analisis Oksida dari Placuna placenta Linn .....	46
Tabel IV.1	Tiga jenis sampel yang diamati .....	60
Tabel IV.2	Resin Epoksi diperkuat spesimen serat biomassa .....	61
Tabel IV.3	Oksida serat sabut kelapa .....	73
Tabel IV.4	Oksida Rami .....	73
Tabel IV.5	Oksida Kenaf .....	73
Tabel V.1	Perbandingan Kuat tekan Beton Polimer dan Beton <i>Foamed</i> .....	83

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta Jalan Kegiatan Penelitian <i>Green Concrete</i> .....	4
Gambar 2.1	Grafik Modulus Elestisitas .....	8
Gambar 2.2	Proses Pembuatan Sampel Material .....	10
Gambar 2.3	Grafik Koefisien Absorpsi mortar cangkang kerang tebal 0,8 cm.....	11
Gambar 2.4	Grafik Koefisien Absorpsi mortar cangkang kerang tebal 1.8 cm.....	11
Gambar 2.5	Grafik STL mortar ringan cangkang kerang tebal 0.8 cm .....	12
Gambar 2.6	STL mortar cangkang kerang tebal 1.8 cm.....	12
Gambar 2.7	Proses Pembuatan Material Mortar Cangkang kerang .....	13
Gambar 2.8	Proses dan Pengujian Kuat Tekan di Lab. Bahan dan Konstruksi Dept. Sipil FT UNDIP.....	15
Gambar 2.9	Sampel Penelitian untuk Uji Akustik .....	16
Gambar 2.10	Hasil Uji Koefisien Absorpsi.....	17
Gambar 2.11	Uji <i>Sound Transmission Loss</i> .....	17
Gambar 2.12	Tabung Impedansi dengan mikrofon.....	20
Gambar 2.13	Grafik Perbandingan Koefisien Absorpsi material.....	21
Gambar 2.14	Transmission Loss (STL) dari PCG, PCO dan PCP .....	23
Gambar 2.15	Polyurethane concrete dan inovasi warna pada industri di Jepang .....	24
Gambar 3.1	(a) Sampel dengan resonator 4 lubang, (b) Sampel dengan resonator 8 lubang.....	33
Gambar 3.2	(a) Konfigurasi uji tabung impedansi mengacu ASTM E 1050-98 (b) Sampel uji Shell Fiber Reinforced Polyester (SFRP) .....	34
Gambar 3.3	Bagian Tabung Impedansi untuk Uji Kehilangan Transmisi Suara dengan empat mikrofon.....	37
Gambar 3.4	Koefisien penyerapan komposit kerang tanpa perlakuan .....	37
Gambar 3.5	Koefisien penyerapan cangkang komposit dengan 4 resonator .....	37
Gambar 3.6	Koefisien penyerapan cangkang komposit dengan 8 resonator .....	38
Gambar 3.7	Koefisien penyerapan cangkang komposit dengan FR (Fibrous Layers).....	38
Gambar 3.8	(a) Koefisien penyerapan cangkang komposit : rongga 10 mm, (b) lapisan berserat dan rongga 10 mm, (c) lapisan berserat dan rongga 20 mm.....	39
Gambar 3.9	STL SFRP tanpa perlakuan .....	41
Gambar 3.10	STL SFRP dengan 8 lubang resonator .....	41
Gambar 3.11	STL SFRP dengan kombinasi resonator dan lapisan serat .....	41
Gambar 3.12	(a) 3000x perbesaran SEM Anadara granosa Linn flour (b) EDX Anadara granosa Linn.....	42
Gambar 3.13	(a) 3000x perbesaran SEM Perna viridis Linn flour (b) EDX Perna viridis Linn.....	42

Gambar 3.14	(a) 3000x perbesaran SEM Placuna placenta Linn flour (b) EDX Placuna placenta Linn.....	43
Gambar 3.15	SFRP dengan pola wafel untuk material akustik .....	47
Gambar 3.16	Plain SFRP for material dinding akustik.....	47
Gambar 3.17	Double skin construction design using Shell-FRP material .....	47
Gambar 4.1	Biomassa .....	60
Gambar 4.2	Pengukuran Koefisien Serapan menggunakan tabung impedansi B&K mengacu pada ASTM E 1050-98 .....	62
Gambar 4.3	Tabung impedansi memiliki 4 mikrofon pada uji Sound Transmission Loss test .....	64
Gambar 4.4	Serat biomassa dengan rongga: (a) tunggal; (b) jamak .....	66
Gambar 4.5	Refleksi dan blok suara pada rongga.....	66
Gambar 4.6	Perbandingan uji STL BiomassaFRP dengan rongga berekor tunggal-multipel .....	67
Gambar 4.7	Perbandingan absorpsi serat sabut kelapa dengan pajang gelombang resonator dan Hemp-Kenaf dengan rongga berekor .....	68
Gambar 4.8	Perbandingan Penyerapan poliester yang diperkuat serat sekam kelapa antara penelitian sebelumnya dan penelitian ini .....	69
Gambar 4.9	Perbandingan Penyerapan serat sabut kelapa dalam penelitian sebelumnya dan Bahan biomassa dengan rongga berekor.....	70
Gambar 4.10	(a Hasil SEM serat hemp dengan perbesaran: (a). 1000x; (b). 3000x, and (c) 5000x.....	71
Gambar 4.11	Hasil SEM serat kenaf dengan perbesaran: (a). 1000x; (b). 3000x, and (c) 5000x.....	71
Gambar 4.12	Perbandingan uji SEM perbesaran 1000X: (a). Sabut kelapa; (b). Hemp; (c) Kenaf.....	72
Gambar 4.13	Aplikasi serat hemp dan kenaf pada interior bangunan.....	74
Gambar 4.14	Aplikasi serat hemp dan kenaf sebagai diffuser-absorber pada dinding convention.....	74
Gambar 5.1	Modulus Elastisitas Beton <i>Foamed</i> .....	83
Gambar 5.2	Koefisien Absorpsi beton foamed dengan cangkang kerang sebagai agregat halus.....	84
Gambar 5.3	<i>Sound Transmission Loss</i> beton <i>foamed</i> dengan cangkang kerang sebagai agregat halus.....	84
Gambar 5.4	(a) Beton Foamed dengan cangkang kerang sebagai agregat halus untuk panel dinding (b) Konsep panel lapis ganda pada dinding .....	85
Gambar 5.5	(a) Rencana panel dinding lapis ganda dengan komposit serat alam (FRP) sebagai lapis kedua, (b) konsep modern rumah terang dengan panel dinding gandan yang terang).....	85

## GLOSSARY

dB ( A )	:	<i>Deci Bell ( dengan skala pengukuran / pembobotan A)</i>
$L_{eq}$	:	<i>Level of Sound equivalent ( dBA )</i>
log	:	<i>logarithmic</i>
$L_{sum}$	:	<i>Sum of Sound Level ( dBA )</i>
$L_{total}$	:	<i>Total of Sound level ( dBA )</i>
$r'$	:	Jarak antara sumber bunyi dan bangunan setelah perputaran orientasi
$r_1$	:	Jarak antara sumber bunyi $L_1$ dan penerima ( meter )
$R^2$	:	Nilai Asosiasi Korelasi ( <i>R square</i> )
$r_2$	:	Jarak antara sumber bunyi $L_2$ dan penerima ( meter )
STL	:	<i>Sound Transmission Loss</i>
$T_i$	:	Durasi waktu level $L_i$
A	:	Amplitudo
$\frac{\pi}{\omega}$	:	konstanta
$\alpha$	:	Sudut orientasi (°)
$\frac{\pi}{\omega} \alpha_c$	:	fase
Sistem Hidrolis	:	Sistem yang bekerja berdasarkan teori Pascal. Sistem Hidrolis mencakup sili silinder, piston, pipa hidrolis dan perangkat lainnya. Suatu sistem pemindahan tenaga dengan mempergunakan zat cair atau fluida sebagai media perantara untuk mengubah tenaga hidrolik menjadi tenaga mekanik
SFRP	:	Seashell Fiber Reinforced Polymer
ASTM	:	American Standard Testing and Material
FRP	:	Fiber Reinforced Polymer
$\alpha$	:	Sound absorption coefficient
STL	:	Sound Transmission Loss
MPP	:	Micro Perforated Panel
QRD	:	Quadratic Residue Diffuser the type of acoustical components in buildings
B & K	:	Bruer & Kjaer, manufacture name of the Impedance Tube to measure and observe the acoustical behavior of material
STCT	:	Side-Tailed Cavity Treatment of samples
FTCT	:	Front-Tailed Cavity Treatment of samples
HFRC	:	Hybrid Fibrous Reinforce Composite
H	:	Jumlah resonator seperempat panjang gelombang (4,8)
FR	:	Foam Front Layer
	:	

Cav	:	Cavity (10 mm)
EDX	:	Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) oxide
ZAF	:	Matrix effect in EDS oxide, berkaitan dengan elemen yang ditunjukkan oleh sampel dan standar meliputi Production (Z), Absorption (A) dan peningkatan karakteristik radiasi (F) yang harus dipertimbangkan.
DPF	:	Date Palm Fiber
CCF	:	Coconut Coir Fiber
AAC	:	Acoustic Absorption Coefficient
PALF	:	pineapple-leaf fiber
BC-MPP	:	biodegradable composite microperforated panel composed
PLA	:	polylactic acid
ISO	:	International Organization of Standardization
ATA	:	Acoustic Transmission Analysis
A,B	:	Coco-husk ( <i>Cocos nucifera</i> )
C,D	:	Hemp ( <i>Bohmeria nivea</i> )
E,F	:	Kenaf ( <i>Hibiscus cannabinus</i> )

# BAB 1

## PENDAHULUAN

Penyumbang emisi gas CO<sub>2</sub> dengan skala cukup besar berasal dari dunia konstruksi. Penanggulangan dengan meminimalisir kerusakan lingkungan akibat emisi CO<sub>2</sub> dilakukan dengan penganjutan konsep *Green Building* atau *green architecture*. Tidak hanya melindungi sumberdaya alam, tujuan gerakan hijau bertujuan mengurangi emisi gas CO<sub>2</sub> dengan manfaat jangka panjang dapat menghemat energi. Penggunaan *green material* menjadi salah satu upaya gerakan hijau, yang bertujuan mengurangi kuantitas penggunaan semen dan menggantikannya dengan material lain. Penelitian sebelumnya mengenai semen pada *concrete brick* disubstitusi dengan abu ampas tebu, menunjukkan bahwa inovasi *nano-technology* pada material yang digunakan meningkatkan kuat tekan hingga 24,5% [1,2]. Selain itu, penggunaan material batafoam terbukti memiliki sifat termal dan penyerap kebisingan yang baik serta menjadi bahan bangunan dengan sifat memperingan beban bangunan [3]. Material mortar *polymer* menunjukkan performa akustik dengan nilai *Sound Transmission Loss* sebesar 52 dB pada frekuensi 1500 Hz, sehingga material ini layak digunakan sebagai material dinding peredam bunyi [1,4]. Visualisasi bata dengan *filler* abu ampas tebu memiliki warna cenderung gelap yang kurang memiliki daya tarik. Sehingga dilakukan penelitian inovasi melalui penggantian *filler* abu ampas tebu dengan cangkang kerang serta matriks *poly-urethane*.

Penelitian inovasi cangkang kerang dan *poly-urethane* bertujuan menghasilkan material *pre-pack concrete* dengan agregat limbah cangkang kerang dan polimer. Material *pre-pack concrete* berbeda dengan *concrete* pada umumnya pada dimensi agregatnya meskipun dimensi material relatif sama. Hal ini menjadikan *pre-pack concrete* memiliki kuat tekan lebih rendah dibandingkan material *concrete* untuk tujuan struktur. Cangkang kerang ditumbuk kasar dan

lembut. Hasil tumbukan kasar cangkang kerang mensubstitusi agregat kasar sedangkan tumbukan halus cangkang kerang mensubstitusi sebagian semen. Penggunaan tumbukan cangkang kerang dalam substitusi dengan sebagian semen bertujuan dalam mengurangi emisi CO<sub>2</sub>. Terlebih lagi penggunaan serbuk halus cangkang kerang, menghasilkan tampilan mortar yang lebih indah dibandingkan penggunaan material *filler* abu ampas tebu. Kebaharuan dalam penelitian dengan penggunaan cangkang kerang diimplementasikan pada disain dinding *double layer* dengan model rumah *pre-fab modular* yang akan disimulasikan pada tahun terakhir penelitian. Merujuk pada penelitian mengenai gangguan kebisingan perumahan kumuh di dekat bandara [5,6,7] diharapkan penemuan material baru ini dapat menjadi wacana dalam mengantisipasi kebisingan lingkungan, terutama pada perumahan masyarakat golongan menengah ke bawah.

## 1.1 Perumusan Permasalahan

Penelitian terkait dengan kebisingan lingkungan perumahan dilakukan dengan mengoptimasi sudut ( $\alpha$ ) perumahan terhadap sumber bunyi pada kawasan yang bising dengan area studi kasus kawasan bandara, terhadap tingkat bunyi yang diterima (L) pada kawasan uji [5,6]. Sudut orientasi ( $\alpha$ ) merupakan sudut yang terbentuk antara arah hadap rumah dengan garis maya posisi bangunan tegak lurus pada sumber bunyi (landas pacu pesawat). Hasil penelitian tentang disain master plan pada *low cost housing* adalah model korelasi antara sudut orientasi ( $\alpha$ ) dan tingkat bunyi (L) dengan persamaan sebagai berikutsebagai berikut:

$$L = L_0 + A \sin[\pi(\alpha - \alpha_c)/\omega] \quad (1)$$

- A : Amplitudo  
 $\pi/\omega$  : Konstanta  
 $\alpha$  : sudut orientasi (°)

$\frac{\pi}{\omega} \alpha_c$  : fase

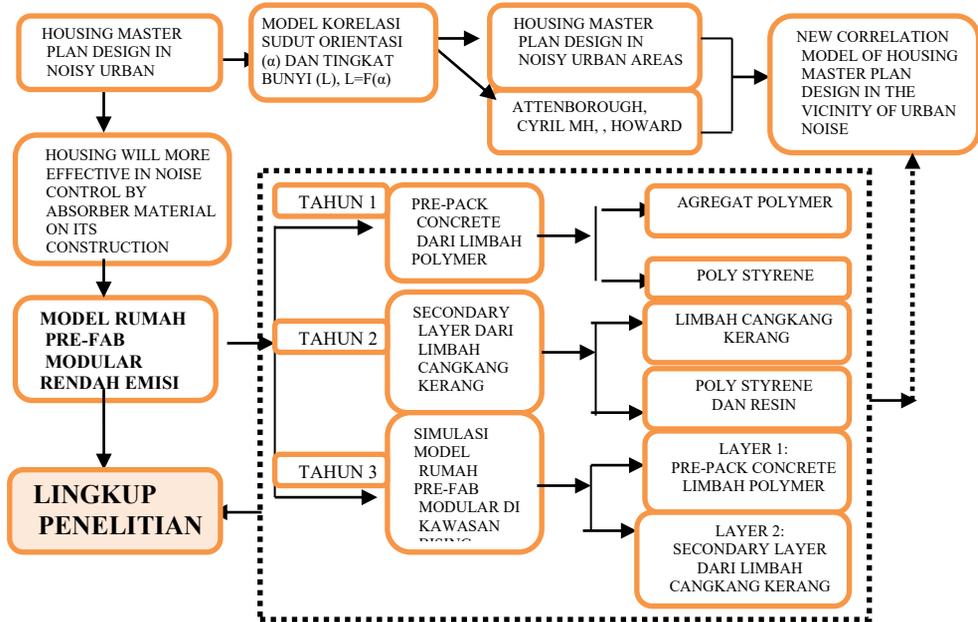
Penelitian dilakukan menggunakan model bangunan replika perumahan studi kasus, dengan nilai STL sama dengan bangunan sesungguhnya, yang dapat diputar pada porosnya, sehingga dapat diamati perbedaan tingkat kebisingan yang diterima pada tiap sudut orientasi ( $\alpha$ ). Namun demikian walaupun telah ditemukan rumus korelasi (persamaan (1)), upaya antisipasi kebisingan pada pemukiman rawan bising akan lebih efektif jika perumahan menggunakan material yang mampu meredam bunyi. Oleh karena itu penelitian selanjutnya mengarah pada pembuatan inovasi material baru berkonsep *green* karena terbuat dari limbah, yang juga mampu mereduksi bunyi lebih efektif dibandingkan dengan material yang digunakan pada perumahan pada umumnya.

## 1.2 Peta Jalan Penelitian

Penelitian ini merupakan bagian dari serangkaian *road map* penelitian di bidang *green material* terkait dengan RIP (Rencana Induk Penelitian) UNDIP yang mengacu pada prioritas bidang “Energi baru dan terbarukan” dengan spesifikasi pengurangan pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh emisi gas CO<sub>2</sub> yang berlebihan pada proses produksi semen. Upaya yang dilakukan pada penelitian ini dengan mengobservasi pemanfaatan limbah *polymer* dan cangkang kerang sebagai material *pre-pack concrete* untuk dinding *double layer* pada model rumah *pre-fab modular*. *Road map* kegiatan penelitian dapat dilihat pada gambar 1.1. Penelitian *Housing Master Plan Design* diawali dengan *grand theory* akustik tentang hubungan antara Tingkat Intensitas (L) dan Jarak (R) {8,9}

Pada *grand theory* tersebut hanya ada variabel Tingkat intensitas bunyi (L) dan Jarak (R) ke sumber bunyi, sementara tidak ada variabel sudut orientasi ( $\alpha$ ). Pada kenyataannya, bahwa sudut orientasi perumahan terhadap sumber bunyi berpengaruh secara signifikan terhadap besarnya tingkat bunyi. Oleh karena itu,

penelitian ini menemukan model antara Tingkat bunyi ( $L$ ) dengan sudut orientasi ( $\alpha$ ) sebagaimana tercantum dalam persamaan (1).



**Gambar 1.1.** Peta Jalan Kegiatan Penelitian *Green Concrete*

Penelitian terkait dengan *green concrete* ini memiliki rentang waktu selama 3 tahun dengan fokus riset yang berbeda pada tiap tahunnya. Tahun pertama, riset difokuskan pada pembuatan *Pre-pack Concrete* berbahan limbah *polymer* sebagai dinding modular pada model rumah prefab (lihat gambar 1.1). Tahun kedua, riset difokuskan pada inovasi *secondary layer wall* berbahan limbah cangkang kerang yang ramah lingkungan. Tahun ketiga penelitian akan difokuskan pada Simulasi dan Aplikasi Pembuatan *Model Rumah Prefab Modular* yang dirakit pada Kawasan Rawan Bising Perkotaan sebagai contoh kasus adalah kawasan bandara. Model Rumah *Prefab* yang ada dibuat sedemikian rupa sehingga dapat diputar melalui porosnya sehingga dapat diobservasi perbedaan Tingkat Intensitas Bunyi ( $L$ ) yang didapat pada setiap sudut orientasi ( $\alpha$ ) yang diinginkan. Metode ini

mengarah pada diketemukan model korelasi baru untuk penyempurnaan model korelasi sebelumnya pada persamaan (1).

Kebaharuan penelitian ini adalah pada inovasi Dinding *double layer: Pre-pack Concrete* berbahan limbah polymer dan *secondary layer wall* berbahan limbah cangkang kerang yang bernilai estetis serta memiliki performa akustik. Inovasi Model Rumah Prefab Modular ini, merupakan desain ramah lingkungan dengan menerapkan pengurangan kuantitas semen yang digunakan serta memberi efek dalam upaya meminimalisir emisi gas CO<sub>2</sub>.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. E. Setyowati and Purwanto (2015), The Polymer Brick as Nano-Technology based Material to Support Green Building Construction, Proceeding of 3th Architecture and Civil Engineering Conference, Ford Channing, Singapore
- [2]. E. Setyowati (2013), Sustainable Master Plan Design in Residential Area Near Airport, Proceeding of 3th Architecture and Civil Engineering Conference (ACE 2013), Ford Channing, Singapore (2013)
- [3]. E. Setyowati dan A.W. Nova (2014), The New Building Material and Technical Specification of Foam-Brick, International Conference on Architecture and Civil Engineering 2014, published on Proceeding ISSN Print: 2301-394X, E-Periodical ISSN: 2301-3958.
- [4]. E. Setyowati, G. Hardiman, dan Purwanto (2015), Green Concept Mapping Researches of Natural Waste Based Materials, Proceeding of QIR (Quality in Research) 2015, Sanur Paradise, Lombok, August 2015.
- [5]. E. Setyowati and A.F. Sadwikasari (2013), Building Material Composition Influence to Sound Transmission Loss (STL) Reduction, Advances in Materials, Processing and Manufacturing, Advanced Materials Research Vol. 789 (ISSN: 1022-6680), Trans Tech Publications Ltd, Switzerland.
- [6]. E. Setyowati and H. Trilistyo (2013), Climate Assessment of Orientation Design in the Housing Master Plan Close to The Airport, GSTF Journal of Engineering Technology, Vol.2 (1), ISSN: 2251-3701.
- [7]. E. Setyowati, G. Hardiman and S.T. Atmadja (2014), Green Materials Comparison of Sawdust and Coconut Fiber Acoustical Waffle Panel, Proceeding of the International Conference on Science, Engineering and Built Environments (ICSEBS 2014) at Sanur Paradise Hotel, Bali, Indonesia, 24<sup>th</sup> – 27<sup>th</sup> November 2014.
- [8]. E. Setyowati. (2013), Eco-Building Material of Styrofoam Waste and Sugar Industry Fly-ash Based on Nano-Technology, Proceeding of 4th International Conference on Sustainable Future for Human Security, Sustain 2013
- [9]. K. Attenborough, K.M. Li, K. Horshenkov, *Predicting Outdoor Sound*, Taylor & Francis, London, New York, ISBN: 0-203-08873-5 (2007).

## **BAB 2**

### ***POLYURETHANE CONCRETE***

Dua fokus observasi menjadi tujuan utama penelitian. Fokus pertama mengenai upaya meminimalisir kadar limbah polimer yaitu limbah plastik khususnya limbah plastik kemasan makanan. Limbah plastik yang digunakan diambil sampel dari plastik pembungkus mie instan. Limbah plastik mie instan ini digunakan menjadi agregat polimer, yang nantinya menjadi bahan campuran material beton. Fokus yang kedua mengenai penggunaan limbah cangkang kerang dan polimer buatan menjadi material beton ringan pada komponen rumah prefab modular. Pada penelitian ini, fokus yang kedua masih pada taraf *prototype* berupa bata campuran cangkang kerang, semen dan polymer buatan berupa *poly urethane*.

#### **2.1 Mix – Method Pada Material Beton**

Metode DOE menjadi referensi pada campuran beton ringan desain dalam penelitian ini. Penelitian ini menjadikan sampah plastik yang digunakan menggantikan agregat kasar sedangkan pasir muntitan digunakan sebagai agregat halus. Metode ini didasarkan pada konstituen material agregat beton, yaitu, kasar, halus, semen dan agregat sebagai pengikat. Polimer mortar terdiri dari agregat halus, agregat mentah serta air. Agregat halus cangkang kerang berfungsi meminimalisir secara kuantitas penggunaan semen. Sementara itu, agregat kasar akan digantikan dengan agregat. Kedua bahan dicampurkan pada metode desain campuran.

Material pada penelitian diuji dengan membandingkan kekuatan tekan beton serta kepadatan setiap jenis susunan masing-masing material. Pengujian dilakukan setelah 28 hari dari hari material menjadi bentuk hasil sesuai didesain. Pengujian kekuatan tekan diawali dengan persiapan sampel yaitu membuat bentuk kubus dengan dimensi 10 x 10 x10 cm<sup>3</sup>. Uji kekuatan tekan menggunakan UTM (*Universal*

*Testing Machine*) ex Hung Ta di laboratorium Universitas Diponegoro bahan dan struktur, teknik sipil [1-3].

## 2.2 Hasil Penelitian Sementara

Bata polimer dilakukan beberapa pengujian diantaranya uji kepadatan/ densitas, uji kekuatan tekan, analisa difrasi sinar X (XRD) dan analisa spektroskopi mikroskop elektron (SEM). Penjelasan mengenai pegujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

### 2.2.1 Densitas

Pengujian dilakukan dengan mengetahui berat awal (m), panjang (p), lebar (l) dan ketebalan (t) dari sampel dengan diameter 3 cm. Sampel diukur menggunakan caliper. Volume sampel dihitung dari panjang x lebar x ketebalan (cm<sup>3</sup>). Setelah volume ditentukan, kepadatan dihitung melalui persamaan (1)[1-3]:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

dimana,  $\rho$  adalah kepadatan sampel (gr/cm<sup>3</sup>), m adalah berat awal sampel (gram) dan V adalah volume sampel dalam (cm<sup>3</sup>). Berikut hasil pengujian:

**Tabel II.1.** Kepadatan Sample Mortar

Sample Test	Age (days)	Weight (gram)	Density (g/cm3)	Density average (g/cm3)
Raw Agregat- normal 100% (NM=normal mortar)	23	2450	2.45	2.44
	28	2470	2.47	
	28	2390	2.39	
Polymer aggregate 100% (PM=polymer mortar)	23	1730	1.73	1.73
	28	1770	1.77	
	28	1700	1.70	

Penggantian agregat kasar menggunakan polimer, sampel beton yang dihasilkan menunjukkan berat yang lebih ringan yaitu sebesar 28,89%. Diketahui berat agragat kasan sebesar 2437 gram, sedangkan berat polimer yang digunakan sebesar

1733 gram (tabel II.1). Penurunan densitas sebanding dengan penurunan berat dari jenis material yang berbeda.

### 2.2.2 Uji Kuat Tekan

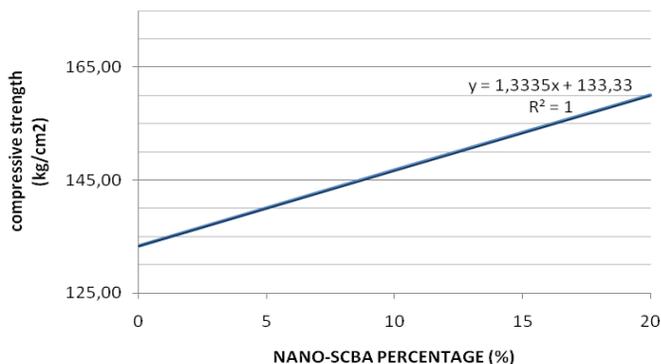
Langkah awal yang dilakukan adalah mengganti 15% semen dengan agregat kasar SCBA, kemudian ditambah dengan polimer dan menjadi beton sampel. Komposisi ini diharapkan membentuk material sampel ringan dengan kekuatan tekan yang optimal. Persamaan kekuatan tekan yaitu:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2)$$

dimana  $\sigma$  adalah kekuatan tekan di  $\text{kg/cm}^2$ , P adalah berat beban (kg) dan A adalah luas permukaan ( $\text{cm}^2$ ). Analisa kuat tekan ditunjukkan tabel II.2 dan gambar 2.1:

**Table II.2.** Hasil Uji Kuat Tekan

Cubic Sample Test (10 x 10 x 10) cm <sup>3</sup>	Age (days)	Weight (gram)	Load (Ton)	Compressive Strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Compressive Strength average (kg/cm <sup>2</sup> )
Raw Aggregat-normal 100% (NM)	23	2450	35.0	350.0	400.00
	28	2470	43.0	430.0	
	28	2390	42.0	420.0	
Polymer aggregate 100% (PM)	23	1730	12.0	120.0	133.33
	28	1770	15.0	150.0	
	28	1700	13.0	130.0	



**Gambar 2.1.** Grafik Modulus Elestisitas

Pengujian *Modulus of Elasticity* (MOE) pada material polimer yang digunakan, dilakukan pada laboratorium bahan dan struktur Universitas Diponegoro, hasil pengujian menunjukkan nilai MOE sebesar 382,15 MPa. Pengujian MOE mengacu pada persamaan korelasi antara berat sampel dan pemanjangan dengan nilai  $R^2=0,9861$ . Persamaan kuadrat dapat dituliskan sebagai berikut:

$$y = -35790x^2 + 119274x \quad (5)$$

dimana, y adalah berat sampel (N) dan x adalah pemanjangan (mm). Metode MOE dilakukan dengan menarik sampel dan dihitung pemanjangan yang berubah, hampir sama dengan kekuatan tekan. Namun terdapat perbedaan pada tidak ada efek yang menguntungkan dengan adanya pergeseran pada pengujian kuat tekan. Gambar 2.1. menunjukkan bahwa persamaan (5) dapat dituliskan sebagai fungsi beban (n) dan pemanjangan (mm). Hasil ini berbeda dengan kesimpulan umum bahwa bahan semen akan meningkatkan kekuatan tekan material sampel dan modulus elastisitas. Meskipun hasil yang didapatkan kurang sesuai, hal lain yang dapat mempengaruhi hasil adalah pengaruh serat yang digunakan.

Pengolahan limbah cangkang kerang menghasilkan material menjadi fokus inovasi pada penelitian ini. Material hasil berupa beton ringan dibuat dengan menggunakan bahan polimer berupa poly uretane serta limbah cangkang kerang yang telah dihaluskan sebagai agregat halusnya. Progress penelitian menghasilkan mortar beton dari bahan tersebut dengan komposisi semen + agregat halus cangkang kerang : poli uretane 1 : poly uretane 2 = 200ml (cangkang halus, proporsi 20%) : 100ml : 20ml. Berikut gambar material dari aktivitas penelitian di laboratorium, penimbangan dan pencampuran bahan hingga menjadi sampel material mortar cangkang kerang untuk beton ringan.



(1) Cetakan mortar cangkang kerang dan semen



(2) Cetakan mortar cangkang kerang dan semen



(3) Cetakan yang telah disiapkan



(4) Bahan semen + cangkang kerang, Polyurethane 1 dan Polyurethane 2

**Gambar 2.2.** Proses Pembuatan Sampel Material

### 2.2.3 Densitas / Kerapatan material

Hasil Uji Berat, Densitas/ Kerapatan adalah sebagai berikut:

**Tabel II.3.** Uji Densitas / Kerapatan material

Sample	Berat (gram)	Ø (cm)	T (gram)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Kerapatan
G	4	2.9	0.8	21.1259	0.1893
H	6	2.9	1.8	47.5333	0.1262

Keterangan

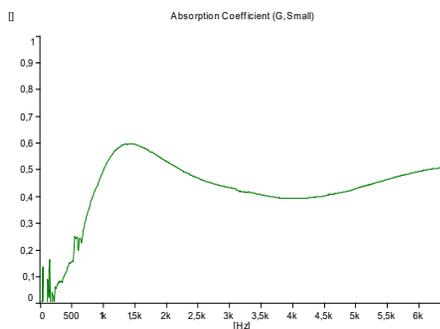
G Mortar Cangkang Kerang + Poly Urethane t= 0.8 cm

H Mortar Cangkang Kerang + Poly Urethane t= 1.8 cm

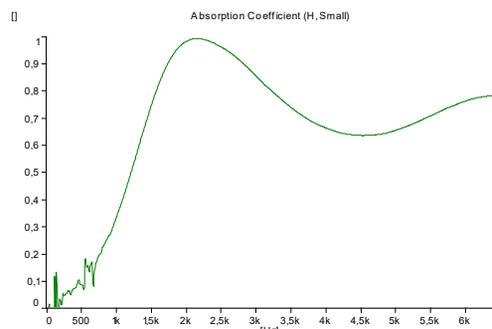
Tabel II.3. menunjukkan bahwa kerapatan material komposit cangkang kerang adalah 0,1262 gram/cm<sup>3</sup> dan 0,1893 gram/cm<sup>3</sup>. Berdasarkan kategori material komposit, material ini dapat digolongkan sebagai *Low Density Composite*.

### 2.2.4 Test Koefisien Absorpsi ( $\alpha$ )

Pola grafik uji koefisien absorpsi rentang koefisien absorpsi ( $\alpha$ ) material beton cangkang kerang tebal 0,8 cm adalah sebesar 0,00 – 0,600 sebagaimana terlihat pada Gambar 2.3. Nilai koefisien absorpsi tertinggi dicapai pada pengujian frekuensi 1.5k (1500 Hz). Sifat absorber muncul ketika frekuensi 550 Hz. Hasil ini dapat dijadikan acuan bahwa material bersifat absorptif dan digunakan sebagai material pereduksi bunyi pada bangunan.



**Gambar 2.3.** Grafik Koefisien Absorpsi mortar cangkang kerang tebal 0,8 cm

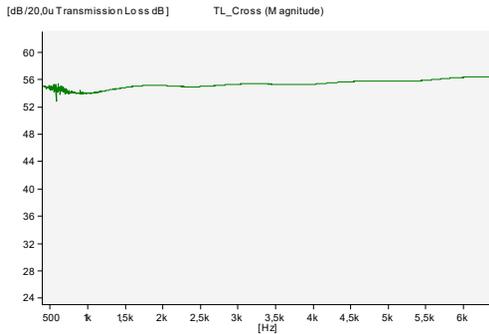


**Gambar 2.4.** Grafik Koefisien Absorpsi mortar cangkang kerang tebal 1.8 cm

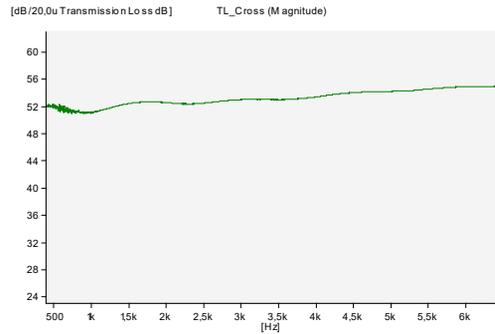
Material mortar cangkang kerang dengan tebal 1,8 cm memiliki daya absorpsi yang lebih tinggi. Grafik pada gambar 2.4., menunjukkan tingkat koefisien tertinggi pada frekuensi 2000Hz sebesar 0,9 – 1,0. Berdasarkan nilai ini, material mortar ini memiliki daya akustik yang sangat baik pada frekuensi tinggi (> 2000 Hz), sehingga dapat digolongkan sebagai material yang sangat absorptif.

### 2.2.5 Uji Sound Transmission Loss (STL)

Pengujian *Sound Transmission Loss* (STL) dilakukan pada material mortar ringan cangkang kerang dengan tebal 0,8 cm dan 1,8 cm. Hasil uji STL di tunjukkan pada gambar 2.5. dan 2.6. di bawah, yang memperlihatkan nilai STL sebesar  $> 52$  dB. Dapat diartikan bahwa material mortar cangkang kerang dapat digunakan untuk menurunkan tingkat kebisingan yang datang pada permukaan material sampai dengan lebih dari 52 dB.



**Gambar 2.5.** Grafik STL mortar ringan cangkang kerang tebal 0.8 cm



**Gambar 2.6.** STL mortar cangkang kerang tebal 1.8 cm

Hasil analisa komposit dengan tebal 1,8 cm ditunjukkan pada gambar 6 yang memiliki rentang *Transmission Loss* yang cukup tinggi yaitu  $> 51$  dB. Nilai komposit dengan tebal 1,8 hampir sama dengan komposit dengan tebal 0,8 cm. Hal ini menunjukkan bahwa material mortar dengan bahan baku limbah cangkang kerang dapat digunakan sebagai material pereduksi kebisingan.

### 2.2.6 Hasil Pembuatan Material Mortar Berbahan Cangkang Kerang

Berikut visualisasi proses pembuatan material mortar berbahan cangkang kerang, sebagai inovasi material dalam mengurangi limbah yang kurang menjadi perhatian dalam upaya menuju desain arsitektur *green concept*.



(1) Cetakan dan Bahan



(2) Material cangkang kerang



(3) Polyurethane 1 dan 2



(4) Cetakan material



(5) Mortar Cangkang kerang



(6) Proses pencampuran bahan



(7) Persiapan cetakan



(8) Mortar Cangkang kerang siap di uji

**Gambar 2.7.** Proses Pembuatan Material Mortar Cangkang kerang

**Tabel II.4.** Uji Kuat Tekan dan modulus of Elasticity Mortar Polymer + cangkang kerang

No	Kode Sample	Tanggal	Tanggal uji	umur	Berat (gram)	Gaya tekan (N)	Kokoh Tekan (Mpa)	Modulus Elastisitas =4700V <sub>fc</sub>	Keterangan
1	Normal (PC + Pasir + Cangkang Kerang)	24/09/2016	01/10/2016	7	190.80	18,277.80	7.31	-	Ukuran Mortar 5 x 5 x 5 cm <sup>3</sup>
2		24/09/2016	01/10/2016	7	193.15	16,508.30	6.60	-	
3	Plastik (PC + Cangkang Kerang+ Agregat Buatan)	24/09/2016	01/10/2016	7	200.10	15,274.10	6.11	-	
4		24/09/2016	01/10/2016	7	200.85	15,475.70	6.19	-	
5	PC + Cangkang Kerang+ Split 1/1	24/09/2016	01/10/2016	7	209.25	22,773.20	9.11	-	
6		24/09/2016	01/10/2016	7	207.40	26,293.60	10.52	-	
7	Normal (PC + Pasir + Cangkang Kerang)	24/09/2016	15/10/2016	21	193.60	25,406.10	10.16	14,983	
8		24/09/2016	15/10/2016	21	203.50	29,062.40	11.62	16,025	
9	Plastik (PC + Cangkang Kerang+ Agregat Buatan)	24/09/2016	15/10/2016	21	183.10	55,294.70	22.12	22,104	
10		24/09/2016	15/10/2016	21	203.45	57,398.90	22.96	22,521	
11	PC + Cangkang Kerang+ Split 1/1	24/09/2016	15/10/2016	21	213.45	79,062.40	31.62	26,431	
12		24/09/2016	15/10/2016	21	219.80	69,581.70	27.83	24,796	
13	Normal (PC + Pasir + Cangkang Kerang)	24/09/2016	22/10/2016	28	197.70	32,932.34	13.17	17,058	Ukuran Mortar 5 x 5 x 5 cm <sup>3</sup>
14		24/09/2016	22/10/2016	28	202.00	30,141.40	12.06	16,320	
15	Plastik (PC + Cangkang Kerang+ Agregat Buatan)	24/09/2016	22/10/2016	28	196.60	60,555.25	24.22	23,131	
16		24/09/2016	22/10/2016	28	195.50	61,343.78	24.54	23,282	
17	PC + Cangkang Kerang+ Split 1/1	24/09/2016	22/10/2016	28	201.25	79,984.27	31.99	26,585	
18		24/09/2016	22/10/2016	28	210.45	83,199.41	33.28	27,114	

Tabel di atas menunjukkan nilai dengan trend, dimana kuat tekan mengalami penambahan seiring bertambahnya usia beton. Material komposit dengan campuran polyurethane dan cangkang kerang tanpa split memiliki nilai kuat tekan paling rendah dibandingkan material lainnya pada semua usia beton. Secara rata-rata, nilai komposit yang di analisa kuat tekan berada dalam batas < 200 Mpa, hal ini dapat dikatakan bahwa material berbahan limbah cangkang kerang baik digunakan sebagai elemen non struktural. Berikut proses pengadukan yang dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik UNDIP



(1) Bahan-bahan yang dipersiapkan untuk pengadukan



(2) Bahan diaduk dengan mixer



(3) Penuangan adukan pada cetakan beton



(4) Sample material yang siap diuji kuat tekan



(5) Mesin Uji Kuat Tekan pada Laboratorium Bahan dan Konstruksi Departemen Teknik Sipil FT UNDIP

**Gambar 2.8.** Proses dan Pengujian Kuat Tekan di Lab. Bahan dan Konstruksi Dept. Sipil FT UNDIP

### 2.2.7 Uji Akustik Material Polymeric Concrete (Polyurethane Concrete)

Pada penelitian ini, pengujian akustik dilakukan pada material berikut:

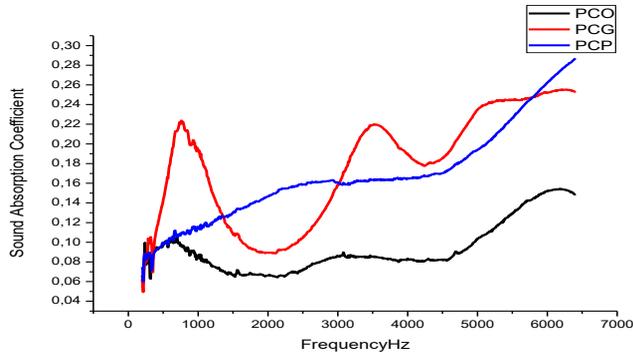
1. Polyurethane Concrete dengan agregat Cangkang Kerang (Cement+cangkang kerang: split cangkang: pasir: polyurethane1: polyurethane2) kemudian disingkat Polyurethane Concrete Oyster Shell (PCO)
2. Polyurethane Concrete dengan agregat kerikil (cement+cangkang kerang: split kerikil: pasir; polyurethane 1: polyurethane 2) kemudian disingkat Polyurethane Concrete Gravel (PCG)
3. Polyurethane Concrete dengan agregat polymer/limbah plastik (Cement+cangkang kerang:split polymer: pasir: polyurethane 1: polyurethane 2) kemudian disingkat Polyurethane Concrete Polymeric (PCP)



**Gambar 2.9.** Sampel Penelitian untuk Uji Akustik

## 2.2.8 Hasil Uji Akustik

### 2.2.8.1 Uji koefisien absorpsi



**Gambar 2.10.** Hasil Uji Koefisien Absorpsi

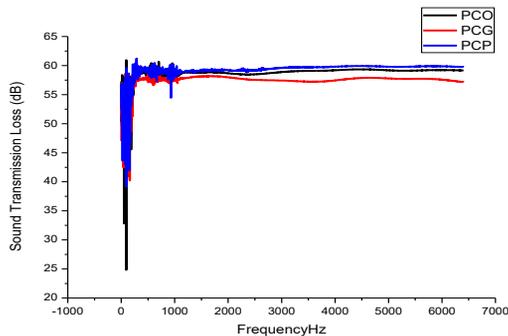
Keterangan :

PCO: Polyurethane Concrete – Oyster Shell; PCG: Polyurethane Concrete – Gravel;

PCP: Polyurethane Concrete – Polymeric

Gambar: Perbandingan Koefisien Absorpsi Material PCO, PCG dan PCP

### 2.2.8.2 Uji Sound Transmission Loss (STL)



**Gambar 2.11.** Hasil Uji *Sound Transmission Loss*

Keterangan :

PCO: Polyurethane Concrete – Oyster Shell; PCG: Polyurethane Concrete – Gravel;

PCP: Polyurethane Concrete – Polymeric

Gambar 2.11: Perbandingan Sound Transmission Loss (STL) PCO, PCG, PCP

### 2.2.8.3 Uji Akustik Material Beton Polimer (Polyurethane Concrete)

Upaya dalam mewujudkan desain arsitektur dengan konsep ramah lingkungan, berbagai inovasi material *concrete* dikembangkan. Pembuatan material berbahan baku semen dapat dapat direduksi dengan penggunaan *foam additive* seperti poly urethane [4-8]. Berbagai tujuan penggunaan *foam additive* ini dilakuakn pada berbagai jenis material diantaranya menjadi material komposit akustik berbahan semen. Penelitian lain mengungkapkan bahwa *foam additive* jenis polyesther dalam beton dipilih dengan tujuan untuk meningkatkan kekerasan material bangunan yang tercipta [9-12]. Pembahasan ini akan difokuskan pada kinerja akustik pada poliuretan *concrete* yang dibandingkan dengan material beton lainnya.

Pembahasan kajian teori akan dikhususkan pada oyster shell concrete dan polyurethane concrete sebagai bahan dasarnya. Riset sebelumnya membuktikan bahwa material concrete dari cangkang kerang spesies *Anadara granosa* Linn memiliki kuat tekan paling tinggi dibandingkan dengan material concrete cangkang kerang dengan spesies lainnya [9-12]. Pengujian kuat tekan dan kemampuan akustik terhadap tiga jenis material concrete dari penggunaan tiga species cangkang kerang yang berbeda, yaitu *Anadara granosa* Lynn, *Perna viridis* Lynn dan *Placuna placenta* Lynn telah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Analisa yang dilakukan pada material concrete berbahan dasar cangkang kerang spesies *Anadara granosa* Lynn memiliki nilai kuat tekan sebesar 200 kg/cm<sup>2</sup> [6]. Sedangkan pada pengujian kemampuan akustik terbaik dengan nilai 7,28 dB, ditunjukkan pada material concrete dari limbah cangkang kerang spesies *Perna viridis* Lynn [6]. Pembahansan ini akan mengobservasi jenis material concrete, sehingga cangkang kerang dari spesies *Anadara granosa* Lynn dipilih menjadi *fine aggregate* maupun *coerse aggregate*.

Penelitian yang menggunakan bahan dasar limbah cangkang kerang sebagai pereduksi kebisingan telah dilakukan. Dimana penelitian ini menyimpulkan bahwa material komposit limbah cangkang kerang dengan bahan *additive* yang berpori memiliki kinerja dalam sebagai peredam kebisingan yang baik yang telah

diaplikasikan pada perumahan sekitar bandara (Setyowati & Trilistyo, 2016). Diketahui pula material komposit limbah cangkang kerang tanpa adanya senyawa *additive* tidak memiliki performa akustik yang baik dimana koefisien absorpsi setelah dilakukan analisa sebesar 0,03-0,04 [12]. Bahkan *fly ash* yang dicampurkan pada komposit limbah cangkang kerang berpengaruh pada penyumbatan pori sehingga mengurangi kemampuan material komposit dalam menyerap kebisingan [8].

### 2.3 Metode Uji Akustik

Pengujian akustik dilakukan menggunakan tabung impedansi dengan frekuensi filter 1/3 oktaf. Detektor analisis dihubungkan dengan komputer PC sesuai ASTM E413-04 [3, 13]. Koefisien penyerapan suara ( $\alpha_0$ ) diperoleh dari pengukuran tekanan suara yang datang pada permukaan material sampel dan yang direfleksikan. Adsorber dapat dikatakan baik atau memenuhi persyaratan sebagai material adsorber apabila memiliki koefisien penyerapan minimal 0,2. Secara perhitungan memenuhi persamaan berikut:

$$\alpha_0 = \frac{4}{n + \left(\frac{1}{n}\right) + 2} \quad (1)$$

dimana,  $\alpha_0$  adalah koefisien absorpsi dan  $n$  adalah rasio gelombang berdiri. Rasio gelombang berdiri ( $n$ ) diukur dengan mensubstitusi resistansi terhadap redaman, menentukan rasio gelombang berdiri dari perbedaan tekanan suara (L) dB menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$n = 10^{\left(\frac{L}{20}\right)} \quad (2)$$

dengan  $n$  adalah rasio gelombang berdiri dan  $L$  adalah perbedaan tekanan suara (dB). Pengujian koefisien absorpsi ( $\alpha$ ) dilakukan dengan cara menempatkan tabung impedansi yang dilengkapi dengan mikrofon untuk mengirimkan suara dengan rentang rendah hingga tinggi. Pada pengujian yang dilakukan pada sampel yaitu 125-4000 Hz.

#### 2.3.1 Metode Uji *Sound Transmission Loss* (STL)

Uji *Sound Transmission Loss* (STL) dirancang dengan menggunakan tabung impedansi serta dilengkapi dengan empat buah mikrofon (Lihat gambar) yang memiliki kepekaan/sensitivitas terhadap suara dengan frekuensi tinggi.



**Gambar 2.12.** Tabung Impedansi dengan mikrofon

*Sound Transmission Loss* (STL) didefinisikan sebagai rasio antara kekuatan suara yang ditransmisikan ( $W_t$ ) dan kekuatan suara yang datang ke permukaan sampel uji ( $W_i$ ). Secara umum dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

$$TL = 10 \log \frac{W_t}{W_i} \quad (3)$$

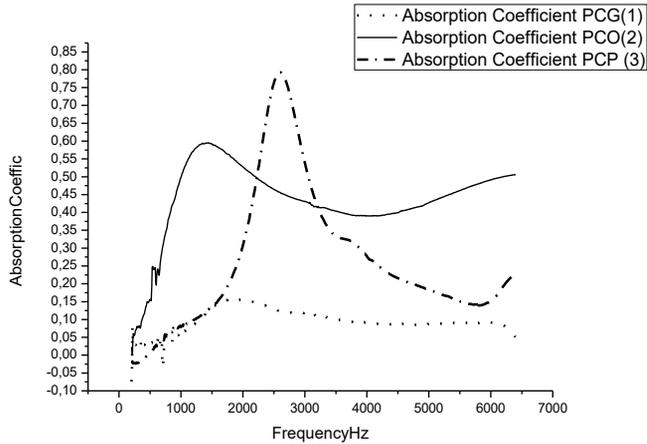
$$TL = 10 \log \frac{1}{r} \quad (4)$$

$r$  adalah koefisien transmisi suara sampel, yaitu rasio antara kekuatan suara yang ditransmisikan melalui partisi material terhadap suara datang pada permukaan bahan. Pengujian STL menunjukkan nilai tertentu yang dimaksudkan untuk mengetahui kinerja material terhadap reduksi intensitas suara, yang dilakukan sesuai *American Standard Test and Material* [3,16].

## 2.4 Hasil Uji Akustik

### 2.4.1 Koefisien Absorpsi

Hasil perbandingan nilai koefisien absorpsi antara PCG, PCO dan PCP adalah sebagai berikut:



**Gambar 2.13.** Grafik Perbandingan Koefisien Absorpsi material

Grafik di atas menunjukkan bahwa PCG dan PCP memiliki karakter koefisien penyerapan oktaf pada frekuensi yang hampir sama. PCG memiliki koefisien penyerapan sebesar 0.155 pada frekuensi 1968 Hz, sementara PCP memiliki koefisien tertinggi 0.793 pada frekuensi 2,6 Hz. Sedangkan pada PCO memiliki rentang koefisien penyerapan yang lebih baik, ini ditunjukkan pada frekuensi broadband yang lebih luas dengan nilai koefisien penyerapan maksimal pada 0,59508 pada frekuensi 1432 Hz. Kemampuan material pada aplikasinya sebagai penyerap suara dapat dikatakan baik apabila mampu mereduksi suara pada rentang frekuensi rendah hingga tinggi.

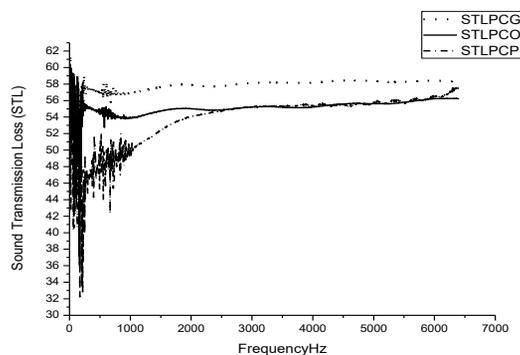
**Tabel II.5.** Koefisien Absorpsi dalam oktaf band frekuensi

Frequency (Hz)	$\alpha$ PCG	$\alpha$ PCO	$\alpha$ PCP
1000	0,0626	0,4989	0,0783
1432	0,1211	0,5951	0,1266
1968	0,1550	0,5315	0,2892
2600	0,1238	0,4559	0,7929
3000	0,1193	0,4305	0,5381
4000	0,0912	0,3906	0,2770
5000	0,0867	0,4271	0,1813

Material *concrete polyurethane* dengan agregat limbah cangkang kerang (PCO) memiliki koefisien penyerapan cukup baik karena memiliki kemampuan dalam menyerap energi suara pada oktaf broadband frekuensi yang luas. Pengembangan lebih lanjut mengenai kinerja akustik dapat dilakukan melalui modifikasi resonator. Beberapa perlakuan untuk memperbaiki koefisien penyerapan suara diantaranya dapat menggunakan panel fleksibel yang ditambahkan Helmholtz resonator, bahan daur ulang dari industri ataupun absorber dari biomassa.

#### 2.4.2 Sound Transmission Loss (STL)

Berbeda dengan beton normal, material beton poluretan dengan modifikasi cangkang kerang tiram (PCO) dan polimerik beton (PCP) diketahui memiliki karakter STL yang hampir sama. Kedua material ini memiliki rentang STL sebesar 54-56 dB pada kisaran frekuensi awal 2000 Hz. Analisa STL diketahui bahwa untuk frekuensi < 500 Hz, PCP memiliki rentang nilai STL yang lebih rendah dibandingkan dengan PCO. Hal ini dapat disebabkan karena senyawa poliuretan dalam PCO menyerap serta mengurangi energi suara yang lebih daripada beton dengan agregat polimer (PCP). Hasil pengujian STL dapat dilihat pada grafik di bawah ini,



**Gambar 2.14.** Sound Transmission Loss (STL) dari PCG, PCO dan PCP

Nilai STL tertinggi ditunjukkan oleh material beton normal dengan agregat kerikil yaitu sebesar 57-58 dB. Penggunaan poliuretan dimaksudkan sebagai penangkap suara sehingga suara yang masuk kedalam material tidak diteruskan menembus material.

**Tabel II.6.** Koefisien absorpsi pada oktaf band frekuensi

Frequency (Hz)	STL PCG (dB)	STL PCO (dB)	STL PCP (dB)
1000	56,9132	53,9376	49,456
2000	57,8971	55,0005	54,0774
2400	57,6903	54,8373	54,6301
3000	58,1237	55,2227	55,2424
4000	58,1805	55,2048	55,3544
5000	58,364	55,6168	55,7178

## 2.5 Implementasi Material Polimer Concrete Pada Bangunan

Pembuatan material komposit dengan menggunakan bahan limbah yaitu poliuretan dibentuk dengan berbagai variasi luas. Material meton yang dihasilkan memiliki warna serta tekstur yang berbeda-beda untuk meningkatkan nilai ketertarikan secara visual dalam aplikasinya sebagai penyearap suara. Selain itu berbagai material bangunan lain menggunakan poliuretan sebagai bahan campurannya dapat dilihat sebagai berikut:



**Gambar 2.15.** Polyurethane concrete dan inovasi warna pada industri di Jepang [17].

*Green Architecture* memiliki konsep menggunakan bahan-bahan yang pada umumnya sebagai limbah menjadi material berkelanjutan serta *green construction* dengan berbagai inovasi yang dapat dikembangkan baik dengan penambahan bahan campuran lain dengan tujuan utama untuk mengurangi penggunaan bahan material yang menghasilkan tingkat emisi berbahaya yang cukup besar seperti bahan semen yang pada pembuatannya menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> cukup besar.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ASTM 109 / C 109M – 08, “Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (using 50 mm Cube Specimens)”, *ASTM Book of Standards* 04.01
- [2]. ASTM C-618, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete, *ASTM Book of Standards*
- [3]. ASTM] American Society for Testing and Materials. 2004. ASTM E 413
- [4]. Golpazir, I., Ghalandarzadeh, A., Jafari, M. K., & Mahdavi, M. (2016). Dynamic properties of polyurethane foam-sand mixtures using cyclic triaxial tests. *Construction and Building Materials*, 118, 104–115. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.035>
- [5]. Martínez-Barrera, G., Menchaca-Campos, C., & Gencel, O. (2013). Polyester polymer concrete: Effect of the marble particle sizes and high gamma radiation doses. *Construction and Building Materials*, 41, 204–208. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.12.009>
- [6]. Setyowati, E., & Hardiman, G. (2015). The Acoustical Performances of Oyster Shell Waste Based Green Concrete Materials. *GSTF Journal of Engineering Technology (JET)*, 3(3), 1–6. <https://doi.org/10.7603/s40707-014-0022-2>
- [7]. Sung, G., Kim, J. W., & Kim, J. H. (2016). Fabrication of polyurethane composite foams with magnesium hydroxide filler for improved sound absorption. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 44, 99–104. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.08.014>
- [8]. Wang, H., Kuo, W., Lin, C., & Po-yo, C. (2013). Study of the material properties of fly ash added to oyster cement mortar. *Construction and Building Materials*, 41, 532–537. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.02>
- [9]. Setyowati, E., Hardiman, G., & Purwanto, P. (2015). Jurnal Teknologi GREEN CONCRETE MADE OF OYSTER SHELL WASTE, 1, 1–5.
- [10]. Setyowati, E., & Purwanto. (2015a). The Acoustical Characteristics of Polymer Mortar as a Green Concrete Material. In *The 14th International Conference on Quality in Research* (pp. 983–987). Mataram, Lombok, Indonesia: Faculty of Engineering - Universitas Indonesia.
- [11]. Setyowati, E., & Purwanto. (2015b). The Polymer Brick as Nano-Technology based Material to Support Green Building Construction. In *The 3rd Annual International*

- Conference Proceedings on Architecture and Civil Engineering* (pp. 224–228). Singapore: Global Science and Technology Forum. Retrieved from <http://dl4.globalstf.org/?wpsc-product=the-polymer-brick-as-nano-technology-based-material-to-support-green-building-construction>
- [12]. Setyowati, E., & Trilistyo, H. (2016). Sustainable Building Material for Noisy Urban Residential Space. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 227(November 2015), 294–299. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.06.074>
- [13]. 1050-98 AE. ASTM E 1050-98, Standard test method for Impedance and absorption of acoustical materials using tube two microphones and digital frequency analysis system. 1998.
- [14]. Tenenbaum RA, Magalha MBS. A new time domain approach to evaluate transmission loss in layered partitions. (1):68503.
- [15]. Yahya I, Kristiani R, Muqowi E. Sound Insulation and Absorption Properties of Reclaimed Waste Tire Rubber. 2014;(September).
- [16]. 2611-09 AE. ASTM E 2611-09 Standard Test Method for Measurement of Normal Incidence Sound Transmission of Acoustical Materials Based on the Transfer Matrix Method. 2009.
- [17]. Setyowati, E., Pandelaki, E.E. (2004), The concept of sustainable prefab modular housing made of natural fiber reinforced polymer (NFRP), IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 316, Quality in Research: International Symposium on Materials, Metallurgy, and Chemical Engineering 24–27 July 2017, Bali, Indonesia. DOI 10.1088/1757-899X/316/1/012004.

### **BAB 3**

## **KOMPOSIT CANGKANG KERANG**

Bagian ini membahas mengenai hasil penelitian terhadap morfologi dan kinerja akustik serat berbahan limbah cangkang kerang yang direkatkan dengan menggunakan Polyester (SFRP). Adapun, pengamatan kerang laut dilakukan dalam penelitian ini yakni terhadap kerang *Anadara granosa* Linn, *Perna viridis* Linn dan *Placuna plasmata* Linn. Morfologi permukaan material yang sederhana ini dikembangkan dan dipelajari dengan menganalisis hasil oksidasi SEM dan EDX. Kemudian dilakukan pengamatan terhadap penampakan akustik cangkang kerang dengan menggunakan tabung impedansi yang memiliki dua hingga empat mikrofon yang berpedoman pada ASTM E1050-98 dan ASTM E2611-09.

Performa akustik terhubung dengan resonator yang berpasangan dengan rongga bagian belakang dan diberikan penambahan material lapisan dengan bahan serat dacron. Hasil penelitian menunjukkan bahwa resonator dan rongga bagian belakang pada struktur material mampu menggeser kemampuan penyerapan pada frekuensi rendah walaupun hanya pada batas frekuensi tertentu yang berkisar antara 700-2000 Hz dengan besaran nilai puncak penyerapannya mencapai 0,98 pada frekuensi 1kHz. Sementara itu, pada material yang memiliki kombinasi lapisan berserat, resonator dan rongga bagian belakang mampu meningkatkan koefisien penyerapan mencapai besaran di atas 0,2.

Struktur material yang terbuat dari kombinasi resonator dan lapisan berserat dapat digunakan untuk menstabilkan frekuensi tinggi pada uji Sound Transmission Loss dengan nilai yang berkisar sebesar 52-56 dB. Pada pengamatan bentuk morfologi permukaan material secara sederhana, ditemukan bahwa *Placuna plasmata* Linn memiliki pori-pori yang lebih kecil dan lebih padat daripada *Anadara granosa* Linn dan *Perna viridis* Linn, sehingga secara signifikan hal ini dapat berpengaruh pada kemampuan material dalam melakukan penyerapan. Selain itu, kandungan material

yang tersusun dari lebih banyak karbon juga dapat meningkatkan nilai koefisien penyerapan bahan agar lebih optimal.

### **3.1 Pendahuluan**

Indonesia merupakan negara yang sebagian luasannya terdiri dari wilayah perairan. Negara yang memiliki garis pantai terpanjang kedua di dunia setelah Kanada dengan kekayaan laut yang melimpah. Pengelolaan kekayaan laut ini menjadi salah satu potensi guna meningkatkan tingkat pendapatan bahkan dapat menyaingi pendapatan dari sektor minyak yang kini semakin menurun. Adapun, salah satu sumber daya laut yang melimpah ketersediaannya berupa kerang laut. Kerang laut tersebut dimanfaatkan dan diolah dalam bisnis kuliner. Namun, dalam pengolahan bisnis kuliner terdapat limbah-limbah seperti cangkang kerang yang belum dilakukan pengolahan. Di Provinsi Jawa Tengah, terutama di Kota Semarang, bisnis kuliner dibidang ini mampu menghasilkan limbah cangkang kerang kering sebanyak 30kg per hari atau bahkan berton-ton per bulan. Selain memanfaatkan limbah dari bisnis kuliner, limbah cangkang kerang tersebut juga dapat dijumpai dan diambil secara bebas di sekitar bibir pantai ketika air laut pasang. Adapun, kerang yang diamati dalam penelitian ini dikelompokkan menjadi 3 jenis spesies kerang laut yakni *Anadara granosa* Linn (klem darah), *Perna viridis* Linn (kerang hijau) dan *Placuna placenta* Linn.

Dalam penelitian yang sebelumnya, dilaporkan bahwa komposit polimer berbahan dasar *Placuna plasenta* Linn memiliki ketebalan 30 mm memiliki kinerja sangat baik dalam penyerapan suara pada frekuensi menengah 2,25 kHz dengan nilai tertinggi sebesar 0,47. Komposit polimer tersebut memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menyerap suara pada rentang frekuensi yang lebih luas daripada komposit yang berbahan dasar dari spesies lainnya. Kemudian, Lebih jauh lagi, kinerja material komposit ini dalam uji Transmission Loss berkisar antara 53 dan 58 dB. Bahan komposit polimer yang dikembangkan dengan memanfaatkan limbah cangkang kerang

yang memiliki kualitas bagus dapat dimanfaatkan sebagai bahan bangunan penambah estetika baik diletakkan dalam interior maupun eksterior. Adapun, penggunaan bahan komposit selain memiliki nilai estetika juga dapat dimanfaatkan sebagai diffuser dan bahan penyerap bunyi, akan tetapi dibutuhkan perawatan dan perbaikan resonator tambahan, bahan pelapis panel berserat serta penyempurnaan rongga bagian belakang [1][2][3].

Sebuah penelitian yang telah dilakukan oleh Fombuena, V, et.al (2014) dan Odusanya, AA, et.al (2014) mengenai pengisian material berupa serbuk cangkang kerang (masing-masing dalam 30% berat dan 10% berat) yang diperkuat poliester tak jenuh dan terkait dengan sifat kelenturan dan sifat kekerasan, tetapi itu tidak mengenai sifat akustik [4][5]. Hasilnya menunjukkan bahwa kekuatan lentur serta sifat kekerasan dan dampak SFRP dengan 10% penguat serbuk cangkang kerang sebagian besar telah ditingkatkan. Kebaruan dari penelitian ini adalah mengkorelasikan kinerja akustik dengan memperhatikan morfologi permukaan material secara sederhana yang difungsikan untuk memetakan kemampuan dalam penyerapan dan kinerja Sound Transmission Loss dari material komposit berbahan dasar limbah cangkang kerang.

### **3.2 Review Teori**

Modifikasi pada permukaan material biasanya diterapkan guna meningkatkan kinerja peredam suara dan penyebar suara agar bekerja lebih optimal. Sehubungan dengan tujuan penelitian, pelat yang dilengkapi dengan lubang mikro (MPP) sebagian besar telah digunakan dalam banyak laporan dan publikasi [2][6][7]. Beberapa pendekatan dan teknik yang diusulkan dari penelitian lain digunakan untuk memenuhi kebutuhan dalam bidang teknik terutama dalam rentang frekuensi rendah. Penggunaan MPP multi-layer dengan adanya celah udara antara lapisan [8][9]. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Yahya, I dan Harjana (2013) juga telah menggunakan panel mikro berlubang yang disebut QRD (Quadratic Residu Diffuser). QRD adalah panel berlubang yang dikombinasikan dengan menggunakan tabung resonator yang

panjang dan tipis sehingga dapat meningkatkan kinerja akustik pada frekuensi rendah hingga menengah tanpa mengubah desain panel tersebut[7].

Penelitian mengenai tabung resonator yang dilengkapi dengan saluran lubang multipel juga telah dianalisis oleh Kar, T., et.al (2005). Pada penelitian tersebut membahas mengenai peningkatan kinerja akustik. Adapun, hasil yang diperoleh bahwa bahan tersebut dapat digunakan dalam muffler otomotif komersial [10]. Bahan tersebut memiliki penyusun yang mirip dengan MPP, peredam multi-lapisan yang didukung kinerjanya oleh resonator Helmholtz dan memiliki rongga kompartemen yang telah dikembangkan di banyak penelitian [11][12]. Desain penyerap memiliki peranan penting dalam pendekatan yang dapat memberikan manfaat tidak hanya dalam pergeseran penyerapan ke pita yang lebih rendah tetapi juga dalam meningkatkan kinerja MPP dalam rentang frekuensi menengah-tinggi.

Kinerja gelombang suara yang menyentuh permukaan suatu material akan mengalami refleksi, penyerapan, dan hilangnya suara karena terjadinya perekatan redaman pada material itu sendiri [10]. Peningkatan penyerapan suara dimanfaatkan untuk melakukan strategi pengendalian kebisingan pada komponen bangunan. Dalam penelitian ini, pengamatan kinerja akustik pada limbah cangkang kerang tersusun dari bahan poliester dan katalis. Beberapa peneliti melakukan uji bahan terhadap komposit yang tersusun dari bahan alami seperti menggunakan batok kelapa dan cangkang kerang dilakukan dengan metode dan pendekatan yang berbeda. Beberapa peneliti melakukan pengamatan tentang isolasi termal dan kekuatan tarik material pada komposit cangkang kerang [4]. Pada penelitian ini memiliki pendekatan yang berbeda dari penelitian-penelitian sebelumnya karena menggabungkan perlakuan terhadap peningkatan penyerapan suara dengan mengkolaborasi dengan studi morfologi material.

Di sisi lain, beberapa peneliti mengamati perubahan efektif yang terjadi dalam peningkatan kinerja akustik suatu material yakni dari setengah panjang gelombang

menjadi seperempat panjang gelombang. Adapun, perekatan redaman pada struktur berlapis juga memiliki peran yang efektif dalam meningkatkan kinerja penyerapan suara [1][7].

### **3.3 Bahan Dan Metode**

Limbah cangkang kerang yang digunakan diperoleh dari sektor kuliner makanan laut di Provinsi Jawa Tengah, khususnya di Kota Semarang dan sekitarnya. Adapun beberapa proses yang dilakukan sebelum limbah digunakan dan diolah. Limbah cangkang kerang tersebut dibersihkan terlebih dahulu, dipisahkan dan dikelompokkan berdasarkan spesies, dan kemudian dikeringkan untuk menghilangkan kelembaban limbah cangkang kerang tersebut. Setelah dilakukan pengeringan selama 3 hari, cangkang kerang yang telah kering ditumbuk menggunakan mesin Hammer Mills. Proses selanjutnya adalah homogenisasi material dengan menggunakan saringan dengan lubang 250 mikron di Laboratorium Material dan Akustik. Adapun, tiga jenis cangkang kerang yang telah ditumbuk dalam bentuk tepung, kemudian dilakukan penimbangan menggunakan skala listrik berdasarkan persentase berat partikel yang ditambahkan dengan menggunakan resin poliester.

### **3.4 Komposit Poliester**

Bahan-bahan yang dibutuhkan untuk membuat material ditimbang dengan hati-hati menggunakan skala listrik. Sintesis komposit poliester yang telah ditingkatkan komposisinya kemudian dibagi menjadi 3 kelompok berdasarkan tiga spesies kerang yang diamati. Komposisi polimer komposit tersusun atas resin poliester : pengisi kerang laut, perbandingan masing-masing katalis sebanyak 200 ml, 125 gram, 10 ml, dan komposisi ini diaduk secara manual selama kurang lebih tiga menit dalam suhu ruang hingga diperoleh campuran homogen. Terdapat tiga pengelompokan kerang yang akan diamati, maka pada penelitian ini dihasilkan tiga jenis adonan sesuai dengan jenis masing-masing kerang tersebut. Katalis yang digunakan sebagai

campuran yang dapat mempercepat proses perekatan material dalam penelitian ini adalah metil etil keton peroksida. Adapun, tujuan pengamatan ini yakni mengetahui apakah kepadatan pada material komposit memiliki kontribusi pada hasil penelitian, kemudian hasil pengukuran kepadatan tersebut akan digunakan untuk melengkapi data penelitian sebagai data tambahan.

### 3.5 Tipe Campuran

Ketiga jenis adonan tersebut dituangkan ke dalam cetakan silindris dengan diameter sebesar 30 mm. Ukuran diameter telah disesuaikan dengan diameter yang dimiliki oleh tabung impedansi. Nantinya material tersebut akan diuji kinerja akustik bahan menggunakan tabung impedansi.

**Tabel III.1.** Dimensi geometris dan perlakuan sampel uji [13]

Spesies Cangkang	Diameter	Ketebalan	Kode
Anadara granosa Linn	30 mm	15 mm	A
	30 mm	30 mm	B
Perna viridis Linn	30 mm	15 mm	C
	30 mm	30 mm	D
Placuna placenta Linn	30 mm	15 mm	E
	30 mm	30 mm	F
Treatment Code			
H	Jumlah resonator seperempat Panjang gelombang (4,8)		
FR	Foam Front Layer		
Cav	Cavity/gap udara (10 mm)		

Pada penelitian ini fraksi dimensi dari ketebalan komposit terbagi menjadi dua kelompok yaitu dengan dimensi 15 mm dan 30 mm, sehingga akan diperoleh 6 varian sampel dari masing-masing jenis cangkang (lihat tabel III.1).

#### 3.5.1 Densiti Material SFRP

Sampel berbentuk bundar yang memiliki diameter 30 mm diukur untuk mendapatkan berat awal (gram), panjang (p), lebar (l), dan ketebalan (t). Volume

sampel dihitung sebagai  $p \times l \times t$ . Setelah volumenya ditentukan, kepadatan sampel dihitung menggunakan Persamaan. (1):

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)[13]$$

dimana  $\rho$  merupakan kepadatan material dalam gram per sentimeter kubik,  $m$  merupakan berat awal spesimen dalam gram, dan  $V$  merupakan volume sampel dalam sentimeter kubik. Kerapatan bahan yang dihasilkan disajikan pada tabel III.2.

**Tabel III.2.** Kerapatan spesimen uji dari Shell Fiber Reinforced Polyester [13]

Sample Test of SFRP	Thickness (cm)	V (cm <sup>3</sup> )	Weight (gram)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Average Density (g/cm <sup>3</sup> )
Anadara granosa Linn	1.5	10.5975	14.12	1.3324	1.3305
	1.5	10.5975	14.08	1.3286	
	3.0	21.195	31.10	1.4673	1.4685
	3.0	21.195	31.15	1.4697	
Perna viridis Linn	1.5	10.5975	13.15	1.2409	1.2385
	1.5	10.5975	13.10	1.2361	
	3.0	21.195	30.20	1.4249	1.4226
	3.0	21.195	30.10	1.4202	
Placuna placenta Linn	1.5	10.5975	12.50	1.1795	1.1772
	1.5	10.5975	12.45	1.1748	
	3.0	21.195	29.30	1.3824	1.3801
	3.0	21.195	29.20	1.3777	

Setiap sampel spesies cangkang kerang memiliki kerapatan rata-rata yang berbeda pada ketebalan 15 mm dan 30 mm. Material FRP yang berbahan dasar cangkang Linn Anadara memiliki kepadatan tertinggi diantara ketiga spesies kerang dengan 1,3305 dan 1,4685 g/cm<sup>3</sup> untuk ketebalan masing-masing 15 dan 30 mm (lihat tabel). Spesies cangkang kernag yang memiliki kerapatan terendah adalah Placuna placenta Linn dengan 1,1772 dan 1,3801 g/cm<sup>3</sup> masing-masing untuk ketebalan 15 dan 30 mm. Dalam banyak penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa faktor kerapatan sangat berpengaruh pada kinerja akustik, baik penyerapan maupun Transmission Loss.

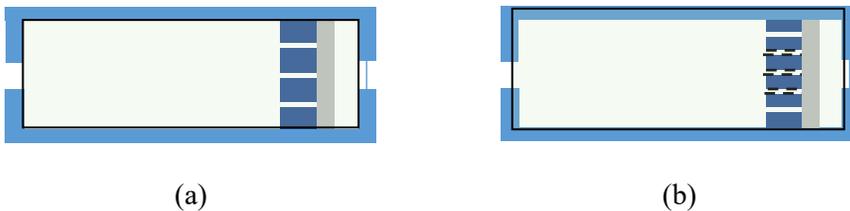
### 3.5.2 Morfologi Permukaan

Sifat porositas material diamati menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk menganalisis perbedaan morfologi permukaan dari ketiga spesies cangkang kerang tersebut. Juga dilakukan pengamatan terhadap kandungan karbon dalam material cangkang kerang untuk mengetahui kinerja akustik baik dalam proses penyerapan suara atau proses hilangnya transmisi (STL).

## 3.6 Kinerja Akustik: Koefisien Absorpsi Suara Dan Sound Transmission Loss

### 3.6.1 Koefisien Absorpsi Suara

Fungsi transfer menggunakan teknik tabung impedansi yang dilengkapi dengan dua mikrofon mengacu pada ASTM E-1050 bertujuan untuk mengukur koefisien penyerapan suara. Setiap sampel diperlakukan dengan tiga perlakuan yang berbeda seperti yang tercantum dalam Tabel (III.1). Tabung impedansi B & K 4206 dengan dimensi tabung kecil dalam percobaan ini memiliki rentang frekuensi suara hingga 6,4kHz. Daalam laboratorium akustik, dilakukan pengamatan performa akustik terkait penambahan jumlah resonator (lihat gambar 3.1).



Legenda:

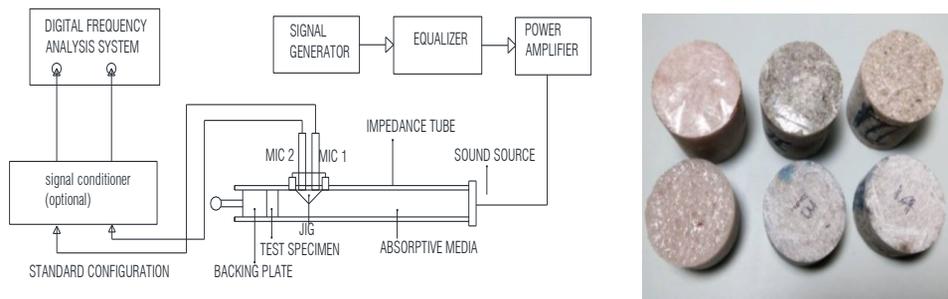
- (A) tabung impedansi; (B) Sampel dengan resonator; (C) Tutup tabung;
- (D) Lapisan Berserat; (E) rongga 10 mm

**Gambar 3.1.** (a) Sampel dengan resonator 4 lubang, (b) Sampel dengan resonator 8 lubang [13]

Metode perlakuan adalah dengan mengebor sampel untuk membentuk struktur resonator panjang gelombang seperempat. Diameter resonator sebesar 3 mm,

sedangkan jumlah resonator adalah 4 dan 8 seperti yang tercantum dalam tabel (III.1). Penambahan rongga belakang sebesar 10 mm dan lapisan depan berpori diterapkan pada sampel SFRP untuk menentukan efeknya pada penyerapan suara. Lapisan berpori depan terbuat dari lapisan dacron komersial. Sementara posisi rongga belakang dan lapisan berpori diilustrasikan pada Gambar 3.1 (a) dan 3.1 (b).

Tabung impedansi B & K 4206 terhubung ke empat saluran LAN-XI B & K Analyzer dan sepenuhnya dikendalikan oleh komputer. Semua percobaan dikendalikan oleh perangkat lunak pengujian bahan B & K. Dalam percobaan, penguat daya tabung impedansi menyebarkan kebisingan secara acak sebagai sumber suara di sepanjang tabung sebelum menyentuh permukaan sampel uji. Dua ¼-inch 4187 B & K mikrofon menangkap kedua kejadian tersebut dan gelombang kemudian dipantulkan sebelum teredam dengan menggunakan analisis fungsi transfer. Energi bunyi yang terdekomposisi dan proses peluruhan harus sepenuhnya dikaitkan dengan kinerja penyerapan sampel.



**Gambar 3.2.** (a) Konfigurasi uji tabung impedansi mengacu pada ASTM E 1050-98 [14] (b) Sampel uji Shell Fiber Reinforced Polyester (SFRP) [13]

Fungsi respons frekuensi  $H_{12}$  dan koefisien refleksi  $R$  dapat dinyatakan sebagai berikut,

$$H_{12} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{e^{jkh} + e^{-jkh}}{e^{jk(h+s)} + e^{-jk(h+s)}} \quad (2)[13]$$

dan

$$R = \frac{H_{12} - e^{jks}}{e^{jks} - H_{12}} e^{j2k(h+s)} \quad (3)[13]$$

dengan P1 dan P2 adalah tingkat tekanan suara yang ditangkap oleh dua mikrofon masing-masing di posisi satu dan dua. k adalah bilangan gelombang sedangkan h dan s adalah jarak dari mikrofon pertama ke sampel dan jarak antara mikrofon masing-masing. Koefisien absorpsi  $\alpha$  dapat dihitung dengan rumus:

$$\alpha = 1 - [R]^2 \quad (4)[13]$$

While the normal Impedance value can be obtained from the equation:

Sedangkan nilai Impedansi normal dapat diperoleh dari persamaan:

$$\frac{z}{\rho c} = \frac{1 + R}{1 - R} \quad (5)[13]$$

### 3.6.2 Sound Transmission Loss (STL)

Beberapa teori telah dikembangkan untuk menentukan STL suatu bahan. Satu penelitian yang dilakukan oleh Tenenbaum, R., A., et.al (2012) yang mengamati karakter dinding senyawa berkaitan dengan STL. Studi ini melakukan studi teoritis dan analitik mengenai langkah efisien untuk menghitung transmisi yang hilang dalam konstruksi dinding majemuk. Dinding majemuk dengan beberapa lapisan penyerap memiliki kinerja akustik yang lebih efektif daripada dinding tunggal yang memiliki ketebalan yang sama. Model teoritis yang digunakan menyediakan langkah mudah untuk mengevaluasi transmisi yang hilang dan panduan prosedur untuk menentukan pilihan bahan yang optimal untuk digunakan dalam partisi [15]. Gambar 3.3. mengilustrasikan diagram skematik pengukuran Sound Transmission Loss. Empat mikrofon (B & K 4187) terletak di tabung atas dan bawah yang digunakan dalam pengamatan ini.

Kebisingan putih didorong oleh analisis spektrum (B & K 3160-A-042) dan diperkuat dengan penguat daya (B & K 2716C) yang dihasilkan oleh penguat suara yang dipasang pada tabung atas. Mikrofon penangkap suara kemudian diproses dalam modul (B & K 3160-A-042). Dalam percobaan ini, jenis tabung yang lebih rendah digunakan untuk mencapai uji frekuensi tinggi guna mengetahui kekedapan suara. Sampel dengan ketebalan 15 mm dan 30 mm digunakan untuk proses terminasi anechoic pada tabung bawah. Nomenklatur A dan B menunjukkan bahwa kejadian dan komponen yang digambarkan dalam tabung atas sedangkan nomenklatur C dan D adalah gelombang yang dipancarkan dan digambarkan dalam tabung bawah. Ekspresi tekanan suara pada mikrofon ditunjukkan pada persamaan (6) - (9)[13] sebagai berikut (15):

$$p_1 = Ae^{-jkx_1} + Be^{jkx_1} \quad (6)$$

$$p_2 = Ae^{-jkx_2} + Be^{jkx_2} \quad (7)$$

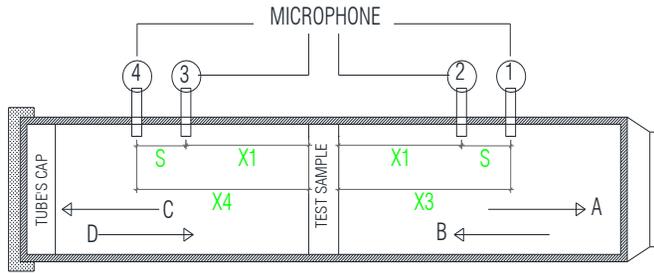
$$p_3 = Ae^{-jkx_3} + Be^{jkx_3} \quad (8)$$

$$p_4 = Ae^{-jkx_4} + Be^{jkx_4} \quad (9)$$

Jarak antara dua mikrofon diasumsikan sama untuk menyederhanakan persamaan STL. Jadi Sound Transmission Loss dapat dihitung dengan Persamaan. (10) di bawah ini

$$STL = 20 \log \left| \frac{e^{jks} - H_{12}}{e^{jks} - H_{34}} \right| - 20 \log \sqrt{|S_d/S_u|} \quad (10)[13]$$

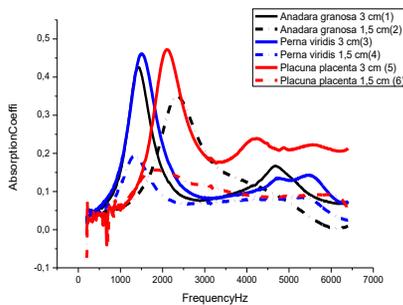
dimana  $s = |x_1 - x_2| = |x_3 - x_4|$ ;  $H_{12} = p_2/p_1$  adalah fungsi transfer tekanan suara pada posisi 1 dan 2;  $H_{34} = p_4/p_3$  adalah fungsi transfer tekanan suara pada posisi 3 dan 4;  $S_d/S_u$  adalah rasio antara spektrum otomatis pada tabung upstream dan downstream [13,15]



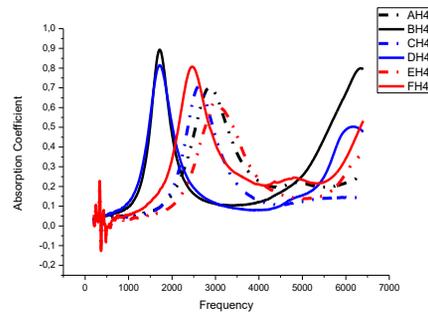
**Gambar 3.3.** Bagian Tabung Impedansi untuk Uji Kehilangan Transmisi Suara dengan empat mikrofon (17)

### 3.7 Hasil Dan Pembahasan

#### 3.7.1 Koefisien Absorpsi Suara



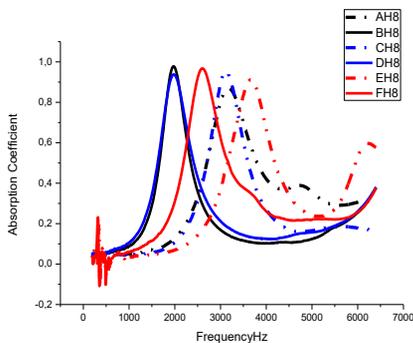
**Gambar 3.4.** Koefisien penyerapan komposit kerang tanpa perlakuan[13]



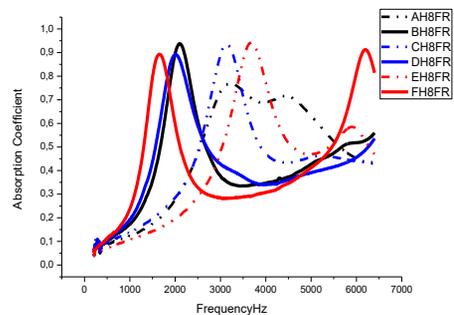
**Gambar 3.5.** Koefisien penyerapan cangkang komposit dengan 4 resonator[13]

Gambar 3.4. menjelaskan bahwa komposit cangkang kerang dengan ketebalan 30 mm memiliki kinerja koefisien penyerapan yang lebih baik dibandingkan dengan yang memiliki ketebalan 15 mm. Pada komposit cangkang kerang yang memiliki ketebalan 30 mm, cangkang Placuna plasenta memiliki frekuensi broadband yang lebih luas daripada kedua cangkang lainnya[13]. Pada komposit cangkang kerang dibuat 4 lubang resonator yang dapat menyebabkan seperempat panjang gelombang dalam meningkatkan nilai koefisien absorpsi pada frekuensi tinggi, terutama pada komposit

cangkang kerang yang terbuat dari tepung cangkang *Anadara granosa* dan *Perna viridis*[13]. Keberadaan 4 lubang resonator pada komposit cangkang kerang telah meningkatkan kinerja penyerapan yang awalnya memiliki nilai di bawah 0,1 menjadi di atas 0,1 (lihat gambar 3.4. dan 3.5.). Gambar 3.6. mengilustrasikan bahwa penambahan 8 lubang resonator pada komposit cangkang kerang dapat meningkatkan nilai penyerapan hingga hampir 1,0[13]. Dalam perlakuan ini, penyerapan komposit cangkang kerang dengan ketebalan 15 mm juga meningkat hingga 0,9 pada rentang frekuensi 3,0 - 3,7 kHz. Fenomena ini disebabkan oleh proses peredaman yang terjadi di lubang resonator ketika energi suara melewati struktur material tersebut (lihat gambar 3.6. dan Gambar 3.7.)[13].



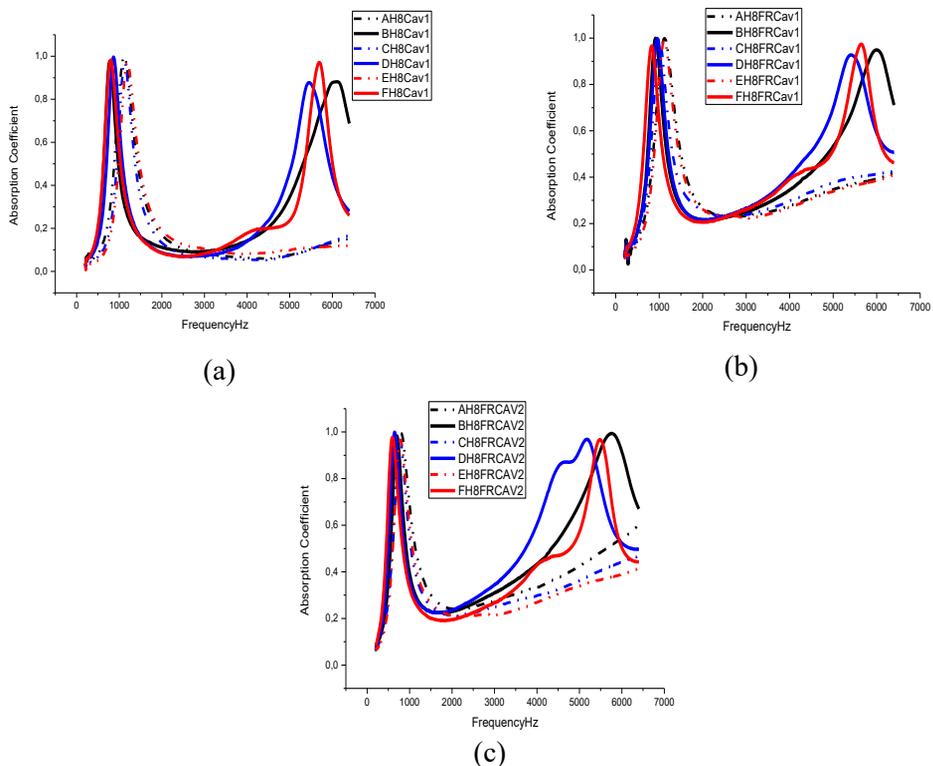
**Gambar 3.6.** Koefisien penyerapan cangkang komposit dengan 8 resonator[13]



**Gambar 3.7.** Koefisien penyerapan cangkang komposit dengan FR (Fibrous Layers)[13]

Kinerja akustik komposit cangkang kerang yang berbahan dasar dari tepung *Placuna plasenta* mengalami penggeseran setelah diberikan Penambahan lapisan berserat pada struktur material[13]. Di sisi lain, komposit cangkang kerang yang terbuat dari tepung *Anadara granosa* dan tepung *Perna viridis* juga telah bergeser ke frekuensi yang lebih tinggi daripada sebelumnya[13]. Hal ini terjadi karena morfologi permukaan *Plasenta plasenta* lebih lunak sedangkan *Anadara granosa* dan *Perna viridis* memiliki morfologi permukaan yang lebih kasar. Penambahan lapisan berserat tidak hanya menggeser

kinerja penyerapan ke frekuensi yang lebih rendah daripada sebelumnya, tetapi juga telah menyebabkan nilai penyerapan meningkat sebagian besar di atas frekuensi 0,2 hingga 1000 Hz (gambar 3.6). Berbeda dengan komposit cangkang kerang yang memiliki ketebalan 30 mm, bahan yang memiliki komposit cangkang setebal 15 mm yang terbuat dari *Placuna placenta* Linn memiliki kinerja penyerapan yang lebih baik pada frekuensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposit cangkang kerang yang terbuat dari tepung *Anadara granosa* dan *Perna viridis*[13]. Hal ini disebabkan oleh perilaku penyerapan bahan tipis memiliki kinerja yang baik pada frekuensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang memiliki bahan tebal.



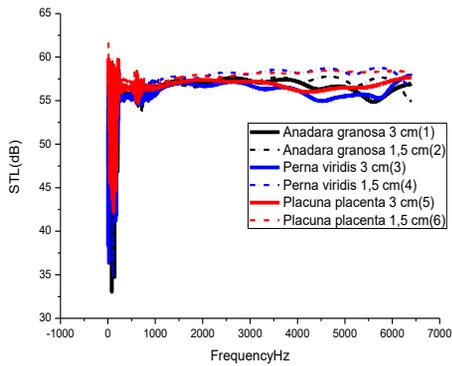
**Gambar 3.8.** (a) Koefisien penyerapan cangkang komposit : rongga 10 mm, (b) lapisan berserat dan rongga 10 mm, (c) lapisan berserat dan rongga 20 mm[13]

Penambahan rongga setebal 10 mm telah menghasilkan fenomena berupa kinerja gelombang suara yang berbeda dengan penambahan lapisan berserat ke struktur material. Selain adanya penambahan rongga setebal 10 mm, kinerja penyerapan telah bergeser ke frekuensi yang lebih rendah sekitar 1000 Hz dengan rentang frekuensi gelombang suara yang lebih sempit daripada dengan adanya penambahan lapisan berserat (lihat gambar 3.7.) [18][19]. Sementara itu penambahan lapisan berserat yang berpasangan dan berongga dapat meningkatkan nilai koefisien absorpsi sebagian besar komposit di atas 0,2 pada frekuensi rendah dan frekuensi tinggi masing-masing sekitar 1000 Hz dan 4000-5000 Hz [20][21].

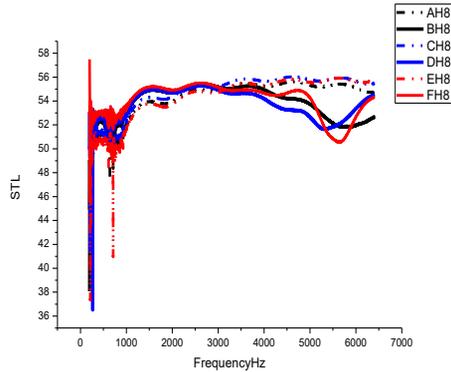
Gambar 3.8. (a) dan (b) menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan. Dalam struktur berpasangan yang terdiri dari resonator 8 lubang dan rongga setebal 10 mm, terdapat perbedaan zona frekuensi rendah antara komposit cangkang setebal 30 mm dan 15 mm. Namun, penambahan lapisan berserat ke struktur berpasangan telah mampu menggeser kinerja penyerapan komposit setebal 15 mm ke frekuensi yang lebih rendah, sehingga bertepatan dengan kinerja penyerapan komposit dengan tebal 30 mm (gambar 3.8. (b)). Selain itu, struktur material ini juga mampu meningkatkan semua nilai koefisien penyerapan di atas 0,2 dengan frekuensi awal 550 Hz. Kesimpulannya, struktur material ini dapat dikategorikan sebagai penyerap yang baik. Gambar 3.8. (c) menjelaskan bahwa ekspansi rongga setebal 20 mm telah membuat komposit cangkang kerang yang memiliki pori-pori besar dapat menyerap suara secara efektif [22][23].

### **3.7.2 Sound Transmission Loss (STL)**

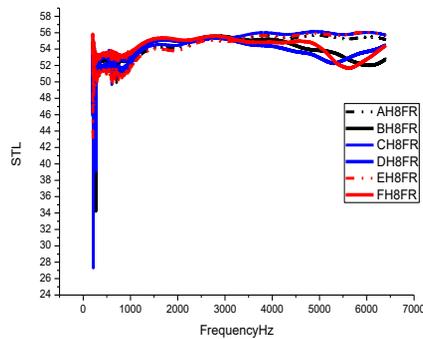
Material Sound Transmission Loss (STL) terlihat stabil pada 55-58 dB dalam struktur material SFRP tanpa perlakuan (Gambar 3.9.). Dalam perlakuan resonator 8 lubang, kemampuan material yang kehilangan transmisi terlihat menurun pada 51-55 dB. Hal ini terjadi karena terdapat fenomena berupa setengah panjang gelombang yang mentransmisikan suara ke permukaan yang berlawanan (Gambar 3.10).



**Gambar 3.9.** STL SFRP tanpa perlakuan[13]



**Gambar 3.10.** STL SFRP dengan 8 lubang resonator[13]



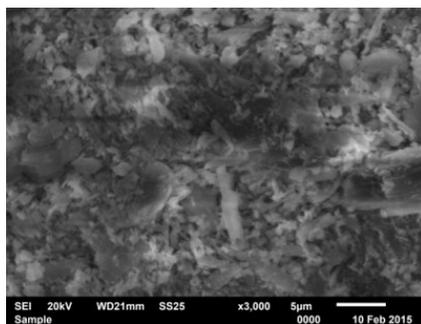
**Gambar 3.11.** STL SFRP dengan kombinasi resonator dan lapisan serat[13]

Sementara itu dalam perlakuan gabungan antara penambahan resonator dan lapisan berserat, kemampuan transmisi material Loss sedikit meningkat menjadi 52-56 dB. Namun, nilai besarnya masih di bawah kemampuan bahan tanpa perlakuan; karena setengah panjang gelombang dapat menembus material ke permukaan yang berlawanan, tetapi kemudian terhalang oleh lapisan berserat, meskipun lapisan masih dapat mentransmisikan beberapa gelombang suara dengan arah yang berkelanjutan tetapi dalam jumlah yang lebih sedikit. Perbedaan ketebalan material memiliki efek yang signifikan dalam fenomena Sound Transmission Loss pada komposit cangkang kerang. Komposit cangkang kerang dengan ketebalan 15 mm memiliki kinerja

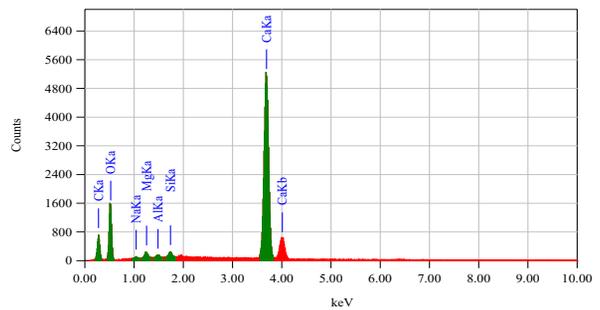
Transmission Loss yang lebih baik dibandingkan dengan cangkang kerang dengan ketebalan 30 mm. Hal ini disebabkan karena proses transmisi lebih cepat menghilang pada panel dengan ketebalan yang lebih tipis daripada pada panel yang memiliki ketebalan lebih tebal. Panel yang lebih tebal akan menyimpan energi suara lebih lama dari panel yang lebih tipis.

### 3.7.3 Morfologi Permukaan

Morfologi permukaan dalam penelitian ini bergantung pada hasil perbesaran Scanning Electron Microscope dari ketiga tepung cangkang kerang.



(a)

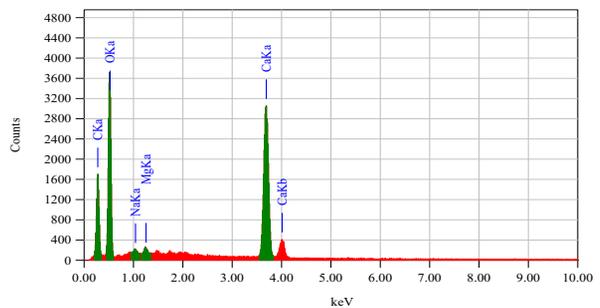


(b)

**Gambar 3.12.** (a) 3000x perbesaran SEM Anadara granosa Linn flour (b) EDX Anadara granosa Linn[13]



(a)



(b)

**Gambar 3.13.** (a) 3000x perbesaran SEM Perna viridis Linn flour (b) EDX Perna viridis Linn[13]



koefisien serapan sekitar 0,25; 0,29 dan 0,35 masing-masing untuk *Placuna placenta* Linn, *Perna viridis* Linn dan *Anadara granosa* Linn[13]. Komposit cangkang kerang dengan perlakuan yang diberikan 4 lubang pada ketebalan 30 mm memiliki koefisien serapan 0,83, frekuensi serapan tertinggi masing-masing pada rentang 1700 Hz pada komposit cangkang kerang *Perna viridis* Linn dan 2500 Hz untuk komposit dengan pengisi *Placuna placenta* Linn, dan koefisien penyerapan 0,9 dengan tertinggi penyerapan frekuensi 1700 Hz pada komposit cangkang kerang *Anadara granosa* Linn. Pada ketebalan 15 mm, koefisien absorpsi sekitar 0,7 pada komposit cangkang kerang *Perna viridis* Linn dan *Anadara granosa* Linn, dan 0,62 pada komposit cangkang kerang *Placuna placenta* Linn[13].

Perlakuan komposit dengan 8 lubang dan memiliki ketebalan 30 mm, koefisien serapan sebesar 0,97 pada *Placuna placenta* Linn dengan frekuensi penyerapan tertinggi pada 2600 Hz dan pada *Anadara granosa* Linn dengan frekuensi penyerapan tertinggi pada 2000 Hz, serta 0,92 koefisien penyerapan *Perna viridis* Linn dengan frekuensi penyerapan tertinggi pada 2000Hz[13]. Di sisi lain, pada ketebalan 15 mm, koefisien penyerapan sekitar 0,84; 0,92; 0,90 untuk setiap komposit dengan bahan pengisi dari *Placuna placenta* Linn, *Perna viridis* Linn, dan *Anadara granosa* Linn. Analisis Sound Absorption Loss dari setiap komposit dengan ketebalan 30 mm menunjukkan nilai STL 54,5 dB pada *Placuna placenta* Linn ; 54.0 dB pada *Perna viridis* Linn; 53,5 dB, pada *Anadara granosa* Linn. Di sisi lain, komposit dengan ketebalan 15 mm memiliki nilai STL 58 dB; 57,5dB; 56 dB untuk masing-masing pengisi *Placuna placenta* Linn, *Perna viridis* Linn, dan *Anadara granosa* Linn[13]. Di mana penyerapan suara mulai stabil dari rentang frekuensi 500 Hz, terlihat bahwa komposit dengan pengisi *Placuna placenta* Linn adalah yang paling stabil dibandingkan dengan pengisi cangkang kerang lainnya. Dari analisis Koefisien Penyerapan Suara, perlakuan pada uji komposit dengan menambahkan lubang resonator juga akan meningkatkan nilai koefisien penyerapan suara. Komposit dengan perlakuan 8 lubang resonator memiliki nilai koefisien penyerapan suara tertinggi.

Komposit dengan pengisi Plasenta plasenta Linn, dengan perlakuan 8 lubang dan ketebalan 30 mm, memiliki nilai koefisien tertinggi (0,97) yang tidak jauh berbeda dengan pengisi Plasenta plasenta Linn yang memiliki ketebalan 15 mm (0,9)[13]. Hal ini sebanding dengan analisis SEM yang menunjukkan bahwa Placuna placenta Linn memiliki pori-pori yang relatif kecil, teratur dan padat dibandingkan dengan dua jenis cangkang kerang lainnya, dan pori-pori yang lebih kecil, lebih teratur, dan lebih padat, serta volume penyerapan suara yang lebih tinggi (Gambar 3.12 – 3.14).

Di sisi lain, analisis Sound Transmission Loss menunjukkan bahwa komposit dengan pengisi Plasenta Linn memiliki nilai STL tertinggi dibandingkan dengan jenis kerang lainnya. Komposit dengan pengisi Placuna placenta Linn dengan ketebalan 30 mm memiliki nilai STL 54,5 dB dan 58 dB untuk ketebalan 15 mm. Ini menunjukkan bahwa komposit dengan ketebalan 15 mm memiliki kemampuan yang baik dalam meredam suara. Dari analisis ini, dapat dilihat bahwa Placuna placenta Lynn memiliki kemampuan penyerapan suara terbaik dibandingkan dengan komposit kerang lainnya.

### 3.7.4 Analisa Oksida Cangkang Kerang

Pada pengujian EDX oxide menunjukkan bagaimana persentase elemen yang terkandung dalam tepung kerang. Dalam sejumlah penelitian, kinerja suatu material dipengaruhi oleh kandungan oksida yang terkandung di dalamnya[13].

Tabel III.3. Analisis Oksida Anadara granosa Linn[13]

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis(Oxide)								
Fitting Coefficient : 0.0461								
Total Oxide : 24.0								
Element	(keV)	Mass%	Sigma	Mol%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	27.39	0.28	63.73	C	27.39	0.00	19.4096
O		21.56						
Na K	1.041	0.51	0.07	0.31	Na <sub>2</sub> O	0.68	0.39	0.4637
Mg K	1.253	1.16	0.10	1.33	MgO	1.92	0.85	0.9738
Al K	1.486	0.43	0.07	0.22	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.81	0.28	0.4384
Si K	1.739	0.95	0.10	0.94	SiO <sub>2</sub>	2.03	0.60	1.1864
Ca K	3.690	48.00	0.41	33.47	CaO	67.16	21.33	77.5281
Total		100.00		100.00		100.00	23.45	

Tabel III.4. Analisis Oksida dari Perna viridis Linn[13]

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis(Oxide)								
Fitting Coefficient : 0.0529								
Total Oxide : 24.0								
Element	(keV)	Mass%	Sigma	Mol%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	55.36	0.06	85.16	C	55.36	0.00	50.3256
O		12.85						
Na K	1.041	0.95	0.07	0.38	Na <sub>2</sub> O	1.28	1.23	0.9602
Mg K	1.253	0.80	0.07	0.61	MgO	1.32	0.98	0.7217
Ca K	3.690	30.05	0.15	13.85	CaO	42.04	22.40	47.9925
Total		100.00		100.00		100.00	24.62	

Tabel III.5. Analisis Oksida dari Placuna placenta Linn[13]

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis(Oxide)								
Fitting Coefficient : 0.0444								
Total Oxide : 24.0								
Element	(keV)	Mass%	Sigma	Mol%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	93.56	0.29	98.86	C	93.56	0.00	92.3207
O		0.90						
Na K	1.041	0.31	0.03	0.09	Na <sub>2</sub> O	0.42	5.74	0.3604
Mg K	1.253	0.13	0.03	0.07	MgO	0.21	2.23	0.1271
Cl K	2.621	1.40	0.03	0.50	Cl	1.40	0.00	2.2266
K K	3.312	2.54	0.06	0.41	K <sub>2</sub> O	3.06	27.72	3.5238
Pt M	2.048	1.15	0.07	0.08	PtO <sub>2</sub>	1.34	2.52	1.4414
Total		100.00		100.00		100.00	38.21	

Komposisi masing-masing cangkang dari analisis pengujian EDX oksida dapat dilihat pada Tabel III.3., III.4. dan III.5. di atas. Placuna plasenta diidentifikasi memiliki kandungan massa karbon dominan sebesar 93,56% (lihat tabel III.4.), sedangkan Perna viridis Linn memiliki kandungan massa karbon dominan sebesar 55,36% dan massa Kalsium oksida sebesar 42,04% (lihat tabel III.3.), sedangkan Anadara granosa memiliki massa kalsium oksida dominan sebesar 67,16% dan massa karbon sebesar 27,39% (lihat tabel III.3.). Kandungan karbon dalam pengujian kerang memiliki kemampuan dalam penyerap suara pada rentang tertentu. kandungan karbon dalam cangkang kerang dapat meningkatkan penyerapan suara disamping ketersediaan pori-pori pada komposit. Placuna plasenta memiliki massa karbon tertinggi dibandingkan dengan cangkang lainnya, hal ini menunjukkan bahwa kemampuan penyerapan Placuna plasenta adalah yang terbaik dibandingkan dengan cangkang kerang lainnya

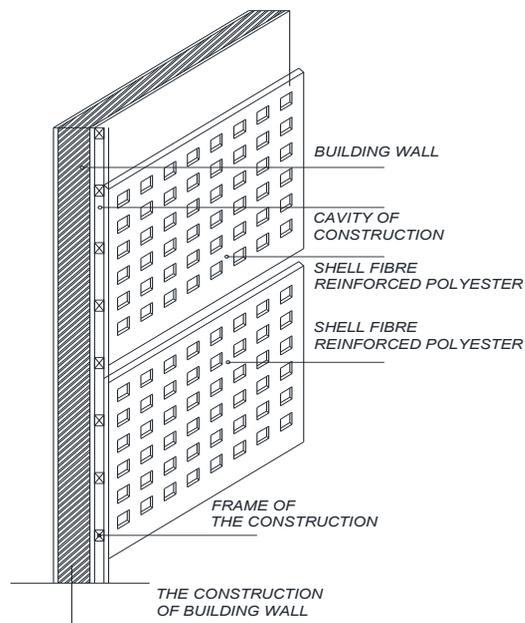
[24,25]. Alasan ini diperkuat oleh analisis Koefisien Penyerapan Suara yang menunjukkan bahwa Placuna plasenta memiliki penyerapan suara terbaik dibandingkan cangkang kerang yang lainnya. Dari analisis pengujian EDX oksida, dapat dilihat bahwa Anadara granosa Linn memiliki kandungan massa kalsium terbanyak, dalam bentuk kalsium oksida (lihat tabel III.3.), dibandingkan dengan cangkang kerang yang lain. Kandungan kalsium oksida dan kekerasan material membuat daya insulasi jenis cangkang kerang ini cukup baik. Seperti yang terlihat pada uji Sound Transmission Loss, komposit yang terbuat dari Anadara granosa memiliki nilai tertinggi dibandingkan yang lain [26–30]. Aplikasi pada bangunan biasanya menggunakan konsep fasad lapisan berganda. Penelitian panel absorber dalam bentuk panel berlubang telah dibahas oleh Sakagami, K dan Morimoto, M (2008).



**Gambar. 3.15** SFRP dengan pola wafel untuk material akustik [13]



**Gambar 3.16.** SFRP untuk material dinding akustik[13]



**Gambar 3.17** Double skin construction design dengan material FRP cangkang kerang[13]

Gambar 3.15. Bahan akustik dengan pola wafel dari kerang; gambar 3.16. Varian lain dari bahan akustik dengan tekstur permukaan polos. Sementara itu, Mirip dengan penelitian Sakagami dan Morimoto, peredam panel ini diaplikasikan pada interior dan didukung oleh rongga udara. Namun, di lapangan pengaplikasian panel ini kemudian diperkuat dengan bingkai aluminium agar bisa berdiri tegak [31]. Keuntungan dari konstruksi fasad lapisan berganda adalah dapat mengantisipasi bangunan terhadap gangguan termal dan kebisingan. Berikut adalah contoh pengaplikasian pada bangunan dengan menggunakan penyerap diffuser dengan pengisi kerang yang diperkuat poliester tak jenuh dengan pola wafel untuk interior bangunan.

### **3.8 Kesimpulan**

Penelitian ini telah menghasilkan beberapa kesimpulan yang berkaitan dengan kinerja akustik dan efek perlakuan pada peningkatan isolasi suara dalam struktur material komposit kerang yang akan dijelaskan di bawah ini:

1. Dalam peningkatan penyerapan suara, ditemukan bahwa penambahan resonator dan lapisan berserat dalam struktur material secara efektif meningkatkan kinerja akustik pada frekuensi rendah bahkan dalam rentang frekuensi yang sempit.
2. Penambahan kombinasi resonator, lapisan berserat dan rongga telah memberikan efek positif dalam meningkatkan penyerapan suara pada frekuensi tinggi dengan rentang frekuensi yang luas. Selain itu, kombinasi ketiganya juga mempengaruhi peningkatan nilai penyerapan suara sebagian besar di atas 0,2 pada frekuensi di atas 2000 Hz.
3. Dalam kombinasi dengan penambahan struktur material dengan resonator, lapisan berserat dan rongga, ditemukan bahwa komposit cangkang kerang dengan ketebalan 30 mm memiliki kinerja akustik yang lebih baik pada frekuensi tinggi dibandingkan dengan komposit cangkang dengan ketebala 15 mm.

4. Pada pengamatan uji Sound Transmission Loss, penambahan lubang resonator akan menurunkan kinerja transmisi struktur material karena proses perambatan setengah panjang gelombang yang terjadi akan dengan cepat ditransmisikan ke permukaan yang berlawanan.
5. Komposit cangkang kerang dengan ketebalan 15 mm memiliki kinerja Sound Transmission Loss yang lebih baik dibandingkan dengan komposit cangkang kerang yang memiliki ketebalan 30 mm karena proses transmisi lebih cepat teredam pada panel dengan permukaan yang lebih tipis daripada panel yang memiliki permukaan tebal. Panel dengan permukaan tebal akan menyimpan gelombang suara lebih lama daripada panel tipis.
6. Komposit pengisi Placuna plasenta Linn dengan perlakuan 8 lubang dan ketebalan 30 mm memiliki nilai koefisien tertinggi yaitu sebesar 0,97, hasil ini tidak jauh berbeda dengan pengisi Placuna plasenta Linn yang memiliki ketebalan 15 mm. Ini sebanding dengan analisis SEM yang menunjukkan bahwa Placuna placenta Lynn memiliki pori-pori yang relatif kecil, teratur dan padat dibandingkan dengan dua jenis cangkang lainnya.
7. Komposit dengan pengisi Placuna plasenta Lynn yang memiliki ketebalan 30 mm memiliki nilai STL 54,5 dB dan 58dB untuk komposit dengan ketebalan 15 mm. Hal ini menunjukkan bahwa komposit yang memiliki ketebalan 15 mm memiliki kemampuan yang baik dalam meredam suara.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] LEE F-C, CHEN W-H. Acoustic Transmission Analysis of Multi-Layer Absorbers. *J Sound Vib.* 2001;248(4):621–34.
- [2] Bravo T, Maury C, Pinhède C. Absorption and transmission of boundary layer noise through flexible multi-layer micro-perforated structures. *J Sound Vib*
- [3] Takahashi Y, Otsuru T, Tomiku R. In situ measurements of surface impedance and absorption coefficients of porous materials using two microphones and ambient noise. *Appl Acoust.* 2005;66(7):845–65.
- [4] Odusanya AA, Bolasodun B, Madueke CI. Property Evaluation of Sea shell Filler Reinforced Unsaturated Polyester Composite. 2014;5(11):1343–9.

- [5] Fombuena V, Bernardi L, Fenollar O, Boronat T, Balart R. Characterization of green composites from biobased epoxy matrices and bio-fillers derived from seashell wastes. *J Mater* [Internet]. 2014;57:168–74.
- [6] Yahya I, Kusuma JI, Kristiani, Harjana R, Hanina R. Laboratory investigation on the role of tubular shaped micro resonators phononic crystal insertion on the absorption coefficient of profiled sound absorber [Internet]. Vol. 107, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. p. 12046.
- [7] Yahya I. New Sound Absorption Improvement Strategy for Qrd Element. *Int Congr Sound Vib*. 2013;(July):7–11.
- [8] Vigran TE. Normal incidence sound transmission loss in impedance tube - Measurement and prediction methods using perforated plates. *Appl Acoust*. 2012;73(4):454–9.
- [9] Meng H, Galland MA, Ichchou M, Bareille O, Xin FX, Lu TJ. Small perforations in corrugated sandwich panel significantly enhance low frequency sound absorption and transmission loss. 2017;182:1–11.
- [10] Kar T, Sharma PPR, Munjal ML. Analysis of multiple-duct variable area perforated tube resonators. *Int J Acoust Vib*. 2006;11(1):19–26.
- [11] Ayub M, Hosseini Fouladi M, Ghassem M, Mohd Nor MJ, Najafabadi HS, Amin N, et al. Analysis on multiple perforated plate sound absorber made of coir fiber. *Int J Acoust Vib*. 2014;19(3):203–11.
- [12] Kidner MRF, Hansen CH. A compARison and review of theories of the acoustics of porous materials. *Int J Acoust Vib*. 2008;13(3):112–9.
- [13] Setyowati, E.; Hardiman, G.; Budihardjo, M.A. On the Role of Acoustical Improvement and Surface Morphology of Seashell Composite Panel for Interior Applications in Buildings. *Buildings* 2019, 9, 71.[CrossRef]
- [14] 1050-98 AE. ASTM E 1050-98, Standard test method for Impedance and absorption of acoustical materials using tube two microphones and digital frequency analysis system. 1998.
- [15] Tenenbaum RA, Magalha MBS. A new time domain approach to evaluate transmission loss in layered partitions. (1):68503.
- [16] Yahya I, Kristiani R, Muqowi E. Sound Insulation and Absorption Properties of Reclaimed Waste Tire Rubber. 2014;(September).
- [17] 2611-09 AE. ASTM E 2611-09 Standard Test Method for Measurement of Normal Incidence Sound Transmission of Acoustical Materials Based on the Transfer Matrix Method. 2009.
- [18] Lee FC, Chen W. ACOUSTIC TRANSMISSION ANALYSIS OF MULTI-LAYER. *J Sound Vib*. 2001;248:621–34.
- [19] Chen L, Liang X, Yi H. Vibro-acoustic characteristics of cylindrical shells with complex acoustic boundary conditions. *Ocean Eng* [Internet]. 2016;126:12–21.
- [20] Preliminary laboratory testing on the sound absorption of coupled cavity sonic crystal.pdf.
- [21] Romadhona IC, Yahya I, Harjana, Ubaidillah. On the Use of Coupled Cavity Helmholtz Resonator Inclusion for Improving Absorption Performance of Wooden Sound Diffuser Element. Vol. 170, *Procedia Engineering*. 2017. p. 458–62.
- [22] Li Z, Crocker MJ. A Review on Vibration Damping in Sandwich Composite Structures. *Int J Acoust Vib*. 2005;10(4):159–69.
- [23] Arenas JP. On the vibration analysis of rectangular clamped plates using the virtual work principle. *J Sound Vib*. 2003;266(4):912–8.
- [24] Erni S, Gagoek H, Purwanto K. Green concrete made of oyster shell waste to support green building material. *J Teknol*. 2016;78(5):203–7.
- [25] Setyowati E, Hardiman G. The Acoustical Performances of Oyster Shell Waste Based Green Concrete Materials. *GSTF J Eng Technol* [Internet]. 2015 [cited 2016 Apr 8];3(3):1–6.

- [26] Cybulska J, Pieczywek PM, Zdunek A. The effect of Ca<sup>2+</sup> and cellular structure on apple firmness and acoustic emission. *Eur Food Res Technol.* 2012;235(1):119–28.
- [27] Bechwati F, Avis M, Bull D, Cox T, Hargreaves J, Moser D, et al. Low frequency sound propagation in activated carbon. 2012;132(July 2012):239–48.
- [28] Jalili MM, Mousavi SY, Pirayeshfar AS. Investigating the acoustical properties of carbon fiber-, glass fiber-, and hemp fiber-reinforced polyester composites. *Polym Compos.* 2014;35(11):2103–11.
- [29] Raju KM, College BBPG, Pradesh U. Acoustic study of calcium oxide. 2015;2(1):43–8.
- [30] Zander AC, Howard CQ, Cazzolato BS, Vesselin N, Alvarez NT, Huang DM. Acoustic absorption behaviour of carbon nanotube arrays. *Internoise 2014.* 2014;(16):1–10.
- [31] Sakagami K, Morimoto M, Yairi M. Application of microperforated panel absorbers to room interior surfaces. *Int J Acoust Vib.* 2008;13(3):120–4.

## **BAB 4**

### **MATERIAL KOMPOSIT DARI BAHAN RAMI DAN SERAT NANAS**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengamati kinerja akustik dengan menggunakan resin poliester yang diperkuat dengan serat biomassa berbasis absorber kemudian dilakukan pengujian secara eksperimental terkait dengan rongga/lubang resonator, rongga yang memiliki bagian dalam berupa celah sempit. Model electroacoustics-resonator dan beberapa perlakuan dikembangkan dan menjadi dasar untuk memahami perubahan reaktansi akustik dalam struktur baru. Variasi rongga inklusi dan penambahan celah sempit diuji secara eksperimental dengan teknik tabung impedansi berdasarkan ASTM E1050-98 dan ASTM E2611-09. Peningkatan kinerja akustik dilakukan oleh adanya rongga tunggal maupun banyak rongga dengan adanya penambahan lapisan serat dacron serta rongga belakang.

#### **4.1 Pendahuluan**

Pada ilmu arsitektur, penerapan penggunaan bahan akustik pada bangunan sangat diperlukan untuk mendapatkan kriteria kinerja bangunan yang baik. Minimnya ketersediaan material akustik pada bangunan dapat berakibat pada cacat akustik yakni akan berpengaruh pada kenyamanan audial pengguna bangunan tersebut. Banyak peneliti telah mengusulkan teknik dan metode mengenai bagaimana membuat material akustik guna meningkatkan perilaku material akustik tersebut. Dalam penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, kemampuan panel enceng gondok dan serabut kelapa telah dilakukan perbandingan [1]. Dalam penelitian ini, serat-serat alami tersebut ditimbang dengan berat 25 gram kemudian dicampurkan dengan 200 ml serat poliester serta 20 ml katalis. Sampel kemudian diberikan perlakuan dengan sejumlah resonator, diberikan tambahan berupa lapisan fibrosa dan rongga spasi. Peredaman akibat gesekan material terhadap resonator menyebabkan material serat serabut kelapa yang memiliki resonator panjang gelombang sebesar 8 seperempat dan lapisannya yang

berserat, kinerjanya dalam menyerap suara sangat baik yakni meningkat dari lebar frekuensi broadband sebesar 1,5 kHz pada 0,7.

Sedangkan keberadaan rongga pada material memberikan efek yang sama pada seluruh sampel uji yang diakibatkan dari mekanisme resonansi Helmholtz. Hampir mirip dengan penelitian yang dilakukan ini, sebuah studi perbandingan dilakukan guna mengamati panel penyerap kepadatan rendah yang terbuat dari sabut kelapa dan serbuk gergaji kayu. Kedua material tersebut dikomposisikan dengan katalis berupa metil etil peroksida dan ditambahkan lem epoksi sebagai pelentur tanpa dilakukan perawatan apa pun [2]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa panel serat sabut kelapa memiliki kinerja yang lebih baik dalam frekuensi yang lebih rendah daripada serbuk gergaji kayu yang memiliki koefisien 0,50 - 0,95 pada 1-2 kHz. Peran polimer sintetis aditif sebagai bahan pelentur dalam komposit serat alami sangat penting untuk membuat daya tahan yang lebih baik dan untuk meningkatkan kekuatan mekanik. Meskipun polimer sintetis seperti resin epoksi tidak lebih baik kinerjanya daripada polimer alami, penelitian telah membuktikan bahwa polimer sintetis sebagai pelentur pada bahan komposit dan proses perawatannya dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja penyerapan suara secara signifikan. Oleh karena itu, banyak ilmuwan telah melakukan penelitian mengenai material akustik serat alami yang dikomposisikan dengan polimer sintetis dan menggabungkannya dengan banyak perawatan sebagai upaya untuk meningkatkan koefisien penyerapan suara dan kehilangan transmisi.

Penelitian lebih lanjut mengenai material komposit serat biomassa dan perawatannya yang telah dilakukan oleh Lim, et.al (2018) dengan mengamati perilaku penyerapan suara material komposit serat kenaf [3]. Hasil umum ketika sampel serat kenaf dipelajari dalam kejadian suara normal dan spasmodik adalah koefisien penyerapan meningkat secara signifikan dengan meningkatnya kepadatan dan ketebalan material. Kinerja terbaik pada penelitian ini adalah bahwa koefisien penyerapan sampel serat

kenaf mencapai di atas 0,5 dari 0,5 Hz dan memiliki nilai puncak rata-rata di 0,85 di atas 1,5 kHz. Penelitian ini juga telah menghasilkan bahwa celah udara tambahan dapat menggeser penyerapan suara ke frekuensi pita yang lebih rendah. Adapun, penelitian yang telah dilakukan oleh Fouladi, et al. (2011) dengan menggunakan model Delaney-Bazley dan Biot-Allard untuk membandingkan kemampuan dumping suara antara sabut kelapa pasar lokal dan sabut kelapa terikat yang dibuat oleh industri [4]. Peningkatan penyerapan suara yang didapatkan dan frekuensi dialihkan ke band-bawah dari 1,36 kHz ke 578 Hz karena peningkatan ketebalan spesimen dari 0,20 cm menjadi 0,45 cm. Hemps et al. (2014) menghasilkan formulasi untuk memprediksi dan mensimulasikan model sistem akustik untuk tujuan prakiraan akustik [5]. Penelitian ini secara empiris merumuskan prediksi penyerapan serat sabut kelapa yang dapat diaplikasikan pada serat alami lainnya. Meskipun tercatat bahwa ada berbagai jenis serat kelapa, prosedur ini diuji secara efektif untuk sampel termasuk melakukan impedansi dan pengukuran ketahanan aliran udara.

#### **4.2 Hemp, Kenaf, sabut kelapa dan bahan lain sebagai serat biomassa pada material akustik**

Banyak penelitian mengamati karakteristik akustik serat biomassa [6]–[14]. Sebuah studi oleh Tang, et.al (2018) mengamati kinerja redaman suara serat kulit jagung sebagai serat alami dalam topik bahan akustik. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah prosedur tabung impedansi mengacu pada ASTM 1050 yang dilengkapi dengan Sistem Analisis Frekuensi Digital untuk uji penyerapan suara dan Tester Kekuatan Kain instrumen HD026N-300 Hongda untuk uji sifat mekanik. Studi ini menyimpulkan bahwa peningkatan lapisan menyebabkan kinerja redaman bergeser dalam frekuensi yang lebih rendah, sementara peningkatan jarak rongga udara juga bisa berpengaruh terhadap kemampuan penyerapan suara ke frekuensi yang lebih rendah [6]. Penelitian selanjutnya adalah studi yang dilakukan oleh Piegay, et.al (2018) [7] yang mempelajari mengenai wol vegetal yang memiliki sifat akustik dan

insulasi untuk dapat diaplikasikan pada bangunan. Sifat akustik serat alami dipengaruhi oleh variabel dimensi yang terkandung pada penyusun serat tersebut. Model akustik telah dikembangkan untuk bahan berserat homogen konvensional. Dalam makalah ini, model mempertimbangkan dua jenis serat (vegetal dan polimer) berdasarkan pendekatan komposit Tarnow diusulkan untuk mengoptimalkan kinerja akustik bahan serat alami dengan membandingkan kinerja serat hemp and flaxs. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model akustik berbahan kedua material tersebut dapat digunakan untuk memprediksi kinerja redaman pada serat polimer dan untuk mengoptimalkan redaman suara pada serat biomassa [7].

Masih dalam studi komparatif, Janusevicius, et.al (2016) [15] mengamati tiga jenis dinding, bata, jerami yang dipress dan alang-alang pada indeks reduksi suara dengan mengukur material tersebut di ruang anechoic dengan metode simulasi. Diposisikan sejajar dengan transmisi sumber suara, material tersebut terisolasi dengan tepat dalam frekuensi rendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bata dengan ketebalan 20 mm dapat mencapai Indeks Pengurangan Suara mencapai 43dB [15]. Penelitian lain oleh Othmani, et.al (2016) juga mengamati bahan berbasis limbah tumbuhan. Pembakaran limbah tebu menyebabkan polusi lingkungan. Penelitian ini menyelidiki resistivitas dan penyerapan suara bahan yang terbuat dari limbah tebu [8] yang meliputi tiga variabel, ketebalan, ukuran serat dan konten polimer sebagai pengikat. Akhir penelitian mengungkapkan bahwa hasil percobaan setuju dengan yang ada dalam tinjauan teoritik. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa semakin kecil ukuran serat, semakin tinggi koefisien absorpsi, sedangkan semakin sedikit konten polimer menyebabkan semakin tinggi resistivitas dan semakin rendah koefisien absorpsi [8].

Kombinasi antara limbah serat sabut dan kertas parut sebagai limbah dari kantor, direkatkan dengan gypsum kedalam empat cetakan campuran proporsional 50 x 50 x 1,2 cm<sup>3</sup>, dilakukan pengamatan oleh Ismail, et.al (2015) [9]. Dengan menggunakan ruang gema berdasarkan standar ISO 354-1985, penelitian ini

mengamati empat sampel. Hasil memverifikasi bahwa sampel dengan bubuk sabut 25% dan kertas parut 75% memiliki koefisien penyerapan suara tertinggi karena ketersediaan ruang kosong yang lebih sedikit yang terdapat pada panel. Dua serat biomassa dari Date Palm Fiber (DPF) dan Coconut Coir Fiber (CCF) dibandingkan dengan Acoustictorption Coefficient (AAC), dilakukan pengamatan oleh Al Rahman, et.al (2013) [16]. Untuk mengamati pengaruh variabel kepadatan dan ketebalan terhadap kinerja penyerapan suara, penelitian ini menggunakan tabung impedansi pada keadaan normal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa DPF memiliki puncak koefisien penyerapan 0,98-0,99 di 1381.25-1506,25 Hz dan 4521,88-4906,25 Hz, sedangkan CCF memiliki kisaran puncaknya 0,71-0,77 di 2434.38-2543.75 Hz dan 4184.38-4575.00 Hz. Meskipun hasil menunjukkan bahwa DPF memiliki kinerja penyerapan suara yang lebih tinggi pada ketebalan 20 dan 40 mm daripada CCF, dua sampel menunjukkan bahwa kinerja redaman meningkat pada semua frekuensi karena peningkatan ketebalan material dan penelitian berpendapat bahwa dua jenis serat, DPF dan CCF terbukti memiliki kinerja yang baik sebagai peredam akustik [16].

Sembilan serat biomassa dilaukan pengamatan pada koefisien absorpsi dan ketahanan alirannya untuk memprediksi sifat akustik dengan metode inversi oleh Berardi dan Iannace (2017) [17]. Dilkaukan pengukuran koefisien absorbs dan resistansi pada sampel dengan ketebalan yang berbeda. Mengacu pada model Delany-Bazley, penelitian ini membandingkan hasil pengamatan dari tabung impedansi dengan hasil pengamatan yang telah diprediksi secara teoritis. Dengan prosedur kuadrat-terkecil yang didasarkan pada metode Nelder-Mead, prediksi optimisasi koefisien untuk impedansi akustik dan hukum konstanta propagasi dapat dilakukan perhitungan. Penentuan parameter fisik dan formula yang berbeda untuk menggabungkan serat alami yang diamati dalam pemodelan perangkat lunak untuk aplikasi akustik interior dapat dilakukan dengan melakukan pendekatan yang bersifat terbalik [17]. Serat biomassa yang memiliki peranan penting, serat kenaf dan serat daun nanas telah dipelajari oleh banyak peneliti pada penelitian-penelitian sebelumnya

[[3], [13], [14], [18]–[21]. Sebuah penelitian yang dilakukan oleh Putra, et.al (2018) [21] mengamati kinerja koefisien penyerapan serat daun nanas (PALF) karena variabel kepadatan dan ketebalan. Metode yang digunakan adalah menggunakan prosedur tabung impedans pada keadaan normal berdasarkan ISO 10534-2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja redaman PALF adalah rata-rata sebesar 0,9 di atas 1 kHz, nilai ini mirip dengan produk sintesis komersial seperti bongkahan wol dan busa poliuretan. Hal ini menunjukkan bahwa PALF dapat digunakan sebagai material peeredam berkelanjutan untuk menggantikan peredam sintesis yang menyebabkan banyak emisi karbon pada proses fabrikasinya [21].

Melanjutkan, penelitian oleh Khalil, et.al (2010) juga telah mempelajari mengenai serat kenaf di Malaysia. Meskipun penelitian ini bersifat kimia, hasilnya berkontribusi bagi dunia pengetahuan mengenai karakteristik fisik, anatomi dan distribusi lignin dari serat kenaf Malaysia yang dibudidayakan serta memiliki pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik akustik material tersebut [19]. Selain itu, penelitian lain yang dilakukan oleh Chin, et.al (2018) [14] telah menganalisis serat kenaf berbasis panel komposit mikroperforated biodegradable (BC-MPP) yang dikombinasikan dengan asam polylactic (PLA) pada karakteristik akustiknya, terutama untuk kinerja redamannya. Studi ini mengamati pengaruh komposisi BC-MPP dan jarak rongga udara di belakang panel terhadap kinerja koefisien absorpsi dengan mempertimbangkan porositas dan kekuatan tarik material tersebut. Metode yang digunakan adalah prosedur impedans tabung pada kinerja redaman, porositas tester untuk menyelidiki kinerja porositas dan mesin pengujian universal untuk menguji kekuatan tarik [14]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa porositas meningkat karena kenaikan persentase serat kenaf, sedangkan kenaikan serat kenaf menyebabkan terjadinya pengurangan terhadap kekuatan tarik. Studi ini juga menyimpulkan bahwa kenaikan jarak celah udara dapat menggeser kinerja penyerapan ke frekuensi yang lebih rendah dan puncak koefisien penyerapan dipengaruhi oleh menyesuaikan jarak rongga udara.

### **4.3 Peran perawatan dalam meningkatkan kinerja redaman dari bahan serat alami**

Modifikasi permukaan dengan resonator, rongga udara tambahan dan pelapisan lembaran fibrosa adalah beberapa perlakuan yang telah dilakukan oleh Lee dan Swenson [22], Lee dan Chen ((Lee & Chen 2001) dan Zulkifli et al [24].. Lee dan Swenson menyatakan bahwa metode untuk membuat bahan berpori yang baik pada kemampuan penyerapan suara akan sulit dilakukan karena ketebalan dan pembuatannya memerlukan banyak biaya. Para peneliti kemudian membangun panel penyerap yang solid dan efisien tanpa lapisan berpori dilengkapi dengan satu panel berlubang yang didukung oleh celah udara. Kinerja akustik dimodelkan oleh formulasi teoretis dan divalidasi secara empiris oleh peralatan baru yang dibuat untuk memprediksi kemampuan bahan dalam frekuensi rendah. Sebagai hasilnya, disimpulkan bahwa panel getaran memiliki efek signifikan pada perilaku akustik struktur [22].

Tidak seperti Lee dan Swenson, Lee dan Chen melakukan penelitian pada struktur panel multi-lapisan yang telah dievaluasi dan dianalisis dengan ATA yang ketat (Analisis Transmisi Akustik). Dengan ATA, impedansi akustik dan dumping akustik dari struktur multi-lapisan yang memiliki beberapa lapisan seperti lapisan berlubang, panel berserat dan rongga udara telah dilakukan perlakuan (Lee & Chen 2001). Zulkifli et al (2008) mengamati perilaku penyerapan dan transmisi suara. Hilangnya struktur yang terbuat dari serat kelapa biomassa sebagai pengisi komposit dengan dan tanpa panel berlubang. Hasil empiris yang telah terkumpul dengan membandingkan data model ruang gema dan metode simulasi numerik. Koefisien absorpsi yang diperoleh dari percobaan tersebut adalah sebesar 0,7-0,80 untuk rentang antara 1000 - 1800 Hz, sedangkan simulasi memberikan penyerapan antara 0,7-0,85 pada kisaran 0,5 - 2,5 kHz. Hasil ini menunjukkan bahwa morfologi dari serat kelapa dapat dibandingkan dengan produk industri seperti bongkahan wol dan lainnya.

Rekomendasi untuk memanfaatkan bahan serat biomassa sebagai bahan pengisi peredam yang berasal dari studi yang dilakukan oleh Ersoy dan Kucuk, Mohanty et al. dan Mueller dan Krobjilowski et al [25]–[27]. Ersoy dan Kucuk mengamati peredaman suara dari serat daun teh yang dilapisi dengan struktur tunggal dari garmen tekstil gaun pengantin. Tiga jenis struktur serat daun teh dengan dan tanpa lapisan garmen tekstil gaun pengantin telah dilakukan pengamatan. Data empiris tersebut menunjukkan bahwa serat teh setebal 10 mm yang dilapisi kain garmen memiliki penyerapan suara yang setara dengan enam lapis kain garmen tekstil pengantin. Serat teh dengan tebal 20 mm tanpa lapisan anyaman memiliki hasil yang hampir sama dengan penyerapan dalam kisaran 0,5-3,2 kHz. Tidak seperti Ersoy dan Kucuk, Mohanty et al dan Mueller & Krobjilowski telah mempelajari penelitian yang hampir sama. Perbedaan antara penelitian mereka adalah bahwa Mohanty et al mempelajari bio-komposit dan dikomposisi dengan menggunakan bahan kimia tambahan kemudian dilakukan analisis kinerja akustiknya sementara Mueller dan Krobjilowski mengamati bio-komposit yang dibuat oleh selulosa asetat dikomposisi dengan pemlastis sitrat sebagai kinerja modulus tarik mengacu pada hasil Pemindaian Electron Microcope (SEM). Temuan dari beberapa studi di atas menunjukkan bahwa tidak ada inovasi dan teknik baru yang terkait dengan modifikasi permukaan bahan komposit akustik kecuali tiga metode tradisional seperti permukaan berlubang, rongga udara tambahan dan lapisan serat tambahan sebagai upaya untuk meningkatkan kinerja akustik. Pada penelitian ini diperkenalkan perlakuan yang lebih inovatif untuk meningkatkan performa akustik melalui penambahan rongga tunggal dan multipel.

#### **4.4 Bahan dan Metode**

Sebagai negara pertanian, Indonesia memiliki sebagian besar perkebunan serat seperti kelapa (*cocos nucifera*), rami (*bohmeria nivea*) dan kenaf (*hibiscus cannabinus*). Adapun, pengolahan serat biomassa pertama kali dilakukan pembersihan dan pengeringan dalam kondisi alami dalam kurun waktu tiga hari. Setelah proses pengeringan, serat biomassa yang telah kering kemudian digiling oleh mesin pencuci

piring dan disaring dalam ukuran 250 mikron. Tiga jenis serat biomassa kemudian ditimbang, ditambahkan dengan resin epoksi dan diformulasikan sebagai komposisi tertentu sebagai sampel bahan. Resin epoksi yang diperkuat serat biomassa ini memiliki komposisi serat alami: resin poliester: katalis masing-masing sebesar 25 gram: 200 ml: 20 ml. Adonan kemudian diaduk secara manual sampai homogen di bawah suhu normal dan dituangkan ke dalam cetakan berbentuk tabung dengan diameter 30 mm. Setelah didiamkan selama kurang lebih dalam kurun waktu 24 jam, cetakan dibongkar dan ditimbang untuk mengetahui kepadatan material.



**Gambar 4.1.** Biomassa: (a) sabut kelapa, (b) hemp, (c) kenaf, dan (d) sampel material[28]

**Tabel IV.1.** Tiga jenis sampel yang diamati[28]

Fiber biomasa	Diameter	Ketebalan	Kode
Coco-husk ( <i>Cocos nucifera</i> )	30 mm	15 mm	A
		30 mm	B
Hemp ( <i>Bohmeria nivea</i> )		15 mm	C
		30 mm	D
Kenaf ( <i>Hibiscus cannabinus</i> )		15 mm	E
		30 mm	F
<b>The code of treatments</b>			
8H	8 lubang resonator ¼ Panjang gelombang		
H-Tailed	Jumlah lubang-inklusi tailed cavity		
F	lapisan fibrous dacron tambahan		
C10mm	Rongga atau air gap (10 mm)		

Sampel tabung berdiameter 30 mm diukur berdasarkan berat, volume, dan kepadatannya. Persamaan densitas adalah:

$$\rho = \frac{m}{\pi \times r^2 \times t} \tag{1}$$

dengan adalah kerapatan material dalam gram per cm<sup>3</sup>, m adalah bobot dalam gram, dan  $\pi$ , r dan t adalah pi, jari-jari (cm) dan ketebalan spesimen (cm) masing-masing.

**Tabel IV.2.** Resin Epoksi diperkuat spesimen serat biomassa[28]

Sampel biomasa fiber	Ketebalan (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Berat (grams)	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	Rata-rata densitas (g/cm <sup>3</sup> )
Cocos nucifera (coco-husk)	1.500	10.598	10.000	0.944	0.9318
	1.500	10.598	11.000	1.038	
	3.000	21.195	18.000	0.849	
	3.000	21.195	19.000	0.896	
Bohmeria nivea (Hemp)	1.500	10.598	13.000	1.227	1.0740
	1.500	10.598	14.000	1.321	
	3.000	21.195	18.000	0.849	
	3.000	21.195	18.000	0.849	
Hibiscus cannabinus (Kenaf)	1.500	10.598	7.000	0.661	0.7670
	1.500	10.598	8.000	0.755	
	3.000	21.195	17.000	0.802	
	3.000	21.195	18.000	0.849	

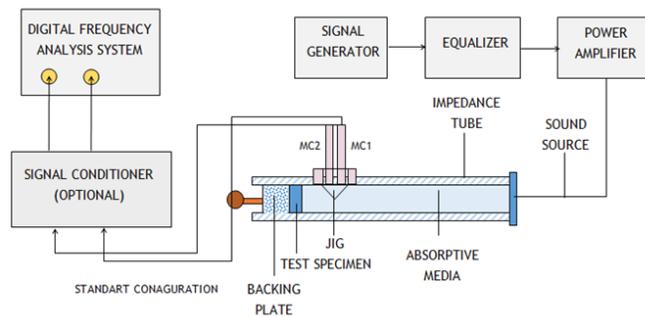
#### 4.5 Morfologi Permukaan

Kinerja akustik bahan serat alami tergantung pada porositas serat alami yang terkandung dalam bahan. Sejumlah penelitian menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan material pada penampilan akustik. Dalam penelitian ini, SEM digunakan untuk mengamati porositas dan untuk menganalisis perbedaan penampilan morfologi permukaan sampel. Senyawa karbon dalam bahan juga diamati mengenai korelasi antara itu dan perilaku akustik pada penyerapan suara dan hilangnya transmisi. Koefisien absorpsi dan prosedur Sound Transmission Loss (STL) akan dijelaskan dalam metode berikut.

#### 4.6 Sound Absorption Coefficient

Prosedur pengukuran tabung impedansi menggunakan dua mikrofon yang mengacu pada ASTM E-1050 digunakan untuk mengukur penyerapan suara pada sampel [28]. Kinerja penyerapan suara yang memiliki rentang frekuensi hingga 6400

Hz diukur dengan seri 4206 dari tabung impedansi B&K yang dilengkapi dengan tabung berdiameter 30 mm. Pengukuran komparatif antara resonator 8 lubang dan sampel berongga ekor pada kinerja penyerapan suaranya diamati dengan cermat. Perlakuan dilakukan dengan mengebor sampel untuk membentuk resonator panjang gelombang seperempat diameter 3 mm [1] dan sampel dengan rongga tunggal berdiameter 6 mm. Bagian perbedaan antara sampel resonator 8 lubang, sampel kaivitas ekor tunggal dan ganda di dalam tabung digambarkan pada gambar di bawah ini:



**Gambar 4.2.** Pengukuran Koefisien Serapan menggunakan tabung impedansi B&K mengacu pada ASTM E 1050-98 [28,29]

Komputer dengan perangkat lunak pengujian bahan digunakan untuk mengendalikan semua percobaan yang terjadi pada tabung yang dipasang ke 4 saluran penganalisa LAN-XI Bruel & Kjaer. Energi suara secara tidak beraturan disebarkan oleh penguat daya tabung hingga sumber suara tersebar di sepanjang pipa sebelum mengenai permukaan sampel (lihat gambar). Baik insiden peredaman dan gelombang pantulan ditangkap oleh dua 41-inch 4187 Bruel & Kjaer mikrofon menggunakan analisis fungsi transfer [34]. Kinerja peredaman suara sampel diwakili oleh energi suara yang telah terurai dan proses peredaman. Persamaan di bawah ini mewakili fungsi respons frekuensi H12 dan koefisien refleksi R:

$$H_{12} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{e^{jkh} + e^{-jkh}}{e^{jk(h+s)} + e^{-jk(h+s)}} \quad (2)$$

dan,

$$R = \frac{H_{12} - e^{jks}}{e^{jks} - H_{12}} e^{j2k(h+s)} \quad (3)$$

Dua mikrofon di posisi satu dan dua menangkap tingkat tekanan suara, P1 dan P2; nomor gelombang diwakili oleh k; sementara jarak antara sampel dan mikrofon pertama dilambangkan oleh h, dan jarak antara mikrofon diwakili oleh s. Koefisien penyerapan bunyi  $\alpha$  dapat dirumuskan sebagai:

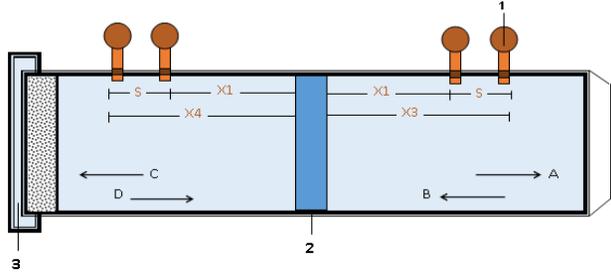
$$\alpha = 1 - [R]^2 \quad (4)$$

dan persamaan di bawah diketahui sebagai nilai impedansi normal:

$$\frac{z}{\rho c} = \frac{1+R}{1-R} \quad (5)$$

#### 4.7 Sound Transmission Loss (STL)

Sejumlah penelitian dilakukan untuk menentukan Sound Transmission Loss. Tenenbaum et.al (2012) mengamati hilangnya transmisi sebagai karakter dari dinding senyawa. Studi teoritis dan analitik mengenai cara menghitung STL struktur dinding senyawa dengan mudah dilakukan dalam penelitian ini. Pengamatan ini mengusulkan bahwa dinding penyerap multi-lapis memiliki kinerja akustik yang lebih efektif daripada dinding tunggal dengan ketebalan yang sama [30]. Menjelaskan pada gambar 34, empat mikrofon seri Bruel & Kjaer 4187 yang terletak di tabung bawah dan atas menangkap energi kebisingan yang disebarkan oleh pengeras suara yang dipasang di tabung bawah. Kebisingan secara acak dihasilkan oleh penganalisis spektrum (seri B&K 3160-A-042) dan penguat daya (seri B&K 2716C). Setelah ditangkap oleh mikrofon, suara kemudian dianalisis oleh modul penganalisa spektrum[28].



**Gambar 4.3.** Tabung impedansi memiliki 4 mikrofon pada uji *Sound Transmission Loss* [28]

Untuk mencapai uji frekuensi tinggi untuk pembuangan suara, dalam penelitian menggunakan tabung yang lebih rendah. Spesimen yang memiliki ketebalan 15 mm dan 30 mm diaplikasikan untuk terminasi anechoic pada tabung bagian bawah. Kode yang dirancang A dan B menunjukkan kejadian dan komponen yang tercermin dalam pipa bagian bawah, sedangkan kode yang dirancang C dan D dipancarkan dan tercermin dalam tabung bagian bawah (36). Tekanan suara pada mikrofon diwakili oleh persamaan di bawah ini [31]:

$$p_1 = Ae^{-jkx_1} + Be^{jkx_1} \quad (6)$$

$$p_2 = Ae^{-jkx_2} + Be^{jkx_2} \quad (7)$$

$$p_3 = Ae^{-jkx_3} + Be^{jkx_3} \quad (8)$$

$$p_4 = Ae^{-jkx_4} + Be^{jkx_4} \quad (9)$$

Untuk menyederhanakan formulasi Kehilangan Transmisi Suara, jarak antara 2 mikrofon kemudian dianggap sama dan perhitungan STL direpresentasikan sebagai persamaan (10):

$$STL = 20 \log \left| \frac{e^{jks} - H_{12}}{e^{jks} - H_{34}} \right| - 20 \log \sqrt{|S_d/S_u|} \quad (10)$$

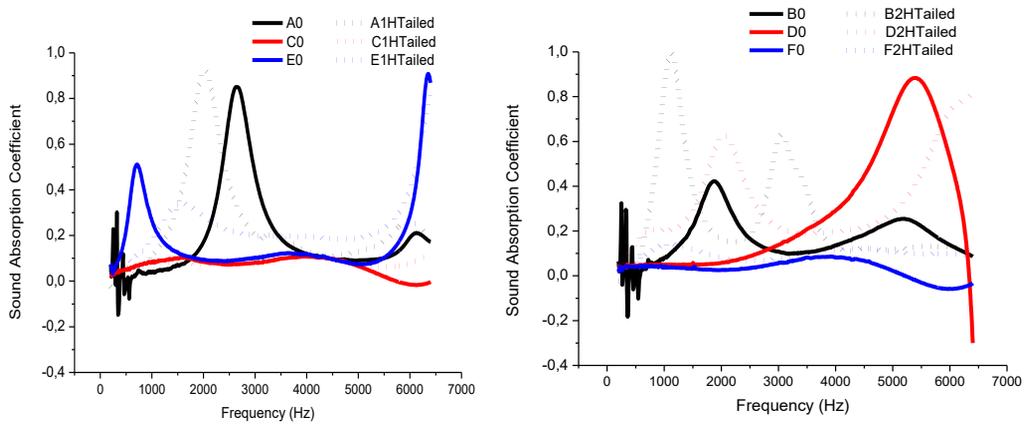
dengan  $s = |x_1 - x_2| = |x_3 - x_4|$  fungsi transfer dari tekanan suara pada posisi 1 dan 2 ditunjukkan oleh  $H_{12} = p_2/p_1$ , dimana pada posisi 3 dan 4 ditunjukkan oleh

$H_{34} = p_4/p_3$  and  $S_d/S_u$  yang merupakan rasio antara spektrum di tabung lebih tinggi maupun lebih rendah[32].

#### 4.8 Hasil Dan Pembahasan

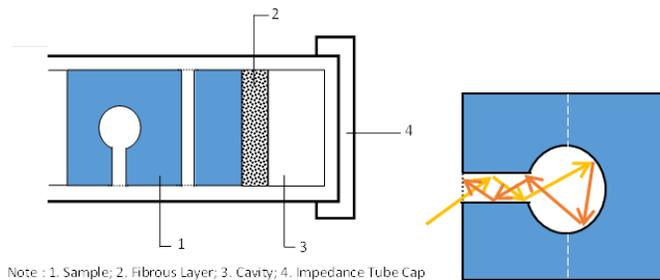
Efek dari inklusi rongga ekor tunggal dan ganda pada kinerja peredaman suara digambarkan pada Gambar 4.4. Kinerja peredaman suara dari enam sampel sebelum diberikan perlakuan disajikan dalam garis kontinu, sedangkan setelah diberikan perlakuan ditampilkan dalam garis dot dan garis dash-dot (AF). Serat rami dan kenaf dengan ketebalan 30 mm diindikasikan sebagai masing-masing C dan E, sedangkan serat rami dan kenaf 15 mm, masing-masing digambarkan sebagai D dan F. Sebelum diberikan perlakuan, keempat sampel menunjukkan koefisien peredaman yang hampir sama pada frekuensi menengah (1,5-3,0 kHz) kecuali serat sabut kelapa, tetapi perbedaan terjadi pada frekuensi rendah dan tinggi terutama untuk serat rami dengan ketebalan 30 mm dan sampel kenaf dengan ketebalan 15 mm. Rami dengan ketebalan 30 mm memiliki kinerja terbaik dalam frekuensi tinggi dengan puncaknya pada 0,95 pada 5,4 kHz, sedangkan kenaf dengan ketebalan 15 mm memiliki penampilan terbaik dalam frekuensi rendah yang mencapai 0,46 pada 750 Hz. Tidak ada pengaruh yang cukup signifikan setelah penambahan lubang dan celah tambahan sebagai inklusi rongga tunggal dan multiple kecuali pada sampel rami dengan ketebalan 30 mm. Sampel rami dengan ketebalan 30 mm yang digambarkan oleh garis kontinu merah tergeser kinerja penyerapannya menuju frekuensi yang lebih rendah setelah dilakukan perlakuan (lihat gambar 4.5.b). Spesimen sabut kelapa dengan tebal 30 mm menunjukkan kinerja yang lebih baik setelah dilakukan perlakuan oleh rongga berekor ganda yang diwakili oleh garis titik-hitam pada Gambar 4.1. (b) dan memiliki dua puncak nilai sebesar 0,60 dan 1,0 pada masing-masing 3,0 kHz dan 1,2 kHz. Kinerja terbaik diperoleh ketika sampel rami dengan ketebalan 30 mm diberikan perlakuan oleh inklusi rongga multipel yang disimbolkan sebagai D2HTailed dengan garis putus-putus merah. Koefisien penyerapan suaranya mencapai titik tertinggi pada 0,63

pada 2000 Hz dan memiliki frekuensi broadband yang luas. Hal ini berarti bahwa pengaruh inklusi rongga multipel memiliki efek signifikan pada peningkatan penyerapan suara.



a) (b)  
**Gambar 4.4.** Serat biomassa dengan rongga: (a) tunggal; (b) jamak[28]

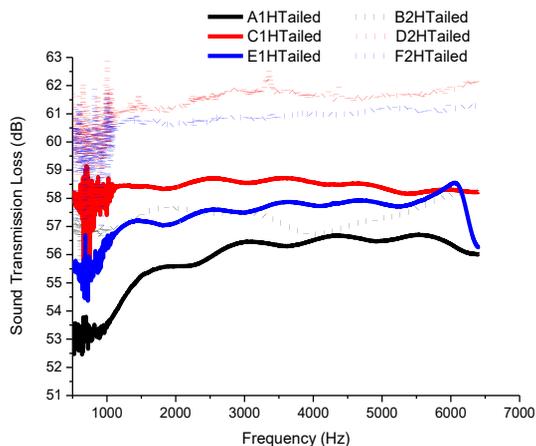
Efektivitas rongga tunggal-multipel dijelaskan pada gambar 4.4. Rongga ekor memantulkan dan menyerap energi suara, sehingga dapat dengan mudah untuk mengurangi intensitas suara karena mencerminkan, memblokir dan meredam. Fenomena ini juga terjadi karena terdapat pemekatan gesekan pada rongga yang kecil dalam sampel.



**Gambar 4.5.** Refleksi dan blok suara pada rongga[28]

Temuan berikutnya adalah bahwa Sound Transmission Loss mewakili kemampuan bahan untuk menghalangi dan menghilangkan energi suara. Hasil dari hilangnya

transmisi epoksi yang telah diperkuat serat kelapa, rami dan Kenaf dijelaskan pada Gambar 4.5. Grafik menunjukkan bahwa Sound Transmission Loss dari sampel dengan ketebalan 30 mm baik rami maupun kenaf memiliki kinerja yang lebih baik daripada sampel dengan ketebalan 15 mm (Gambar 4.5.). Kinerja terbaik ditunjukkan oleh ketebalan 30 mm sampel rami dengan STL meningkat mulai dari 61 dB pada 1kHz. Berbeda dengan rami dan kenaf, perilaku STL sekam kelapa mengalami perbedaan yang dikarenakan perbedaan struktur serat dan pola sampel.

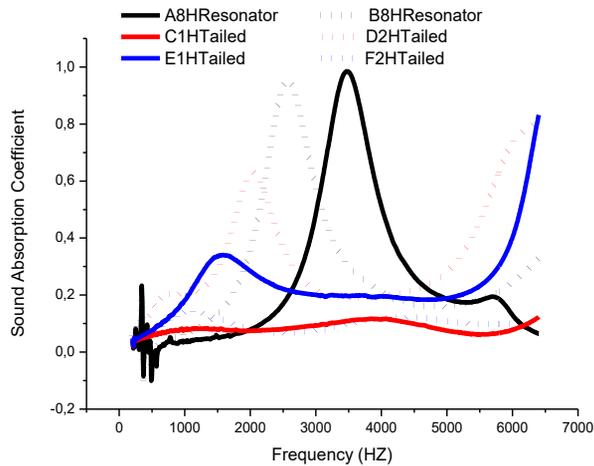


**Gambar 4.6.** Perbandingan uji STL BiomassaFRP dengan rongga berekor tunggal-multipel[28]

Gambar 4.6. menunjukkan sampel rami memiliki setidaknya 61,5 dB pada ketebalan 30 mm dan setidaknya 58,2 dB pada ketebalan 15 mm, sedangkan sampel kenaf memiliki setidaknya 60,8 dan 58,0 dB masing-masing dengan ketebalan 30 mm dan 15 mm. Mengacu pada data kerapatan yang digambarkan oleh tabel 1 sebelumnya, data ini menunjukkan bahwa nilai STL berbanding lurus dengan nilai kerapatan bahan. Maka, dapat disimpulkan bahwa semakin tebal sampel dan semakin tinggi kepadatannya, maka akan semakin baik pula nilai Sound Transmission Lossnya pada material.

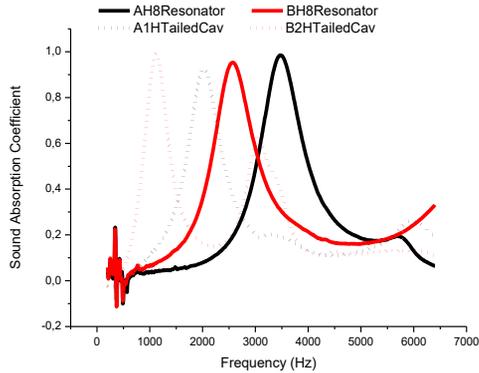
Temuan lebih lanjut ditunjukkan oleh gambar 4.7. ketika penelitian ini dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Setyowati et.al. [1]. Grafik

membandingkan kinerja penyerapan suara sesuai dengan perlakuan berbeda antara tambahan resonator panjang gelombang seperempat dan inklusi rongga tunggal pada tiga jenis serat poliester yang diperkuat dengan resin poliester. Garis kontinu menunjukkan sampel dengan ketebalan 30 mm, sedangkan garis putus-putus menggambarkan sampel dengan ketebalan 15 mm [28].



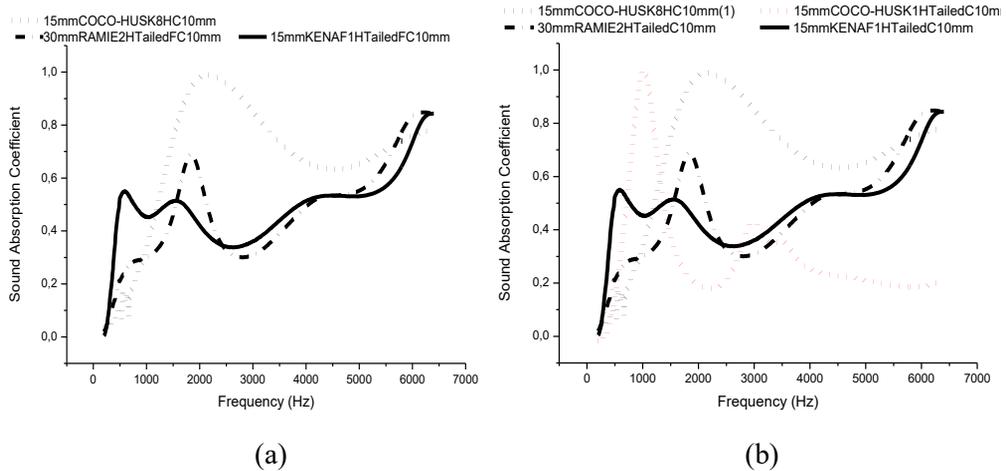
**Gambar 4.7.** Perbandingan absorpsi serat sabut kelapadengan pajang gelombang resonator dan Hemp-Kenaf dengan rongga berekor[28]

Meskipun perlakuan pada seperempat panjang gelombang resonator berdampak pada penyerapan suara yang jauh lebih tinggi, perlakuan rongga tunggal pada sampel menyebabkan frekuensi yang lebih rendah pada kinerja penyerapan suara kedua material tersebut. Kinerja absorpsi suara yang menjanjikan dari inklusi rongga digambarkan oleh sampel rami dengan ketebalan 30 mm yang memiliki frekuensi lebih rendah pada puncaknya dan kinerja frekuensi broadband yang lebih luas.



**Gambar 4.8.** Perbandingan Penyerapan poliester yang diperkuat serat sekam kelapa antara penelitian sebelumnya dan penelitian ini[28]

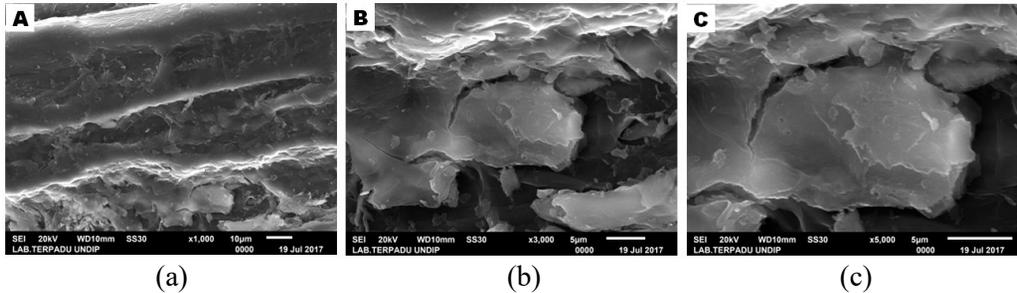
Ada beberapa langkah untuk menganalisis bagaimana efektivitas metode rongga tunggal-ganda terhadap metode tradisional yang digunakan sebelumnya seperti memberikan tambahan lubang resonator. Pertama, kita dapat membandingkan metode ini dengan metode resonator panjang gelombang kuartal sebelumnya. Gambar 4.8. menggambarkan perbandingan antara resin poliester yang diperkuat dengan sabut kelapa terhadap seperempat panjang gelombang resonator dan dengan menggunakan metode inklusi rongga berekor tunggal. Hasilnya adalah bahwa metode ini dapat menggeser kinerja peredaman suara ke frekuensi yang lebih rendah daripada peredaman yang sebelumnya. Misalnya, ketebalan 30 mm sabut kelapa sebelumnya sebesar 0,95 pada 2,6 kHz dengan menggunakan metode lama, dan setelah diperlakukan dengan menggunakan metode ini, material tersebut dapat memiliki kinerja yang lebih baik dalam frekuensi yang lebih rendah dengan puncaknya pada 0,99 dan 0,60 pada 1,0 kHz dan 3,0 kHz masing-masing dikarenakan penggunaan metode pemberian dua lubang pada sampel. Seperti halnya sampel dengan ketebalan 30 mm, sabut kelapa tebal 15 mm dengan rongga ekor tunggal dapat memiliki kinerja peredaman dengan puncak 0,85 pada 2,0 kHz, lebih rendah dari metode sebelumnya pada resonator panjang gelombang seperempat[28].



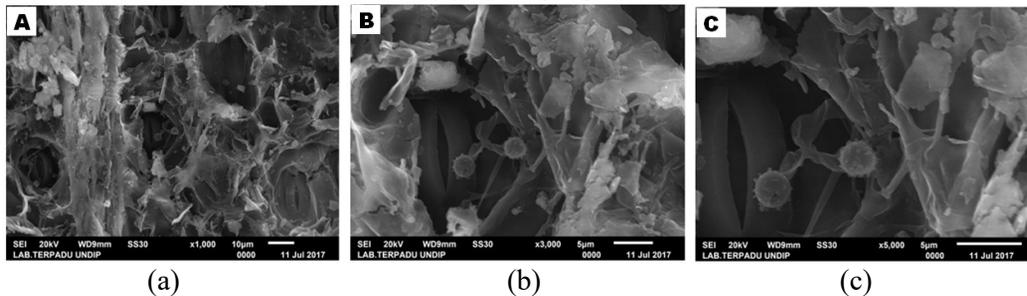
**Gambar 4.9.** Perbandingan Penyerapan serat sabut kelapa dalam penelitian sebelumnya dan Bahan biomassa dengan rongga berekor[28]

Kedua, seperti yang terlihat pada gambar 4.9., perbandingan sampel yang diperlakukan dengan metode yang ada dengan penelitian sebelumnya dengan mengamati sekam kelapa yang diberi perlakuan dengan resonator panjang gelombang seperempat dan diberi celah udara 10 mm. Hasil yang ditunjukkan pada gambar 4.9. adalah bahwa semua perlakuan mencapai frekuensi broadband lebar, meskipun pada serat kenaf dan rami yang diberikan perlakuan dengan rongga ekor masih jauh lebih rendah daripada sabut kelapa yang diberi perlakuan dengan seperempat panjang gelombang delapan resonator. Hal ini menunjukkan bahwa metode peningkatan saat ini dapat dianggap sebagai perlakuan terhadap komposit serat biomassa karena kemampuan dalam penyerapan suara dalam frekuensi broadband lebar (lihat gambar 39a). Pada Gambar 4.6.b, tidak seperti sabut kelapa dengan resonator panjang gelombang 8 quater (garis titik hitam), sabut kelapa dengan inklusi rongga ekor tunggal (garis titik merah) muncul dalam kinerja yang lebih rendah dan tidak memiliki frekuensi broadband lebar, meskipun memiliki puncak tertinggi pada 0,99 pada 1,0kHz. Hal ini menunjukkan bahwa sekam kelapa dengan resonator 8 lubang masih jauh lebih baik kinerjanya daripada rongga ekor tunggal karena memiliki frekuensi broadband yang luas. Hasil lain setelah penyerapan dan STL adalah morfologi

permukaan rami dan kenaf yang diamati oleh Scanning Electron Microscope (SEM). Pengamatan morfologi permukaan diperlukan untuk mendapatkan tampilan porositas serat rami dan kenaf. Perbedaan hasil SEM antara serat Rami dan Kenaf ditunjukkan pada gambar 4.10 dan 4.11[28]:



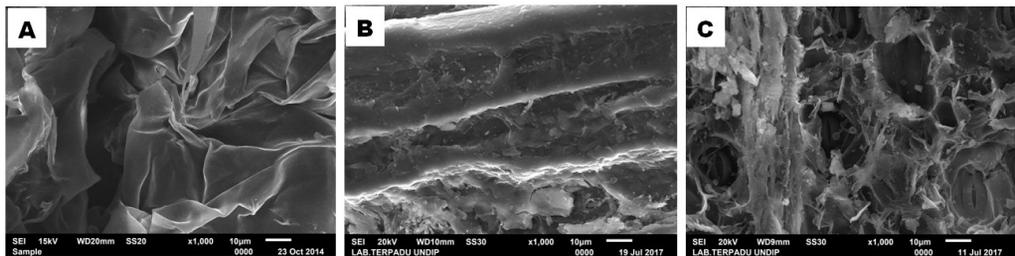
(a) (b) (c)  
**Gambar 4.10.** Hasil SEM serat hemp dengan perbesaran: (a). 1000x; (b). 3000x, and (c) 5000x[28]



(a) (b) (c)  
**Gambar 4.11.** Hasil SEM serat kenaf dengan perbesaran: (a). 1000x; (b). 3000x, and (c) 5000x[28].

SEM adalah teknik analitik untuk mengamati morfologi permukaan material. Gambar 4.10. dan 4.11. menunjukkan berbagai perbesaran sampel yang terdiri dari 1000x, 3000x dan 5000x. Angka-angka itu menggambarkan bahwa serat rami memiliki beberapa pori dan saluran yang secara signifikan tidak terlihat dibandingkan dengan serat kenaf. Serat kenaf cenderung memiliki pori-pori dan saluran yang lebih besar yang sering muncul di permukaannya (Gambar 4.11). Hasil ini menunjukkan jawaban terhadap pertanyaan tentang mengapa Sound Transmission Loss rami jauh lebih tinggi daripada serat kenaf pada ketebalan sampel 30 mm dan 15 mm.

Berbeda dengan uji Sound Transmission Loss, kinerja peredaman suara serat kenaf tampaknya lebih tinggi secara signifikan dalam frekuensi rendah di bawah 1kHz, sementara penyerapan suara serat rami baru saja meningkat mulai dari 2,7 kHz dan telah mencapai puncaknya pada 0,95 pada 5,4 pada 5,4 pada 5,4 kHz. Fenomena ini terjadi karena serat kenaf memiliki pori-pori besar dan saluran besar yang terlihat jelas, sehingga kemampuan menyerap dan memantulkan energi suara jauh lebih cepat daripada kemampuan serat rami tersebut (lihat gambar 4.10. dan 4.11.)[28].



**Gambar 4.12.** Perbandingan uji SEM perbesaran 1000X: (a). Sabut kelapa; (b). Hemp; (c) Kenaf[28].

Gambar SEM sampel serat sabut kelapa terlihat seperti lembaran yang saling melengkung atau saling tumpang tindih yang menyebabkan pembentukan saluran kecil dan panjang dengan daya serap terbesar dibandingkan sampel serat rami dan kenaf. Dalam gambar SEM serat rami menunjukkan morfologi yang rapat seperti batang besar ditumpuk sehingga mereka tampaknya memiliki saluran besar. Untuk sampel serat kenaf, morfologi memiliki banyak pori dengan berbagai ukuran. Daya serap untuk serat rami menunjukkan nilai lebih besar dibandingkan serat kenaf, karena saluran besar dimiliki oleh serat rami. Analisis ini konsisten dibandingkan dengan penelitian lain [33]–[41]. Analisis SEM juga dapat dibandingkan dengan analisis koefisien serapan di mana sampel sabut kelapa memiliki nilai koefisien serapan terbesar, diikuti oleh sampel serat rami dan serat kenaf. Setiap sampel memiliki broadband lebar dengan koefisien penyerapan di atas 0,2 yang menunjukkan daya serap yang baik dari setiap sampel uji. Dalam analisis STL, sampel serat rami memiliki nilai tertinggi dibandingkan dengan sampel sabut kelapa dan kenaf. Hal ini

ditunjukkan karena serat rami memiliki kepadatan yang besar (terlihat dari gambar SEM) dibandingkan dengan dua sampel serat uji. Penampilan morfologis dari pertemuan ini dapat mencerminkan suara yang diserap lebih cepat. Sedangkan keberadaan saluran kecil dan panjang serat sabut kelapa dan pori-pori pada serat kenaf akan memiliki waktu refleksi, dari suara yang telah diserap, lebih lama dari nilai STL

**Tabel IV.3. Oksida serat sabut kelapa[28]**

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis(Oxide)								
Fitting Coefficient : 0.0444								
Total Oxide : 24.0								
Element	(keV)	Mass%	Sigma	Mol%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	93.56	0.29	98.86	C	93.56	0.00	92.3207
O		0.90						
Na K	1.041	0.31	0.03	0.09	Na <sub>2</sub> O	0.42	5.74	0.3604
Mg K	1.253	0.13	0.03	0.07	MgO	0.21	2.23	0.1271
Cl K	2.621	1.40	0.03	0.50	Cl	1.40	0.00	2.2266
K K	3.312	2.54	0.06	0.41	K <sub>2</sub> O	3.06	27.72	3.5238
Pt K	2.048	1.15	0.07	0.08	PtO <sub>2</sub>	1.34	2.52	1.4414
Total		100.00		100.00		100.00	38.21	

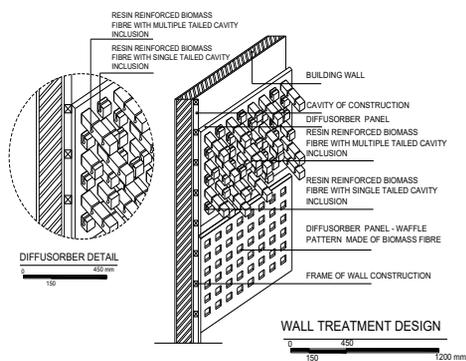
**Tabel IV.4. Oksida Rami[28]**

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis(Oxide)								
Fitting Coefficient : 0.0401								
Total Oxide : 24.0								
Element	(keV)	Mass%	Sigma	Mol%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	80.45	0.06	95.94	C	80.45	0.00	76.9865
O		5.79						
Al K	1.486	0.27	0.03	0.07	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.50	0.66	0.3554
Si K	1.739	0.18	0.04	0.09	SiO <sub>2</sub>	0.38	0.42	0.2783
S	2.307	0.52	0.04	0.23	SO <sub>3</sub>	1.30	1.08	0.8855
Ca K	3.690	7.36	0.07	2.63	CaO	10.30	12.19	13.1196
Cu K	8.040	1.69	0.09	0.38	CuO	2.11	1.76	2.5160
Zn K	8.630	1.06	0.10	0.23	ZnO	1.32	1.07	1.5721
Zr K	2.042	2.70	0.09	0.42	ZrO <sub>2</sub>	3.64	1.96	4.2866
Total		100.00		100.00		100.00	19.14	

**Tabel IV.5. Oksida Kenaf[28]**

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis(Oxide)								
Fitting Coefficient : 0.0588								
Total Oxide : 24.0								
Element	(keV)	Mass%	Sigma	Mol%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	87.43	0.36	97.62	C	87.43	0.00	84.3452
O		3.12						
Mg K	1.253	0.37	0.04	0.20	MgO	0.61	1.85	0.4216
S K	2.307	0.91	0.08	0.38	SO <sub>3</sub>	2.28	3.50	1.6140
Cl K	2.621	1.39	0.04	0.52	Cl	1.39	0.00	2.7164
K K	3.312	3.85	0.09	0.66	K <sub>2</sub> O	4.64	12.10	6.6288
Cu K	8.040	1.81	0.14	0.38	CuO	2.26	3.50	2.6469
Zn K	8.630	1.12	0.14	0.23	ZnO	1.39	2.10	1.6272
Total		100.00		100.00		100.00	23.05	

Tabel IV.3.-IV.5. menggambarkan masing-masing senyawa sekam kelapa, rami, dan kenaf[28]. Persentase karbon dalam sekam kelapa adalah 93,56%, sedangkan senyawa karbon dalam rami dan kenaf masing-masing adalah 80,45% dan 87,43%. Jika dipertimbangkan temuan dalam kinerja penyerapan suara dari serat biomassa pada Gambar 3.9.a, dapat dipahami bahwa kinerja penyerapan suara tertinggi adalah pada sabut kelapa, sedangkan penyerapan suara rami dan kenaf cenderung standar. Ini berarti bahwa semakin tinggi senyawa karbon dalam serat biomassa, semakin tinggi kinerja penyerapan suara. Tetapi, merujuk pada gambar 3.9.a, semua serat biomassa tampil dalam kondisi yang baik dari perilaku penyerapan suara karena pencapaian frekuensi broadband yang luas.



Gambar 4.13. Aplikasi serat hemp dan kenaf pada interior bangunan[28]



Gambar 4.14. Aplikasi serat hemp dan kenaf sebagai diffuser-absorber pada dinding convention[28]

Temuan ini harus dipertimbangkan dalam tujuan interior pada bangunan yang memiliki penampilan akustik. Serat biomassa yang dipelajari dalam penelitian ini, sekam kelapa, rami dan kenaf, cukup bagus sebagai bahan penyusu komposit akustik. Gambar di bawah ini menunjukkan aplikasi struktural material sebagai penyerap diffuser untuk keperluan interior pada bangunan.

## 4.9 Kesimpulan

Perlakuan rongga ganda pada sampel serat rami dengan ketebalan 30 mm dapat memperbaiki kinerja penyerapan suara dari frekuensi tinggi ke frekuensi yang lebih rendah. Fenomena ini sangat baik untuk material komposit serat biomassa, karena semakin rendah frekuensi material pada kinerja penyerapannya, semakin lebar frekuensi broadband yang dapat material tersebut lakukan. Berbeda dengan serat rami, serat kenaf dengan ketebalan 15 mm memiliki frekuensi broadband yang lebih luas pada kinerja penyerapan suaranya setelah diberikan perlakuan dengan dimasukkannya rongga ekor tunggal. Meskipun puncak penyerapan suara serat kenaf tidak setinggi serat rami, pencapaian serat kenaf dapat dianggap sebagai bahan akustik terutama untuk keperluan interior. Berbeda dengan kinerja penyerapan suara, uji kinerja Sound Transmission Loss dipengaruhi oleh perbedaan kepadatan yang menyusun masing-masing serat. Selain itu, dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan pada panel berbasis serat biomassa, diberikan perlakuan oleh resonator panjang gelombang seperempat, perlakuan inklusi rongga berekor tunggal akan menjadi alternatif yang baik untuk meningkatkan kinerja material akustik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Setyowati, I. Yahya, E. Supriyo, I. C. Romadhona, and A. Minardi, "On the sound absorption improvement of water hyacinth and coconut husk based fiber reinforced polymer panel," MATEC Web Conf., vol. 159, 2018.
- [2] E. Setyowati, A. Satyapratama, S. T. Atmadja, and G. Hardiman, "MANUFACTURE OF ACOUSTICAL ONE SIDE-WAFFLE PANEL MADE OF NATURAL RESOURCES WITH HYDRAULIC HOT PRESS MACHINE," J. Teknol., vol. 78, no. 5, pp. 289–293, 2014.
- [3] Z. Y. Lim, A. Putra, M. J. M. Nor, and M. Y. Yaakob, "Sound absorption performance of natural kenaf fibres," Appl. Acoust., vol. 130, no. September 2017, pp. 107–114, 2018.
- [4] M. H. Fouladi, M. Jailani, and M. Nor, "Analysis of coir fiber acoustical characteristics," Appl. Acoust., vol. 72, no. 1, pp. 35–42, 2011.
- [5] J. Ramis, R. Rey, J. Alba, L. Godinho, and J. Carbajo, "A model for acoustic absorbent materials derived from coconut fiber," no. March, 2014.
- [6] X. Tang, X. Zhang, H. Zhang, X. Zhuang, and X. Yan, "Corn husk for noise reduction: Robust acoustic absorption and reduced thickness," Appl. Acoust., vol. 134, no. November 2016, pp. 60–68, 2018.

- [7] C. Piégay, P. Glé, E. Gourdon, E. Gourlay, and S. Marceau, “Acoustical model of vegetal wools including two types of fibers,” *Appl. Acoust.*, vol. 129, pp. 36–46, 2018.
- [8] C. Othmani et al., “Experimental and theoretical investigation of the acoustic performance of sugarcane wastes based material,” *Appl. Acoust.*, vol. 109, pp. 90–96, 2016.
- [9] F. Z. Ismail, M. N. Rahmat, and N. M. Ishak, “Sustainable absorption panels from agricultural wastes,” *MATEC Web Conf.*, vol. 15, pp. 1–6, 2014.
- [10] E. Jayamani and S. Hamdan, “Sound Absorption Coefficients Natural Fibre Reinforced Composites,” *Adv. Mater. Res.*, vol. 701, pp. 53–58, 2013.
- [11] S. Fatima and A. R. Mohanty, “Acoustical and fire-retardant properties of jute composite materials,” *Appl. Acoust.*, vol. 72, no. 2–3, pp. 108–114, 2011.
- [12] F. Duc, P. E. Bourban, C. J. G. Plummer, and J. A. E. Månson, “Damping of thermoset and thermoplastic flax fibre composites,” *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 64, pp. 115–123, 2014.
- [13] F. Asdrubali, S. Schiavoni, and K. V. Horoshenkov, “A Review of Sustainable Materials for Acoustic Applications,” *Build. Acoust.*, vol. 19, no. 4, pp. 283–311, 2012.
- [14] D. D. V. S. Chin, M. N. Bin Yahya, N. Bin Che Din, and P. Ong, “Acoustic properties of biodegradable composite micro-perforated panel (BC-MPP) made from kenaf fibre and polylactic acid (PLA),” *Appl. Acoust.*, vol. 138, no. April, pp. 179–187, 2018.
- [15] T. Januševičius, J. Mažuolis, and D. Butkus, “Sound reduction in samples of environmentally friendly building materials and their compositions,” *Appl. Acoust.*, vol. 113, pp. 132–136, 2016.
- [16] L. A. ALRahman, R. I. Raja, and R. A. Rahman, “Experimental study on natural fibers for green acoustic absorption materials,” *Am. J. Appl. Sci.*, vol. 10, no. 10, pp. 1307–1314, 2013.
- [17] U. Berardi and G. Iannace, “Predicting the sound absorption of natural materials: Best-fit inverse laws for the acoustic impedance and the propagation constant,” *Appl. Acoust.*, vol. 115, pp. 131–138, 2017.
- [18] E. Alexopoulou, M. Christou, M. Mardikis, and A. Chatziathanassiou, “Growth and yields of kenaf varieties in central Greece,” *Ind. Crops Prod.*, vol. 11, no. 2–3, pp. 163–172, 2000.
- [19] H. P. S. Abdul Khalil, A. F. I. Yusra, A. H. Bhat, and M. Jawaid, “Cell wall ultrastructure, anatomy, lignin distribution, and chemical composition of Malaysian cultivated kenaf fiber,” *Ind. Crops Prod.*, vol. 31, no. 1, pp. 113–121, 2010.
- [20] M. Ramesh, “Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) fibre based bio-materials: A review on processing and properties,” *Prog. Mater. Sci.*, vol. 78–79, pp. 1–92, 2016.
- [21] A. Putra, K. H. Or, M. Zulke, M. Jailani, and M. Nor, “Sound absorption of extracted pineapple-leaf fibres,” vol. 136, no. November 2017, pp. 9–15, 2018.
- [22] J. Lee and G. W. Swenson, “Compact Sound Absorbers for Low Frequencies,” *Noise Control Eng. J.*, vol. 38, no. 3, pp. 109–117, 1992.
- [23] F.-C. LEE and W.-H. CHEN, “Acoustic Transmission Analysis of Multi-Layer Absorbers,” *J. Sound Vib.*, vol. 248, no. 4, pp. 621–634, 2001.
- [24] R. Zulkifli, M. J. M. Nor, M. F. M. Tahir, A. R. Ismail, and M. z. Nuawi, “acoustic properties of multi layer coir fibre sound absorption panel.pdf,” *J. Appl. Sci.*, vol. 20, pp. 3709–3714, 2008.
- [25] S. Ersoy and H. Kucuk, “Investigation of industrial tea-leaf-fibre waste material for its sound absorption properties for its sound absorption properties,” *Appl. Acoust.*, vol. 70, no. February, pp. 215–220, 2009.
- [26] A. K. Mohanty, A. Wibowo, M. Misra, and L. T. Drzal, “Effect of process engineering on the performance of natural fiber reinforced cellulose acetate biocomposites,” vol. 35, no. 2004, pp. 363–370, 2006.
- [27] D. H. Mueller and A. Krobjilowski, “New Discovery in the Properties of Composites Reinforced with Natural Fibers,” *J. Ind. Text.*, vol. 33, pp. 111–130, 2003.

- [28] E. Setyowati, G. Hardiman, and P. Purwanto, "Tailoring Acoustic Performances of Resin Reinforced Biomass Fiber-Based Panel with Single and Multiple," fibers, vol. 7, no. 10, pp. 1–22, 2019
- [29] A. E. 1050-98, ASTM E 1050-98, Standard test method for Impedance and absorption of acoustical materials using tube two microphones and digital frequency analysis system. 1998.
- [30] R. A. Tenenbaum and M. B. S. Magalha, "A new time domain approach to evaluate transmission loss in layered partitions," *Int. J. Acoust. Vib.*, no. 1, p. 68503.
- [31] H. Harjana, U. Sabino, I. Yahya, R. Kristiani, E. Muqowi, and S. A. Mazlan, "Sound Insulation and Absorption Properties of Re-claimed Waste Tire Rubber," in *ICAMST*, 2014, no. September.
- [32] A. E. 2611-09, ASTM E 2611-09 Standard Test Method for Measurement of Normal Incidence Sound Transmission of Acoustical Materials Based on the Transfer Matrix Method. 2009.
- [33] U. Tun and H. Onn, "Preliminary Study on Acoustical and Physical Characteristics of Kenaf ( *Hibiscus Cannabinus* ) Using Natural Rubber As Binder Characteristics of Kenaf ( *Hibiscus Cannabinus* ) Using," no. March, 2016.
- [34] G. Nath and S. P. Mishra, "Study of physical and sound absorbing property of epoxy blended coir dust biocomposite," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 149, no. 1, 2016.
- [35] L. I. M. R. E. O. Sei, "DEVELOPMENT AND ACOUSTICAL ANALYSIS USING KENAF AND COCONUT FIBRES AT DIFFERENT FIBRE LOADING," 2016.
- [36] S. Mahzan, a M. A. Zaidi, N. Arsat, M. N. M. Hatta, M. I. Ghazali, and S. R. Mohideen, "Study on Sound Absorption Properties of Coconut Coir Fibre Reinforced Composite with Added Recycled Rubber," *Integr. Eng.*, no. Mechanical, Materials and Manufacturing, pp. 1–6, 2009.
- [37] L. Peng, B. Song, J. Wang, and D. Wang, "Mechanic and acoustic properties of the sound-absorbing material made from natural fiber and polyester," *Adv. Mater. Sci. Eng.*, vol. 2015, 2015.
- [38] S. Renouard, C. Hano, J. Doussot, J. P. Blondeau, and E. Lainé, "Characterization of ultrasonic impact on coir, flax and hemp fibers," *Mater. Lett.*, vol. 129, pp. 137–141, 2014.
- [39] C. Bonnafous, F. Touchard, and L. Chocinski-Arnault, "Multi scale analysis by acoustic emission of damage mechanisms in natural fibre woven fabrics/epoxy composites.," *EPJ Web Conf.*, vol. 6, p. 20009, 2010.
- [40] L. Cao, Q. Fu, Y. Si, B. Ding, and J. Yu, "Porous materials for sound absorption," *Compos. Commun.*, vol. 10, no. May, pp. 25–35, 2018.
- [41] Z. Y. Lim, A. Putra, M. J. M. Nor, and M. Y. Yaakob, "Sound absorption performance of natural kenaf fibres," *Appl. Acoust.*, vol. 130, no. June 2017, pp. 107–114, 2018.

## **BAB 5**

### **KONSEP MODULAR PREFAB HOUSING**

Dalam *green material* untuk konstruksi bangunan, limbah cangkang kerang dan polimer digunakan sebagai bahan substitusi sebagaimana penggunaan semen. Pada penelitian ini semen yang digunakan diganti dengan bubuk cangkang kerang dan mortar serat dengan penambahan poliuretan untuk menjadikan berat material yang lebih ringan. Metode DOE digunakan untuk mengetahui kinerja material yang dihasilkan berdasarkan ASTM 109/ C 109M – 08 [1] yang merupakan parameter pengujian modulus elastisitas material. Uji akustik juga dilakukan berdasarkan ASTM ASTM E 2611-09 [2] and ASTM E 413 [3]. Pendekatan estetis dilakukan dengan membuat model bahan berbentuk *double layer* yang menjadi komponen dinding pada suatu bangunan.

#### **5.1 PENDAHULUAN**

Upaya yang dapat dilakukan dalam mewujudkan konsep *green construction* adalah dengan mengurangi penggunaan semen dalam skala industri yang telah diketahui berkontribusi terhadap menghasilkan emisi global. Berbagai penelitian telah dilakukan dengan cara substitusi penggunaan semen dengan material lain yang lebih ramah lingkungan, akan tetapi tidak banyak penelitian yang membahas penggunaan limbah dalam pembuatan material ramah lingkungan. Penelitian sebelumnya dengan menggunakan busa dan mortar polimer untuk mengurangi limbah styrofoam dan polimer, mengurangi beban konstruksi dan meminimalkan dimensi struktur dalam bangunan yang akan berimbas pada penghematan anggaran. Penelitian yang akan dilakukan merupakan upaya untuk menciptakan inovasi bahan baru dalam bangunan dengan menggunakan bahan limbah yang akan memberikan solusi untuk masalah industri perumahan berbiaya rendah serta upaya dalam pencapaian *green construction*. Desain *double layer* akan digunakan dalam penelitian ini yang menjadi komponen bangunan sebagai adsorber kebisingan pada penggunaannya dalam bangunan di

kawasan yang cukup bising seperti perumahan dekat bandara, jalan raya maupun yang berdekatan dengan kawasan industri.

## **5.2 REVIEW TEORI**

Pada penelitian ini, dilakukan pengurangan bahan semen dengan substitusi serbuk cangkang kerang. Material komposit ini juga ditambahkan bahan poliuretan sebagai bahan penguat (dengan sistem perekatan yang baik). Diketahui bahwa cangkang kerang memiliki kandungan kalsium (zat kapur) yang dapat meringankan berat material serta membuat tampilan visual berwarna terang. Visual ini terjadi tergantung dengan jenis cangkang kerang yang digunakan. Penelitian ini dilakukan dalam rangka menyempurnakan penelitian sebelumnya (dari 2010-2015) serta melengkapi *Road map* penelitian Inovasi perumahan modular *pre-fab* menggunakan *double layer* sebagai respon terhadap kebutuhan perumahan rendah biaya di daerah perkotaan dengan tingkat kebisingan cukup tinggi.

### **5.2.1 Beton Cangkang Kerang dan Beton Agregat Polimer**

Mortar polimer dibuat dengan cara memanaskan limbah polimer, mortar polimer ini digunakan dalam beton sebagai agregat kasar. Kulit cangkang kerang digiling hingga halus, sebagai agregat halus untuk menggantikan semen dan kerikil. Material yang dihasilkan diuji kuat tekan dan kepadatannya berdasarkan metode DOE dengan acuan pengujian ASTM 109 / C 109M-08 (ASTM, n.d.-a) [1] serta uji akustik dengan parameter pengujian pada ASTM E 2611-09 ((ASTM, n.d.-b) [2]

Plastik secara umum digunakan sebagai pembungkusbarang ataupun makanan seperti mie instan, makanan ringan, serta makan lainnya. Sifat plastik yang tidak mudah terdegradasi di alam memicu polusi tanah serta air. Penggunaan polimer sebagai *filler* pada material beton hasil dari degradasi limbah plastik dengan perlakuan tertentu akan mengurangi limbah plastik. Selain itu polimer diketahui dapat meringankan berat struktur beton sehingga dapat mengurangi bebas struktur pada industri sturktus

bangunan [4,5]. Yamada., Et.al mencatat bahwa polimer merupakan bahan sejenis agregat beton daur ulang (RCA) [6]. Yang dapat digunakan sebagai pembuat efek plastis dalam semen yang berfungsi untuk meningkatkan daya tahan struktur beton. Penelitian lain menunjukkan bahwa agregat polimer dapat meningkatkan ketahanan terhadap air dan fragmentasi seperti jamur [6].

Sebelumnya telah dilakukan penelitian mengenai beton polimer dengan menggunakan bahan berukuran nano untuk mengamati pengaruh ukuran bahan terhadap peningkatan kuat tekan mortar [7]. Penelitian tentang beton dengan menggunakan cangkang kerang sebagai *filler* juga telah dilakukan dengan variasi jenis kerang yang digunakan [8]. Penetrasi terhadap keasaman pada cangkang kerang dilakukan dengan cara dicuci dengan air dilanjutkan dengan kalsinasi, penambahan semen dan poliuretan ataupun polistiren dimaksudkan untuk menghasilkan busa pada beton cangkang kerang [9].

### **5.2.2 Beton berpolimer**

Struktur molekular material poliuretan berbentuk pori, hal ini menyebabkan kinerja penyerapan terhadap udara sangatlah baik. Dalam penelitian mengenai efek penambahan magnesium hidroksida terhadap efisiensi penyerapan dari busa poliuretan. Polimerisasi katalis pada pengujian poliuretan dalam katalis non reaktif dan reaktif pada pembuatan poliuretan dibutuhkan untuk proses terbentuknya gel dan mengurangi pembentukan asap (*fogging*) pada produk akhir [10]. Penelitian lain mengenai poliuretan [11] menunjukkan ketika proses pembuatan buih poliuretan, karbon dioksida terbentuk dengan jumlah yang cukup besar ketika bereaksi dengan air. Hal ini menyebabkan adanya jarak yang terbentuk pada polimer, dengan pemberian tekanan pada wadah yang digunakan dalam proses pembuatan polimer menghasilkan volume yang meningkat serta densitas yang menurun.

## **5.3 METODE PENELITIAN**

Metode DOE digunakan untuk mengetahui performa material yang dihasilkan, berdasarkan parameter ASTM 109 / C 109M – 08 [1] untuk pengujian modulus

elastisitas. Uji akustik dilakukan berdasarkan parameter ASTM E 2611-09 [2] dan ASTM E 413 [3]. Model material dibuat dengan konsep *double layer* yang diaplikasikan menjadi komponen dinding pada bangunan sebagai pedekatan estetik yang dipilih.

### 5.3.1 Performa secara Struktural pada Beton

Inovasi material hasil dilakukan dengan mengganti agregat kasar dengan limbah polimer, dan agregat halus dengan pasir lokal. Metode inovasi ini dipilih berdasarkan pada komponen dari agregat beton yaitu agregat kasar, agregat halus dan semen sebagai pengikat. Berdasarkan penelitian sebelumnya, rasio terbaik antara semen dan SCBA yaitu 0,8 : 0,2 , rasio ini menjadi acuan pada campuran mortar polimer. Sampel kubik yang dihasilkan ditimbang dan dicatat sebagai berat sampel awal (m), panjang (p), lebar (l) dan ketebalan (t). Volume sampel dihitung berdasarkan perkalian p x l x t. Nilai volume yang didapatkan, menjadi dasar perhitungan densitas material yang sesuai persamaan (1)

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

di mana  $\rho$  adalah kepadatan material ( $\text{gr} / \text{cm}^3$ ), m adalah berat awal sampel material (gram) dan V adalah volume sampel ( $\text{cm}^3$ ). Persamaan kuat tekan didapat dari nilai beban per sentimeter persegi sampel material berbentuk kubik (ASTM, n.d.-a) [1],

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2)$$

di mana  $\sigma$  adalah kuat tekan ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) atau (Mpa), F adalah beban (kg) atau Newton (N) dan A adalah luas permukaan ( $\text{cm}^2$ ) atau meter persegi ( $\text{m}^2$ ).

### 5.3.2 Performa Akustik Beton

Pengujian akustik menggunakan tabung impedansi dengan frekuensi 1/3 oktaf. Detektor menangkap gelombang suara dan diteruskan pada *output* yang terhubung dengan *Personal Computer* (PC), pengujian ini berdasarkan parameter ASTM E413-

04 [3] (ASTM, n.d.-c) [1]. Koefisien absorpsi merupakan koefisien absorpsi suara normal. Koefisien serapan suara ( $\alpha_0$ ) dihitung melalui pengukuran tekanan gelombang suara yang muncul akibat dari tumbukan dengan permukaan material dan terjadi reflektansi. Material penyerap dapat dikatakan baik apabila memiliki nilai koefisien minimum 0,2. Koefisien absorpsi dapat dihitung melalui persamaan:

$$\alpha_0 = \frac{4}{n + \left(\frac{1}{n}\right) + 2} \quad (3)$$

$$n = 10^{\left(\frac{L}{20}\right)} \quad (4)$$

dimana, ( $\alpha_0$ ) adalah koefisien absorpsi suara, n adalah rasio *standing wave*, dan L adalah perbedaan tekanan suara (dB). Pengujian koefisien absorpsi dilakukan dengan menggunakan tabung impedansi lengkap dengan seperangkat mikrofon sebagai *input* suara pada frekuensi rendah hingga frekuensi tinggi. *Sound transmission Class* (STC) merupakan rata-rata hilangnya transmisi suara dari material karena menurunnya intensitas suara akibat dari jarak frekuensi yang lebar. Skala yang digunakan pada pengujian akustik di laboratorium berikisar antara 125-4000 Hz. Semakin besar nilai STC, semakin baik pula material dalam menurunkan intensitas suara. Nilai STC ditentukan berdasarkan parameter ASTM E 413 [3] (ASTM, n.d.-c) [1]

. Berbeda dengan pengujian koefisien absorpsi, pada pengujian *Sound Transmission Loss* (STL) menggunakan tabung impedansi lengkap dengan empat buah mikrofon dengan sensitivitas terhadap frekuensi suara yang tinggi. Nilai STL dihitung dengan mengetahui rasio kekuatan suara yang ditransmisikan ( $W_t$ ) dengan kekuatan suara datang/awal ( $W_i$ ) menuju permukaan material, yang sesuai dengan persamaan berikut:

$$TL = 10 \log \frac{W_t}{W_i} \quad (5)$$

$$TL = 10 \log \frac{1}{r} \quad (6)$$

dimana,  $r$  adalah koefiensi transmisi suara, yaitu rasio kekuatan suara awal ( $W_i$ ) terhadap kekuatan suara datang/awal ( $W_t$ ) pada material.

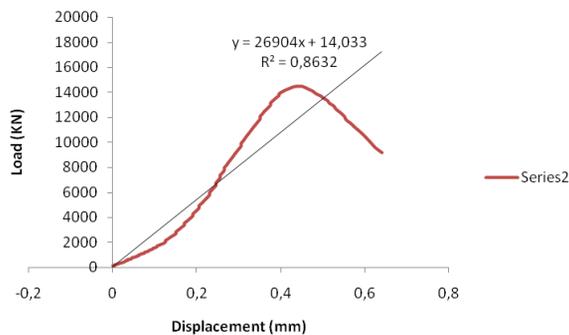
### 5.4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian kuat tekan pada beton *foamed* dibandingkan dengan beton yang menggunakan agregat polimer dapat dilihat pada tabel V.1

Tabel V.1. Perbandingan Kuat tekan Beton Polimer dan Beton *Foamed*

Sampel	Umur (hari)	Berat (gram)	Beban (Ton)	Compressive strength (kg/cm <sup>2</sup> )	keterangan
<i>Polymeric Concrete</i>	7	1.690	10.76	107.61	Dimensi kubus 5x5x5 cm <sup>3</sup>
	7	1.720	11.21	112.14	
	28	1.750	13.37	133.69	
<i>Foamed Concrete</i>	7	1.600	1.02	40.84	
	7	1.600	0.80	32.01	
	28	1.600	1.45	57.85	

Kuat tekan pada beton polimer sebesar 107,61-133,69 kg/cm<sup>2</sup>, sedangkan pada beton *foamed* sebesar 32,01-57,85 kg/cm<sup>2</sup>. Nilai yang ditunjukkan pada kedua sampel material beton yang diujikan menunjukkan bahawa beton polimer memiliki kuat tekan yang lebih besar dibandingkan dengan beton *foamed*.

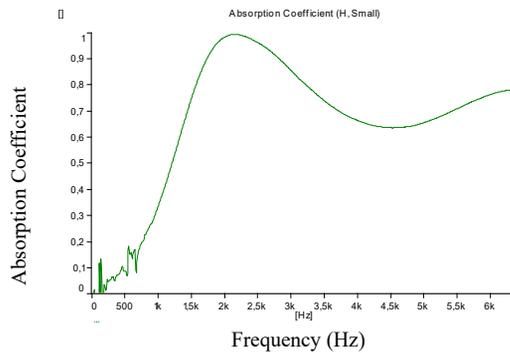


Gambar 5.1. Modulus Elastisitas Beton *Foamed*

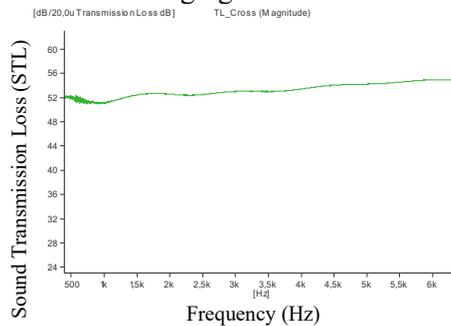
Hasil pengujian modulus elastisitas dapat dilihat pada gambar di atas. Modulus elastisitas ( $E$ ) merupakan ukuran kekakuan bahan, yang digunakan mengetahui

karakter keelastisan bahan material. Data hasil pengukuran modulus elastisitas berupa kurva *Strain Stres* akan memunculkan persamaan MOE, yaitu gradien linier elastisitas material yang diperoleh dari model kurva yang dihasilkan. Persamaan modulus eleastisitas yang diketahui sebagai hukum Hook merupakan tegangan beton dihasilkan dari perkalian modulus eleastisitas dengan regangan. Nilai MOE material beton cangkang kerang sebesar 382,15 Mpa dengan persamaan regresi linier ( $R^2$ ) sebesar 0,8632. Persamaan kuadrat korelasi MOE yaitu:

$$y = 26904x + 14.033 \quad (7)$$



Gambar 5.2. Koefisien Absorpsi beton *foamed* dengan cangkang kerang ebagai agregat halus



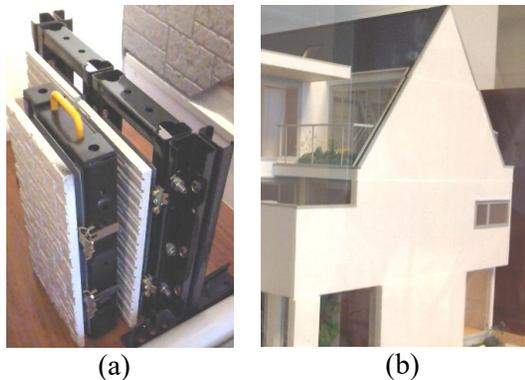
Gambar 5.3. *Sound Transmission Loss* beton *foamed* dengan cangkang kerang ebagai agregat halus

Gambar 5.2. dan 5.3. merupakan hasil pengujian kemampuan akustik material beton di laboratorium akustik UNS. Kurva yang ditunjukkan gambar 5.2 yang merupakan hasil

uji koefisien absorpsi memiliki kecenderungan semakin meningkat dengan nilai koefisien absorpsi tertinggi mendekati 1 pada frekuensi 2000 Hz. Kinerja akustik material yang ditunjukkan pada gambar 5.2 menunjukkan hasil yang sangat baik dengan rentang frekuensi > 2000 Hz. Sedangkan uji *Sound Transmission Loss* pada gambar 5.3. menunjukkan nilai yang cukup tinggi sebesar > 51 dB. Kedua pengujian yang dilakukan membuktikan bahwa material beton ringan dengan tebal 1,8 cm merupakan material termasuk material yang absorptif. Konsep panel dinding pada penelitian ini merupakan penerapan beton *foamed* dengan agregat *shell-fine* dari model perencanaan model *double layer* yang ditunjukkan gambar dibawah ini.



Gambar 5.4. (a) Beton *Foamed* dengan cangkang kerang sebagai agregat halus untuk panel dinding (b) Konsep panel lapis ganda pada dinding



Gambar 5.5. (a) Rencana panel dinding lapis ganda dengan komposit serat alam (FRP) sebagai lapis kedua, (b) konsep modern rumah terang dengan panel dinding gandan yang terang [12]

Pembiayaan pembangunan dengan konsep panel dinding yang menggunakan beton *foamed* akan lebih ekonomis. Hal ini menjadi salah satu keuntungan pembangunan bangunan, karena menggunakan material yang lebih ringan, berbahan dasar limbah juga dapat mengurangi dimensi struktur. Panel dinding ganda menjadikan bangunan lebih lentur atau tidak kaku, dimana kekakuan berlebih menyebabkan bangunan mudah retak, sifat elastis ini berdasarkan parameter bangunan di kawasan rawan gempa. Pada lapis kedua (*outer*) dapat divariasikan dengan pola batu alam, sebagai nilai estetika secara visual dengan nilai kealamiannya. Sehingga tidak memerlukan *finishing* dengan bahan lain seperti granit, batu ataupun keramik karena harganya yang cukup mahal.

## RINGKASAN

Pengembangan berkelanjutan memerlukan inovasi material baru dengan memanfaatkan limbah sebagai material pengganti. Hal ini menjadi pertimbangan dalam mengurangi efek emisi global, mengingat masalah emisi gas CO<sub>2</sub> yang cukup besar sebagai penyebab pemanasan global. Dalam ranah konstruksi sebagai salah satu penyebab emisi CO<sub>2</sub> harus menunjukkan perannya dalam mengurangi penggunaan bahan semen untuk mewujudkan konsep Konstruksi Hijau. Salah satu upaya yang dapat dilakukan melalui pendekatan pada pembuatan material akustik menggunakan bahan limbah terkait dengan konstruksi bangunan di kawasan perkotaan yang bising. Bahan akustik memiliki peran estetika pada bangunan terkait dengan tekstur permukaan pada komponen bangunan.

Penggunaan bahan material dengan kinerja akustik yang baik dapat memberikan manfaat, yaitu terhindar dari kebisingan yang dapat menyebabkan ketidaknyamanan kehidupan sehari-hari. Inovasi material akustik *double layer* yang terbuat dari limbah cangkang kerang dengan campuran polimer berupa poliuretan menjadi alternatif pemilihan komponen bangunan bagi dunia konstruksi. Material ini

juga dapat menghemat anggaran pembangunan karena menggunakan bahan limbah serta memiliki ketahanan terhadap gempa karena bahannya yang ringan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASTM. (n.d.-a). American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars.
- [2] ASTM. (n.d.-b). ASTM E2611-09 Standard Test Method for Measurement of Normal Incidence Sound Transmission of Acoustical Materials Based on the Transfer Matrix Method.
- [3] ASTM. ASTM E413-04 Classification for Rating Sound Insulation.
- [4] Spaeth, V., & Djerbi Tegguer, A. (2013). Improvement of recycled concrete aggregate properties by polymer treatments. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 2(2), 143–152.
- [5] Sung, G., Kim, J. W., & Kim, J. H. (2016). Fabrication of polyurethane composite foams with magnesium hydroxide filler for improved sound absorption. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 44, 99–104.
- [6] Yamada, K., Sugamata, T., & Nakanishi, H. (2006). Fluidity Performance Evaluation of Cement and Superplasticizer - *\_pdf*. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 4(2), 241–249.
- [7] Setyowati, E., & Purwanto. (2015). The Acoustical Characteristics of Polymer Mortar as a Green Concrete Material. In *The 14th International Conference on Quality in Research* (pp. 983–987). Mataram, Lombok, Indonesia: Faculty of Engineering - Universitas Indonesia.
- [8] Setyowati, E., & Hardiman, G. (2015). The Acoustical Performances of Oyster Shell Waste Based Green Concrete Materials. *GSTF Journal of Engineering Technology (JET)*, 3(3), 1–6.
- [9] Chiou, I. J., Chen, C. H., & Li, Y. H. (2014). Using oyster-shell foamed bricks to neutralize the acidity of recycled rainwater. *Construction and Building Materials*, 64, 480–487.
- [10] Dong, Y., Ni, Q.-Q., & Fu, Y. (2015). Preparation and characterization of water-borne epoxy shape memory composites containing silica. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 72, 1–10.
- [11] Golpazir, I., Ghalandarzadeh, A., Jafari, M. K., & Mahdavi, M. (2016). Dynamic properties of polyurethane foam-sand mixtures using cyclic triaxial tests. *Construction and Building Materials*, 118, 104–115.
- [12] Setyowati, E.; Pandelaki, E.E.; Supriyo, E. The Comparison of treated coco-husk composite and its applications in architectural interior. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Energy, Environmental and Information System (ICENIS 2018)*, Semarang, Indonesia, 14–15 August 2018; Volume 73, pp. 7–11.

## **BAB 6**

### **KESIMPULAN**

Penelitian yang berkaitan dengan material arsitektur hijau masih sangat terbuka peluangnya untuk dikembangkan. Berdasarkan penelitian ini, maka material bangunan berbahan dasar beton dan biomass seperti enceng gondok, rami, kenaf dan serat tumbuhan lainnya dapat dikembangkan lebih luas lagi. Ada beberapa kesimpulan penting dari penelitian ini yaitu:

1. Pembuatan material komposit dengan menggunakan bahan limbah yaitu poliuretan dibentuk dengan berbagai variasi luas. Material meton yang dihasilkan memiliki warna serta tekstur yang berbeda-beda untuk meningkatkan nilai ketertarikan secara visual dalam aplikasinya sebagai penyerap suara.
2. Green Architecture memiliki konsep menggunakan bahan-bahan yang pada umumnya sebagai limbah menjadi material berkelanjutan serta green construction dengan berbagai inovasi yang dapat dikembangkan baik dengan penambahan bahan campuran lain dengan tujuan utama untuk mengurangi penggunaan bahan material yang menghasilkan tingkat emisi berbahaya yang cukup besar seperti bahan semen yang pada pembuatannya menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> cukup besar.
3. Performa akustik pada material polimerik dari tiga jenis cangkang kerang menunjukkan bahwa inovasi material dengan perlakuan penambahan resonator, lapisan berserat dan rongga akan meningkatkan penyerapan suara di atas 0,2 pada frekuensi di atas 2000 Hz. Semakin tebal material polimerik cangkang kerrang, maka kemampuan penyerapan dan insulasi suara akan semakin baik. Komposit cangkang kerrang jenis Placuna placenta tebal 15 - 30 mm memiliki performa STL 54,5 - 58 dB.
4. Komposit serat rami dan kenaf memiliki performa penyerapan suara yang membaik dengan penambahan rongga pada material. Serat kenaf dengan ketebalan 15 mm memiliki frekuensi broadband yang lebih luas pada kinerja penyerapan suaranya setelah diberikan perlakuan dengan dimasukkannya rongga ekor tunggal. Meskipun puncak penyerapan suara serat kenaf tidak setinggi serat rami, pencapaian serat kenaf dapat dianggap sebagai bahan akustik terutama untuk keperluan interior.
5. Pembiayaan pembangunan dengan konsep panel dinding yang menggunakan beton foamed akan lebih ekonomis. Hal ini menjadi salah satu keuntungan pembangunan bangunan, karena menggunakan material yang lebih ringan, berbahan dasar limbah juga dapat mengurangi dimensi struktur. Panel dinding ganda menjadikan bangunan lebih lentur atau tidak kaku, dimana kekakuan berlebih menyebabkan bangunan mudah retak, sifat elastis ini berdasarkan parameter bangunan di kawasan rawan gempa.

## BIODATA

---



Mulai bekerja di Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Indonesia sejak tahun 1997 sampai dengan sekarang. Prof. Dr. Ir. Setyowati, MT juga menjalin kerjasama dan menjadi anggota AMER (*Association of Malaysian on Environmental Behaviour Researcher*) sejak 2013, Ikatan Arsitek Indonesia (IAI) sejak tahun 2005. Beberapa Hibah Penelitian yang telah diterima adalah Hibah dari Ditlitabmas-Dikti Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi: MP3EI, Hibah Riset PTUPT Kemenristekdikti, Hibah Riset PPUPT Kemenristekdikti, Hibah Disertasi Doktor, Hibah Bersaing dan PKUM. Output penelitian yang sudah dihasilkan adalah: terdaftar Paten Material Akustik berupa kramik berpori berbentuk hexagonal (*granted patent*) dan octagonal dan Material batu bata dari polymer dan cangkang kerang.



Lahir di Kota Bandar Lampung, 27 Oktober 2000, Ath Thaaariq Rifqi Oktafri adalah mahasiswa Universitas Diponegoro program studi S1 Arsitektur. Ia pernah bersekolah di SD TMI (2007-2013), SMP TMI (2013-2016), SMA TMI (2016-2019) dan masuk Universitas Diponegoro pada tahun 2020 yang awalnya sempat di program studi Perencanaan Wilayah dan Kota pada tahun 2019, kemudian pindah ke Departemen Arsitektur pada tahun 2020. Kemampuan dalam mendisain dan menulis ditunjukkan sejak kepindahannya di Departemen Arsitektur Universitas Diponegoro. Aktif berorganisasi dalam Himpunan Mahasiswa Arsitektur dan Senat Mahasiswa Fakultas Teknik, Ath Thaaariq Rifqi Oktafri sempat mendapat Top 15 besar dalam lomba sayembara desain arsitektur di Universitas Negeri Semarang dan merupakan atlit tenis sejak junior hingga kini.

