

**INOVASI PEMANFAATAN MATERIAL KOMPOSIT  
SEBAGAI MATERIAL PENYERAP SUARA DENGAN  
BERBAGAI VARIASI LIMBAH**

*Innovation in Utilizing Composite Materials as Sound Absorbing  
Materials with Various Wastes*

**ARIAWAN BAYU WICAKSONO  
D022191007**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN  
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

**PENGAJUAN TESIS**

**INOVASI PEMANFAATAN MATERIAL KOMPOSIT  
SEBAGAI MATERIAL PENYERAP SUARA DENGAN  
BERBAGAI VARIASI LIMBAH**

Tesis

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar magister  
Program Studi Teknik Mesin

Disusun dan diajukan oleh

**ARIAWAN BAYU WICAKSONO**

**D022191007**

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

## LEMBAR PENGESAHAN

### INOVASI PEMANFAATAN MATERIAL KOMPOSIT SEBAGAI MATERIAL PENYERAP SUARA DENGAN BERBAGAI VARIASI LIMBAH

Disusun dan diajukan oleh

**ARIAWAN BAYU WICAKSONO**

**D022191007**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Teknik Mesin  
Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

pada tanggal 8 Februari 2023

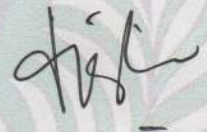
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui  
Komisi Penasehat,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

  
**Prof. Dr. Ir. Zulkfli Djafar, M.T**  
NIP. 196506301991031004

  
**Dr. Eng. Hj. Asniawaty, S.T., M.T**  
NIP. 197109251999032001

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin

Ketua Program Studi  
Magister Teknik Mesin

  
**Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT**  
NIP. 197309262000121002

  
**Dr. Eng. Novriany Amaliyah, S.T., M.T**  
NIP. 197911122008122002



## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Ariawan Bayu Wicaksono  
Nomor mahasiswa : D022191007  
Program studi : Teknik Mesin / Konstruksi Mesin

Dengan ini saya menyatakan bawa, tesis berjudul **“Inovasi Pemanfaatan Material Komposit Sebagai Material Penyerap Suara Dengan Berbagai Variasi Limbah”** adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Prof. Dr. Ir. Zulkifli Djafar, M.T., dan Dr.Eng. Hj. Asniawaty, S.T., M.T.). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di Jurnal (*Key Engineering Materials, Volume 939 – 972, ISSN: 1662-9795*) sebagai artikel dengan judul *“Sound Absorption Coefficient Analysis for Composite Made of Agricultural Waste”*

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 8 Februari 2023

Yang menyatakan



Ariawan Bayu Wicaksono

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan kepada kehadiran Allah SWT atas anugerah, taufik, hidayah dan inayah-Nya yang diberikan kepada penulis sehingga tesis dengan judul **“Inovasi Pemanfaatan Material Komposit Sebagai Material Penyerap Suara Dengan Berbagai Variasi Limbah”** ini dapat diselesaikan pada tepat waktunya. Shalawat serta salam atas junjungan Nabiullah Muhammad SAW, panutan yang telah membawa kita dari zaman jahiliyah ke zaman berilmu. Penulisan tesis ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Magister Teknik di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Semoga adanya tesis ini dapat memberikan manfaat bagi khazanah pengetahuan ilmu teknik mesin untuk pengembangan keilmuan di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak selama menyelesaikan tesis ini, tesis ini tidak akan mungkin dapat penulis selesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan rasa hormat dan terimakasih sedalam-dalamnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Agus Tokhid, S.E., MM., dan Kesuma yang selalu mendampingi dan mendoakan.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc., selaku rektor Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Dr.Eng. Jalaluddin, S.T., M.T., selaku Ketua Departemen Teknik Mesin.
4. Ibu Dr.Eng. Novriany Amaliyah, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Zulkifli Djafar, MT., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan waktu, arahan, dan masukan selama proses pengerjaan tesis ini.

6. Ibu Dr.Eng. Hj. Asniawaty, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktu, arahan, dan masukan ditengah kesibukannya untuk proses pengerjaan tesis ini.
7. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, M.T., Dr. Hairul Arsyad, S.T., M.T., dan Dr. Muhammad Syahid, S.T., M.T., selaku komisi penguji yang telah memberikan saran dalam menyelesaikan tesis ini.
8. Bapak/Ibu Dosen Fakultas Teknik Departemen Teknik Mesin atas bimbingan dan arahan, didikan, serta motivasi yang telah diberikan selama masa perkuliahan.
9. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuannya selama penulis menempuh perkuliahan terutama kepada staf Departemen Teknik Mesin Ibu Sita, Pak Iwan, dan Pak Mansur.
10. Muhammad Saleh, dan Nur Annisa atas bantuan dan kerjasama sebagai satu tim selama masa penelitian.
11. Saudara Karyoso Ramadhan selaku penanggung jawab *Acoustic Workshop* Teknik Arsitektur Universitas Hasanuddin, Gowa yang telah mendampingi selama masa pengambilan data.
12. Teman-teman seperjuangan Magister Teknik Mesin angkatan 2019 (1), 2019 (2), dan 2020 (1) yang telah menjadi saudara selama di bangku perkuliahan.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan ini masih belum sempurna. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan thesis ini. Semoga thesis ini bermanfaat bagi semua pihak.

Penulis,  
Ariawan Bayu Wicaksono

## ABSTRAK

**Ariawan Bayu Wicaksono.** Inovasi Pemanfaatan Material Komposit Sebagai Material Penyerap Suara Dengan Berbagai Variasi Limbah (dibimbing oleh **Zulkifli Djafar, Asniawaty**).

Seiring dengan bertambahnya kebutuhan manusia akan beras dan kayu mengakibatkan bertambahnya jumlah limbah yang dihasilkan seperti limbah jerami padi, limbah sekam padi, dan limbah serbuk kayu. Limbah tersebut masih jarang dilirik bagi sebagian orang, sehingga masih sangat kurang dalam pemanfaatannya. Tujuan penelitian ini ialah memanfaatkan material limbah tersebut sebagai material penyerap suara, mengetahui pengaruh dari variasi material, fraksi volume, ketebalan sampel, lubang rongga pada sampel terhadap nilai koefisien penyerapan suara yang dihasilkan oleh sampel, serta untuk mengetahui nilai kekuatan mekanis sampel. Metode penelitian yang digunakan ialah dengan memproses masing-masing material limbah menjadi material komposit menggunakan matrik polyester dengan variasi fraksi volume, ketebalan sampel, dan lubang rongga, kemudian dilakukan pengujian koefisien penyerapan suara sampel komposit dengan menggunakan tabung impedansi dua mikrofon tipe 4206 sesuai dengan standar ASTM E1050 pada rentang frekuensi 200 - 1.600 Hz, dan kemudian dilakukan pengujian mekanis berupa uji tarik dengan standar ASTM D638-01, uji lentur dengan standar ASTM D790, dan uji dampak dengan standar ASTM D5942-96. Hasil yang didapatkan ialah bahwa komposit jerami padi memiliki nilai koefisien penyerapan suara tertinggi dengan nilai  $\alpha$  maksimum didapatkan oleh sampel dengan variasi fraksi volume 30:70, ketebalan sampel 40 mm, dan diameter lubang rongga 3 mm sebesar 0,87 pada frekuensi 1.600 Hz. Adapun kekuatan mekanis tertinggi didapatkan oleh sampel SK-30 dengan nilai kekuatan tarik rata-rata sebesar 6,866 N/mm<sup>2</sup>, nilai kekuatan lentur rata-rata sebesar 16,590 MPa, dan nilai kekuatan dampak rata-rata sebesar 0,0520 Joule/mm<sup>2</sup>. Kesimpulan dari penelitian ini ialah bahwa variasi material, fraksi volume, ketebalan spesimen, dan lubang rongga berpengaruh terhadap nilai koefisien penyerapan suara yang dihasilkan, serta semakin besarnya fraksi volume serat yang digunakan pada sampel maka akan semakin tinggi nilai kekuatan mekanis yang dihasilkan.

Kata kunci: material komposit, material akustik, penyerapan suara

## ABSTRACT

**Ariawan Bayu Wicaksono.** Innovation in Utilizing Composite Materials as Sound Absorbing Materials with Various Wastes (supervised by **Zulkifli Djafar, Asniawaty**).

Along with the increasing human need for rice and wood, it increases the amount of waste produced, such as rice straw waste, rice husk waste, and sawdust waste. This waste is still rarely seen by some people, so it is still very lacking in its utilization. This study aims was to utilize the waste material as a sound-absorbing material, to determine the effect of material variations, volume fraction, sample thickness, and cavity holes in the sample on the value of the sound absorption coefficient produced by the sample, and to determine the value of the mechanical strength of the sample. The research method used is to process each waste material into a composite material using a polyester matrix with variations in volume fraction, sample thickness, and cavity holes, then testing the sound absorption coefficient of the composite sample using a two-microphone impedance tube type 4206 according to the standard ASTM E1050 in the frequency range 200 – 1,600 Hz, and then mechanical testing was carried out in the form of a tensile test with the ASTM D638-01 standard, a bending test with the ASTM D790 standard, and an impact test with the ASTM D5942-96 standard. The results obtained were that the rice straw composite had the highest sound absorption coefficient with the maximum  $\alpha$  value obtained by samples with a volume fraction variation of 30:70, a sample thickness of 40 mm, and a cavity diameter of 3 mm with  $\alpha$  value of 0.87 at frequency of 1,600 Hz. The highest mechanical strength was obtained by sample SK-30 with an average tensile strength value of 6.866 N/mm<sup>2</sup>, an average flexural strength value of 16.590 MPa, and an average impact strength value of 0.0520 Joule/mm<sup>2</sup>. The conclusion from this study is that the material variation, volume fraction, specimen thickness, and cavity affect the value of the resulting sound absorption coefficient, and the greater the fibre volume fraction used in the sample, the higher the resulting mechanical strength value.

Keywords: composite materials, acoustic materials, sound absorption



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>PENGAJUAN TESIS.....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TESIS .....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xviii</b>
<b>BAB I. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
I.1. Latar Belakang.....	1
I.2. Rumusan Masalah.....	4
I.3. Tujuan Penelitian .....	5
I.4. Manfaat Penelitian .....	5
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
II.1. Material Sekam Padi .....	6
II.2. Material Jerami Padi.....	8
II.3. Material Serbuk Kayu .....	9
II.4. Material Komposit.....	12
II.5. Teori Akustik.....	16
II.6. Material Akustik.....	20
II.7. Koefisien Absorpsi dan Metode Tabung Impedansi .....	21
II.8. Teori Pengujian Mekanis Material .....	24
II.9. Teori Metode Taguchi .....	27
<b>BAB III. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>29</b>
III.1. Lokasi dan Waktu Penelitian .....	29

III.2. Diagram Alir Penelitian .....	29
III.3. Metodologi Penelitian .....	30
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>59</b>
IV.1. Hasil Uji Akustik .....	59
IV.2. Hasil Uji Kekuatan Mekanis.....	112
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>134</b>
V.1. Kesimpulan .....	134
V.2. Saran.....	136
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>137</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>141</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1</b> Kandungan kimiawi sekam padi .....	7
<b>Tabel 2</b> Kandungan kimiawi jerami padi .....	9
<b>Tabel 3</b> Bahan penelitian .....	30
<b>Tabel 4</b> Alat penelitian .....	31
<b>Tabel 5</b> Variasi sampel penelitian .....	34
<b>Tabel 6</b> Hasil perhitungan densitas material .....	39
<b>Tabel 7</b> Komposisi material jerami padi, resin, dan katalis .....	41
<b>Tabel 8</b> Komposisi material sekam padi, resin, dan katalis .....	42
<b>Tabel 9</b> Komposisi material serbuk kayu, resin, dan katalis .....	42
<b>Tabel 10</b> Faktor dan variasi penelitian .....	52
<b>Tabel 11</b> Matriks <i>Orthogonal Array L9</i> .....	52
<b>Tabel 12</b> Matriks <i>ortogonal array</i> penelitian .....	53
<b>Tabel 13</b> Data SAC <i>Plywood</i> .....	87
<b>Tabel 14</b> Data SAC Material .....	87
<b>Tabel 15</b> Data koefisien penyerapan suara pada frekuensi 500 Hz.....	99
<b>Tabel 16</b> Nilai respon koefisien penyerapan suara pada frekuensi 500 Hz terhadap nilai rata-rata.....	99
<b>Tabel 17</b> Data koefisien penyerapan suara pada frekuensi 1.000 Hz.....	101
<b>Tabel 18</b> Nilai respon koefisien penyerapan suara pada frekuensi 1.000 Hz terhadap nilai rata-rata.....	101
<b>Tabel 19</b> Data koefisien penyerapan suara pada frekuensi 1.600 Hz.....	103
<b>Tabel 20</b> Nilai respon koefisien penyerapan suara pada frekuensi 1.600 Hz terhadap nilai rata-rata.....	103
<b>Tabel 21</b> Hasil uji tarik sampel JP20 .....	112
<b>Tabel 22</b> Hasil uji tarik sampel JP25 .....	112
<b>Tabel 23</b> Hasil uji tarik sampel JP30 .....	113
<b>Tabel 24</b> Hasil uji tarik sampel SP20 .....	114
<b>Tabel 25</b> Hasil uji tarik sampel SP25 .....	114

<b>Tabel 26</b> Hasil uji tarik sampel SP30 .....	114
<b>Tabel 27</b> Hasil uji tarik sampel SK20 .....	115
<b>Tabel 28</b> Hasil uji tarik sampel SK25 .....	116
<b>Tabel 29</b> Hasil uji tarik sampel SK30 .....	116
<b>Tabel 30</b> Hasil uji tarik rata-rata.....	117
<b>Tabel 31</b> Hasil uji lentur spesimen JP20 .....	118
<b>Tabel 32</b> Hasil uji lentur spesimen JP25 .....	118
<b>Tabel 33</b> Hasil uji lentur spesimen JP30 .....	118
<b>Tabel 34</b> Hasil uji lentur spesimen SP20.....	119
<b>Tabel 35</b> Hasil uji lentur spesimen SP25.....	120
<b>Tabel 36</b> Hasil uji lentur spesimen SP30.....	120
<b>Tabel 37</b> Hasil uji lentur spesimen SK20.....	121
<b>Tabel 38</b> Hasil uji lentur spesimen SK25 .....	121
<b>Tabel 39</b> Hasil uji lentur spesimen SK30 .....	121
<b>Tabel 40</b> Hasil uji lentur rata-rata.....	122
<b>Tabel 41</b> Hasil uji impak sampel JP20 .....	124
<b>Tabel 42</b> Hasil uji impak sampel JP25 .....	124
<b>Tabel 43</b> Hasil uji impak sampel JP30 .....	124
<b>Tabel 44</b> Hasil uji impak sampel SP20 .....	125
<b>Tabel 45</b> Hasil uji impak sampel SP25 .....	125
<b>Tabel 46</b> Hasil uji impak sampel SP30 .....	125
<b>Tabel 47</b> Hasil uji impak sampel SK20.....	127
<b>Tabel 48</b> Hasil uji impak sampel SK25 .....	127
<b>Tabel 49</b> Hasil uji impak sampel SK30.....	127
<b>Tabel 50</b> Hasil uji impak rata-rata .....	128
<b>Tabel 51</b> Sampel pembanding hubungan dari fraksi volume sampel.....	129
<b>Tabel 52</b> Sampel pembanding hubungan dari material sampel.....	131

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1</b> <i>Rockwool, glasswool, dan ceramic fiber</i> .....	4
<b>Gambar 2</b> Sekam padi.....	6
<b>Gambar 3</b> Proses penggilingan padi .....	6
<b>Gambar 4</b> Jerami padi.....	8
<b>Gambar 5</b> Proses perontokan padi secara tradisional .....	9
<b>Gambar 6</b> Serbuk kayu .....	10
<b>Gambar 7</b> Bentuk dari komposit material.....	13
<b>Gambar 8</b> Komposit serat .....	14
<b>Gambar 9</b> Komposit berlapis .....	15
<b>Gambar 10</b> Komposit partikel .....	15
<b>Gambar 11</b> Karakteristik bunyi .....	17
<b>Gambar 12</b> Fenomena absorpsi suara oleh suatu permukaan bahan .....	18
<b>Gambar 13</b> Diagram skematik tabung impedansi Brüel & Kjør .....	23
<b>Gambar 14</b> Skema uji impak .....	24
<b>Gambar 15</b> Skema uji tarik .....	25
<b>Gambar 16</b> Skema uji bending .....	26
<b>Gambar 17</b> Diagram alir penelitian .....	29
<b>Gambar 18</b> Desain cetakan panel komposit .....	39
<b>Gambar 19</b> Cetakan panel komposit.....	43
<b>Gambar 20</b> Proses pengolesan mold release wax.....	43
<b>Gambar 21</b> Material penelitian .....	44
<b>Gambar 22</b> Campuran cairan resin dan katalis .....	44
<b>Gambar 23</b> Campuran komposit.....	45
<b>Gambar 24</b> Proses penekanan cetakan komposit.....	45
<b>Gambar 25</b> Panel komposit .....	46
<b>Gambar 26</b> Sampel uji penyerapan suara .....	46
<b>Gambar 27</b> Desain cetakan lubang .....	47
<b>Gambar 28</b> Cetakan lubang rongga .....	47

<b>Gambar 29</b> Sampel uji dengan lubang rongga.....	47
<b>Gambar 30</b> Tabung impedansi tipe.....	48
<b>Gambar 31</b> Proses pengujian sampel.....	48
<b>Gambar 32</b> Pemilihan tipe tabung .....	48
<b>Gambar 33</b> <i>Environment setting</i> .....	49
<b>Gambar 34</b> Pemilihan <i>port microphone</i> .....	49
<b>Gambar 35</b> Sampel pada tabung impedansi, .....	50
<b>Gambar 36</b> <i>Signal-to-noise measurment setting</i> .....	50
<b>Gambar 37</b> Pengaturan kalibrasi mikrofon.....	51
<b>Gambar 38</b> proses pengukuran koefisien penyerapan suara.....	51
<b>Gambar 39</b> Ukuran dimensi spesimen uji tarik ASTM D638-01 .....	53
<b>Gambar 40</b> Spesimen uji tarik ASTM D638-01 .....	54
<b>Gambar 41</b> Dimensi spesimen uji lentur ASTM D790 .....	54
<b>Gambar 42</b> Spesimen uji lentur ASTM D790 .....	54
<b>Gambar 43</b> Dimensi spesimen uji impak ASTM D5942-96 .....	55
<b>Gambar 44</b> Spesimen uji impak ASTM D5942-96 .....	55
<b>Gambar 45</b> Proses uji tarik .....	56
<b>Gambar 46</b> Proses uji lentur .....	56
<b>Gambar 47</b> Posisi spesimen uji.....	57
<b>Gambar 48</b> Proses uji impak.....	57
<b>Gambar 49</b> Sudut $0^\circ$ pada alat uji .....	57
<b>Gambar 50</b> Sudut $\beta$ .....	57
<b>Gambar 51</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel JP20-T25.....	60
<b>Gambar 52</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel JP20-T30.....	61
<b>Gambar 53</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel JP20-T40.....	62
<b>Gambar 54</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel JP25-T25.....	63
<b>Gambar 55</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel JP25-T30.....	64
<b>Gambar 56</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel JP25-T40.....	65
<b>Gambar 57</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel JP30-T25.....	66
<b>Gambar 58</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel JP30-T30.....	67
<b>Gambar 59</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel JP30-T40.....	68



<b>Gambar 60</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel SP20-T25 .....	69
<b>Gambar 61</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel SP20-T30 .....	70
<b>Gambar 62</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel SP20-T40 .....	71
<b>Gambar 63</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel SP25-T25 .....	72
<b>Gambar 64</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel SP25-T30 .....	73
<b>Gambar 65</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel SP25-T40 .....	74
<b>Gambar 66</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel SP30-T25 .....	75
<b>Gambar 67</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel SP30-T30 .....	76
<b>Gambar 68</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel SP30-T40 .....	77
<b>Gambar 69</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel SK20-T25 .....	78
<b>Gambar 70</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel SK20-T30 .....	79
<b>Gambar 71</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel SK20-T40 .....	80
<b>Gambar 72</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel SK25-T25 .....	81
<b>Gambar 73</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel SK25-T30 .....	82
<b>Gambar 74</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel SK25-T40 .....	83
<b>Gambar 75</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel SK30-T25 .....	84
<b>Gambar 76</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel SK30-T30 .....	85
<b>Gambar 77</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel SK30-T40 .....	86
<b>Gambar 78</b> <i>Plywood</i> sebagai panel akustik .....	87
<b>Gambar 79</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel 2575-T30-D3 .....	88
<b>Gambar 80</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel 3070-T40-D4 .....	89
<b>Gambar 81</b> Hasil foto makro material komposit jerami padi .....	90
<b>Gambar 82</b> Hasil foto makro material komposit sekam padi .....	90
<b>Gambar 83</b> Hasil foto makro material komposit serbuk kayu .....	90
<b>Gambar 84</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel JP-T30-D3 .....	91
<b>Gambar 85</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel SP-T30-D3 .....	92
<b>Gambar 86</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel SK-T30-D3 .....	92
<b>Gambar 87</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel JP30-D0 .....	94
<b>Gambar 88</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel SP30-D0 .....	94
<b>Gambar 89</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel SK30-D0 .....	95
<b>Gambar 90</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel JP25-T40 .....	96

<b>Gambar 91</b> Koefisien penyerapan suara (NAC) sampel SP25-T40 .....	97
<b>Gambar 92</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel SK25-T40 .....	97
<b>Gambar 93</b> Hubungan antara faktor dengan respon pada koefisien.....	100
<b>Gambar 94</b> Hubungan antara faktor dengan respon pada koefisien.....	102
<b>Gambar 95</b> Hubungan antara faktor dengan respon pada koefisien.....	104
<b>Gambar 96</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel JP20 .....	105
<b>Gambar 97</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel JP25 .....	106
<b>Gambar 98</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel JP30 .....	106
<b>Gambar 99</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel SP20.....	107
<b>Gambar 100</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel SP25.....	108
<b>Gambar 101</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel SP30.....	108
<b>Gambar 102</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel SK20 .....	109
<b>Gambar 103</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel SK25 .....	110
<b>Gambar 104</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel SP30.....	110
<b>Gambar 105</b> Koefisien penyerapan suara (SAC) sampel komposit .....	111
<b>Gambar 106</b> Patahan spesimen uji tarik komposit jerami padi .....	112
<b>Gambar 107</b> Hubungan antara fraksi volume dan kekuatan tarik pada sampel komposit jerami padi .....	113
<b>Gambar 108</b> Patahan spesimen uji tarik komposit sekam padi .....	114
<b>Gambar 109</b> Hubungan antara fraksi volume dan kekuatan tarik pada sampel komposit sekam padi .....	115
<b>Gambar 110</b> Patahan spesimen uji tarik komposit serbuk kayu.....	115
<b>Gambar 111</b> Hubungan antara fraksi volume dan kekuatan tarik pada sampel komposit serbuk kayu .....	116
<b>Gambar 112</b> Hubungan antara jenis material dan kekuatan tarik pada sampel komposit .....	117
<b>Gambar 113</b> Patahan spesimen uji lentur komposit jerami padi .....	118
<b>Gambar 114</b> Hubungan antara fraksi volume dan kekuatan lentur pada sampel komposit jerami padi .....	119
<b>Gambar 115</b> Patahan spesimen uji lentur komposit sekam padi .....	119

<b>Gambar 116</b> Hubungan antara fraksi volume dan kekuatan lentur pada sampel komposit sekam padi .....	120
<b>Gambar 117</b> Patahan spesimen uji lentur serbuk kayu.....	121
<b>Gambar 118</b> Hubungan antara fraksi volume dan kekuatan lentur pada sampel komposit serbuk kayu .....	122
<b>Gambar 119</b> Hubungan antara jenis material dan kekuatan lentur pada sampel komposit .....	123
<b>Gambar 120</b> Patahan spesimen uji dampak komposit jerami padi.....	123
<b>Gambar 121</b> Hubungan antara fraksi volume dan kekuatan dampak pada sampel komposit jerami padi .....	124
<b>Gambar 122</b> Patahan spesimen uji dampak komposit sekam padi.....	125
<b>Gambar 123</b> Hubungan antara fraksi volume dan kekuatan dampak pada sampel komposit sekam padi .....	126
<b>Gambar 124</b> Patahan spesimen uji dampak komposit serbuk kayu .....	126
<b>Gambar 125</b> Hubungan antara fraksi volume dan kekuatan dampak pada sampel komposit serbuk kayu .....	127
<b>Gambar 126</b> Hubungan antara jenis material dan kekuatan dampak pada sampel komposit .....	128
<b>Gambar 127</b> Pengaruh fraksi volume sampel terhadap hubungan antara kekuatan tarik dengan SAC.....	129
<b>Gambar 128</b> Pengaruh fraksi volume sampel terhadap hubungan antara kekuatan lentur dengan SAC.....	130
<b>Gambar 129</b> Pengaruh fraksi volume sampel terhadap hubungan antara kekuatan dampak dengan SAC .....	130
<b>Gambar 130</b> Pengaruh material sampel terhadap hubungan antara kekuatan tarik dengan SAC.....	132
<b>Gambar 131</b> Pengaruh material sampel terhadap hubungan antara kekuatan lentur dengan SAC.....	132
<b>Gambar 132</b> Pengaruh material sampel terhadap hubungan antara kekuatan dampak dengan SAC .....	133

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1</b> Tabel data SAC sampel JP20.....	141
<b>Lampiran 2</b> Tabel data SAC sampel JP25.....	142
<b>Lampiran 3</b> Tabel data SAC sampel JP30.....	143
<b>Lampiran 4</b> Tabel data NAC sampel SP20 .....	144
<b>Lampiran 5</b> Tabel data SAC sampel SP25 .....	145
<b>Lampiran 6</b> Tabel data SAC sampel SP30 .....	146
<b>Lampiran 7</b> Tabel data NAC sampel SK20.....	147
<b>Lampiran 8</b> Tabel data SAC sampel SK25 .....	148
<b>Lampiran 9</b> Tabel data SAC sampel SK30 .....	149
<b>Lampiran 10</b> Tabel data SAC sampel replikasi jerami padi (JP) .....	150
<b>Lampiran 11</b> Tabel data SAC sampel replikasi sekam padi (SP).....	151
<b>Lampiran 12</b> Tabel data SAC sampel replikasi serbuk kayu (SK).....	152
<b>Lampiran 13</b> Analisis taguchi pada frekuensi 500 Hz menggunakan aplikasi Minitab.....	153
<b>Lampiran 14</b> Analisis taguchi pada frekuensi 1.000 Hz menggunakan aplikasi Minitab.....	154
<b>Lampiran 15</b> Analisis taguchi pada frekuensi 1.600 Hz menggunakan aplikasi Minitab.....	155
<b>Lampiran 16</b> Data uji tarik komposit jerami padi .....	156
<b>Lampiran 17</b> Kurva uji tarik sampel JP20.....	157
<b>Lampiran 18</b> Kurva uji tarik sampel JP25.....	158
<b>Lampiran 19</b> Kurva uji tarik sampel JP30.....	159
<b>Lampiran 20</b> Data uji tarik komposit sekam padi .....	160
<b>Lampiran 21</b> Kurva uji tarik sampel SP20 .....	161
<b>Lampiran 22</b> Kurva uji tarik sampel SP25 .....	162
<b>Lampiran 23</b> Kurva uji tarik sampel SP30 .....	163
<b>Lampiran 24</b> Data uji tarik komposit serbuk kayu .....	164
<b>Lampiran 25</b> Kurva uji tarik sampel SK20 .....	165

<b>Lampiran 26</b> Kurva uji tarik sampel SK25 .....	166
<b>Lampiran 27</b> Kurva uji tarik sampel SK30 .....	167
<b>Lampiran 28</b> Data uji bending komposit jerami padi.....	168
<b>Lampiran 29</b> Data uji bending komposit sekam padi.....	169
<b>Lampiran 30</b> Data uji bending komposit serbuk kayu .....	170
<b>Lampiran 31</b> Data uji impak komposit jerami padi.....	171
<b>Lampiran 32</b> Data uji impak komposit sekam padi.....	172
<b>Lampiran 33</b> Data uji impak komposit serbuk kayu .....	173
<b>Lampiran 34</b> Lembar penyelesaian revisi tesis .....	174

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pertumbuhan penduduk di dunia semakin melonjak dan berakibat pada bertambahnya kebutuhan penduduk. Dengan bertambahnya kebutuhan penduduk maka sektor pertanian maupun sektor perindustrian di dunia akan selalu meningkat. Hal tersebut berakibat pada beberapa persoalan sosial, salah satunya adalah persoalan limbah. Limbah merupakan hasil buangan atau sisa dari aktivitas manusia maupun alam yang tidak atau belum memiliki nilai ekonomi. Jika limbah tidak dikelola dengan baik dan benar, maka limbah akan menjadi masalah yang serius dan berdampak negatif bagi makhluk hidup terutama manusia.

Tidak hanya limbah industri saja yang menjadi persoalan besar di Indonesia tetapi juga limbah alam, salah satunya dari sektor pertanian. Menurut Ant3nio et al. (2018), produksi padi dunia dapat mencapai lebih dari 700 juta ton tiap tahunnya. Padi merupakan komoditas ketiga yang paling banyak diproduksi di dunia setelah tebu dan jagung (Buratti et al., 2018). Indonesia merupakan salah satu negara agraris di dunia dengan penghasilan dalam bidang pertanian yang cukup besar yaitu sekitar 8,1% dari lahan sebesar 45.764 km<sup>2</sup>, sehingga menyebabkan lebih banyaknya produksi beras daripada gandum (Ummah et al., 2014). Menurut (Amran et al., 2021), lebih dari 90% beras diproduksi di Asia dan Indonesia menyumbang sebesar 9.55% dari total produksi padi dunia, dimana produksi padi Indonesia pada tahun 2015 ialah 75.55 juta ton hingga pada tahun 2020 meningkat menjadi 82 juta ton.

Salah satu sektor pertanian yang banyak menghasilkan limbah ialah tanaman padi. Tanaman padi merupakan tanaman penghasil beras yang nantinya akan menjadi makanan pokok bagian sebagian besar masyarakat. Pada umumnya tanaman padi terdiri atas tangkai dan bulir gabah yang ditutupi dengan kulit yang bersisik, kasar, dan melekat pada tangkai tanaman padi. Tanaman padi menghasilkan beras yang memiliki nilai ekonomi dan juga menghasilkan limbah



berupa jerami padi dan sekam padi setelah dilakukan proses perontokan dan penggilingan pada tanaman padi.

Selain dikenal sebagai negara agraris, Indonesia pun dikenal sebagai negara dengan kekayaan hutan yang menghasilkan kayu yang jumlah dan jenisnya melimpah. Hal ini yang menjadi alasan banyaknya industri penggergajian kayu yang beroperasi di Indonesia. Pada industri penggergajian kayu, menyisakan serbuk gergaji sebanyak 10,6%, sebetan 25,9%, dan potongan 14,3%, dengan total limbah sebesar 50,8% dari jumlah bahan baku yang digunakan (Arif et al., 2019). Dari hasil pengamatan dilapangan limbah penggergajian yang dihasilkan menjadi serbuk kayu per gelondong dengan diameter 30 cm dan panjang 1 m dengan 5 kali penggergajian, tebal gergaji 0,8 cm dihasilkan 0,0088 m<sup>3</sup>/gelondong (Krisdianto, 2016).

Walaupun jerami padi, sekam padi, dan serbuk gergaji kayu tergolong sebagai limbah alam seperti yang kita ketahui bahwa limbah alam akan lebih mudah terurai, akan tetapi jika dalam jumlah banyak maka akan tetap sulit untuk dilakukan penguraian pada limbah tersebut. Dikarenakan proses penghancuran secara alami oleh limbah jerami padi dan sekam padi yang relatif lambat, maka sekitar 50% dari limbah tersebut dibakar (Axelsson et al., 2012). Jerami dan sekam padi biasanya dimanfaatkan petani sebagai campuran makanan ternak hingga dijadikan briket arang sebagai bahan bakar, dan serbuk gergaji kayu biasanya dimanfaatkan kembali sebagai alas hewan peliharaan oleh orang banyak.

Selain pemanfaatan tersebut, telah banyak dilakukan penelitian dengan menggunakan bahan limbah tersebut. Penelitian yang paling banyak ditemukan mengenai limbah jerami padi, sekam padi, dan serbuk gergaji kayu ialah dibuat sebagai material komposit yang dimana material ini sendiri biasa dimanfaatkan sebagai papan hingga pernak pernik. Material komposit merupakan hasil rekayasa gabungan dua atau lebih material dimana satu material berfungsi sebagai penguat dan material yang lainnya memiliki fungsi sebagai perekat atau pengikat. Dengan adanya pencampuran dua atau lebih material tersebut, maka diharapkan terbentuk material dengan sifat mekanik dan karakteristik yang baru dan berbeda dari material pembentuknya.

Bahan atau material komposit pada umumnya dibentuk dari dua unsur utama yaitu, serat (*fiber*) sebagai penguat dan matrik sebagai pengikat serat-serat tersebut (Banowati et al., 2017). Adapun jerami padi, sekam padi, dan serbuk gergaji kayu pada penelitian ini akan berfungsi sebagai serat yang dimana dikenal sebagai salah satu serat alami atau organik dan resin sebagai matrik pengikatnya.

Selain masalah pencemaran lingkungan oleh berbagai limbah, pencemaran suara juga menjadi salah satu masalah yang kerap dipermasalahkan. pencemaran suara (kebisingan) adalah suara yang tidak diinginkan yang diterima oleh manusia dan biasanya muncul dari banyak sumber seperti lalu lintas, pabrik atau bahkan rumah tangga (Chanlert et al., 2021). Tiuc et al. (2022) berpendapat bahwa pencemaran suara dapat mengakibatkan penurunan mood dan kualitas tidur, dan dapat meningkatkan frekuensi timbulnya penyakit ke tingkat yang lebih fatal.

Salah satu solusi untuk mengurangi paparan polusi suara ialah dengan menggunakan alat peredam suara yang dipasangkan pada interior kendaraan, interior kamar atau ruangan, dan juga interior rumah kita. Sudah banyak produk alat peredam suara yang telah diproduksi di pasaran seperti *fiber ceramic*, *glasswool*, *rockwool*, dan masih banyak lagi, akan tetapi harga dari beberapa alat peredam suara tersebut terbilang cukup mahal sehingga tidak terjangkau bagi beberapa masyarakat luas. Buratti et al. (2018), Tran et al. (2020), dan Boubel et al. (2021) sebelumnya sudah pernah melakukan penelitian untuk membuat peredam suara dengan menggunakan material sekam padi, jerami padi, dan serbuk kayu dengan matrik yang berbeda-beda, akan tetapi pada penelitian tersebut tidak berfokus untuk melakukan analisis terhadap penyerapan suara yang dihasilkan oleh material tersebut.



**Gambar 1** *Rockwool, glasswool, dan ceramic fiber*

Dengan permasalahan-permasalahan tersebut maka penulis tertarik mengangkat tema penelitian dengan judul “Inovasi Pemanfaatan Material Komposit Sebagai Material Penyerap Suara Dengan Berbagai Variasi Limbah”. Penulis ingin melakukan kajian pada material jerami padi, sekam padi, dan serbuk gergaji kayu sebagai material penyerap suara, serta sebagai syarat menyelesaikan studi pada program magister, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Hasanuddin.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan dari uraian latar belakang di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh material sampel terhadap nilai koefisien penyerapan suara yang dihasilkan?
2. Bagaimana pengaruh fraksi volume sampel terhadap nilai koefisien penyerapan suara yang dihasilkan?
3. Bagaimana pengaruh ketebalan sampel terhadap nilai koefisien penyerapan suara yang dihasilkan?
4. Bagaimana pengaruh lubang rongga pada sampel terhadap nilai koefisien penyerapan suara yang dihasilkan?
5. Bagaimana kekuatan mekanis (kekuatan tarik, kekuatan lentur, dan kekuatan impak) dari material komposit jerami padi, sekam padi, dan serbuk kayu?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Menganalisa pengaruh material sampel terhadap nilai koefisien penyerapan suara yang dihasilkan
2. Menganalisa pengaruh fraksi volume sampel terhadap nilai koefisien penyerapan suara yang dihasilkan.
3. Menganalisa pengaruh ketebalan sampel terhadap nilai koefisien penyerapan suara yang dihasilkan.
4. Menganalisa pengaruh rongga pada sampel terhadap nilai koefisien koefisien penyerapan suara yang dihasilkan.
5. Menganalisa kekuatan mekanis (kekuatan tarik, kekuatan lentur, dan kekuatan impak) dari material komposit jerami padi, sekam padi, dan serbuk kayu.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat. Adapun manfaat dari penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Dapat menambah referensi bagi pengembangan ilmu pengetahuan mengenai manfaat dari limbah sekam padi, jerami padi, dan serbuk kayu terutama sebagai material komposit.
2. Dapat memberikan data tentang sekam padi, jerami padi, dan serbuk gergaji kayu sebagai material komposit penyerap suara, sehingga diharapkan dapat menjadi alternatif baru sebagai material penyerap suara yang bernilai ekonomis.
3. Sebagai bahan kajian dalam pengembangan material komposit penyerap suara terutama dari material dasar sekam padi, jerami padi, dan serbuk kayu untuk penelitian selanjutnya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Material Sekam Padi**

Sekam padi adalah kulit atau lapisan keras yang memiliki tekstur kasar dan bersisik yang membungkus butir gabah. Pada proses penggilingan padi, sekam akan terpisah dari butir beras dan menjadi limbah dari proses penggilingan padi. Sekam padi merupakan limbah dari proses penggilingan padi dan yang jumlahnya sangat banyak dan nilai ekonomisnya sangat murah (Ngafwan, 2017).



**Gambar 2** Sekam padi

Pada proses penggilingan padi dihasilkan 72% beras, 5% dedak, dan 20-22% sekam (Fauziah et al, 2014). Adapun pendapat menurut Umrisu et al. (2018), bahwa dari proses penggilingan padi dihasilkan biasanya diperoleh sekam sekitar 20-30%, dedak antara 8-12%, dan beras giling antara 50-63,5% dari bobot awal gabah. Marques et al. (2020) menyatakan bahwa sekam padi pada umumnya memiliki densitas berkisar antara 90 – 110 kg/m<sup>3</sup>, akan tetapi sekam padi juga biasa memiliki densitas yang tinggi sekitar 100 – 160 kg/m<sup>3</sup>.



**Gambar 3** Proses penggilingan padi

Sekam padi merupakan bahan berlignoselulosa seperti biomassa lainnya namun mengandung silika yang tinggi. Kandungan kimia sekam padi terdiri atas 50 % selulosa, 25-30 % lignin, dan 15-20 % silika (Ummah et al, 2014). Adapun kandungan kimiawi pada sekam secara lengkap ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1** Kandungan kimiawi sekam padi (Eryani et al., 2018)

No	Komponen	Kandungan (%)
1	Kadar Air	9,02
2	Protein Kasar	3,03
3	Lemak	1,18
4	Serat Kasar	35,68
5	Abu	17,71
6	Karbohidrat Kasar	33,71
7	Karbon (Zat Arang)	1,33
8	Hidrogen	1,54
9	Oksigen	33,64
10	Silika	16,98

Sekam padi biasa dimanfaatkan petani sebagai bahan pakan ternak. Kendala utama dari sekam padi sebagai bahan pakan ternak yaitu nilai nutrisinya rendah, ditandai oleh kandungan serat kasar tinggi, protein dan energi rendah. Penggunaan sekam padi secara langsung atau sebagai pakan tunggal tidak dapat memenuhi asupan yang sesuai dengan kebutuhan ternak, hal ini dikarenakan rendahnya pencernaan sekam padi antara lain disebabkan oleh tingginya kandungan silika dan lignin serta adanya ikatan lignoselulosa, dan jika dikonsumsi oleh ternak akan sulit untuk dicerna bahkan dapat menimbulkan gangguan pencernaan dan produksi ternak (Kardiman et al., 2018).

Selain sebagai pakan ternak, sekam juga dikategorikan sebagai biomassa yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan seperti bahan baku industri, dan energi. Adapun menurut Putro (2011), dengan adanya komposisi kimia sekam padi dapat dimanfaatkan antara lain sebagai:

1. Bahan baku industri kimia.
2. Bahan baku industri bangunan, terutama silika ( $\text{SiO}_2$ ).
3. Sumber energi panas karena kadar selulosa yang cukup tinggi sehingga dapat memberikan pembakaran yang merata dan stabil.



Sekam padi merupakan limbah hasil dari proses penggilingan padi yang hasilnya dapat melimpah dan jika dilakukan penanganan yang tidak tepat, maka akan menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan.

## **2.2 Material Jerami Padi**

Jerami padi merupakan tanaman padi yang telah diambil buah / gabahnya setelah dilakukan proses perontokan tanaman padi, sehingga tinggal tangkai dan daunnya yang tersisa. Menurut Rodiawan et al. (2017), jerami padi adalah batang padi yang memiliki panjang 40–60 cm dan berupa ruas-ruas yang bagian dalamnya berongga. Jerami merupakan limbah pertanian terbesar, dan karena adanya faktor teknis dan ekonomis sehingga jerami padi belum sepenuhnya dapat dimanfaatkan dengan baik.



**Gambar 4** Jerami padi

Beberapa petani memanfaatkan jerami padi sebagai penutup tanah pada saat menanam tanaman palawija, dan hanya sebagian petani yang memanfaatkan jerami sebagai pakan ternak alternatif pada saat musim kering. Hal tersebut dikarenakan pada saat musim kering sangat sulit untuk mendapatkan jerami padi yang hijau.

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik, produksi padi nasional mencapai 71,9 juta ton per tahun pada tahun 2011 dengan produksi jerami padi dapat mencapai 12-15 ton per hektar per panen tergantung pada lokasi dan jenis varietas tanaman padi yang digunakan (Saidah et al., 2018). Hal ini tentu saja membuat jerami padi menjadi salah satu limbah pertanian terbesar di Indonesia.



**Gambar 5** Proses perontokan padi secara tradisional

Jerami padi merupakan salah satu biomassa yang memiliki komposisi atau kandungan kimiawi di dalamnya. Densitas jerami padi pada umumnya berkisar antara  $100 - 200 \text{ kg/m}^3$  (Axelsson et al. 2012). Adapun menurut Eryani et al. (2018) kandungan kimiawi yang terdapat pada jerami padi ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2** Kandungan kimiawi jerami padi (Eryani et al., 2018)

No	Komponen	Kandungan (%)
1	Hemiselulosa	27,5
2	Selulosa	39,1
3	Lignin	12,5
4	Abu	11,5

Selain pemanfaatannya dalam bidang pertanian, beberapa orang mencoba untuk memanfaatkan sekam padi sebagai bahan campuran pada material komposit. Sebagai bahan campuran bahan komposit, jerami padi memiliki keunggulan yaitu jumlahnya yang banyak sehingga mudah didapatkan, dan juga ramah terhadap lingkungan. Akan tetapi dikarenakan jerami padi biasanya memiliki ukuran serat yang tidak seragam satu sama lain, sehingga dapat mempengaruhi tegangan tariknya (Nana Nasuha et al., 2020).

### 2.3 Material Serbuk Kayu

Kayu merupakan salah satu hasil alam yang melimpah dan merupakan bahan mentah yang sudah dimanfaatkan oleh manusia sejak masa lampau. Kebutuhan manusia akan kayu selalu meningkat dari tahun ke tahun, hal ini disebabkan kayu sering kali digunakan oleh manusia sebagai bahan bangunan rumah hunian maupun dijadikan sebagai furnitur. Menurut Saptari et al. (2016),

Kebutuhan kayu tersebut diperoleh dari penebangan pohon di hutan alam dan sebagian lagi dipenuhi dari hutan tanaman.

Dengan banyaknya permintaan kayu, maka makin banyak perusahaan maupun industri penggergajian kayu. Dari industri penggergajian banyak dihasilkan limbah berupa serbuk kayu dan potongan kayu. Adapun menurut Puja (2011) menyatakan pada komposisi limbah pada kegiatan pemanenan dan industri pengolahan kayu ialah sebagai berikut:

1. Pada pemanenan kayu, limbah umumnya berbentuk kayu bulat, mencapai 66,16%.
2. Pada industri penggergajian limbah kayu meliputi serbuk gergaji 10,6%. Sebetan 25,9% dan potongan 14,3%, dengan total limbah sebesar 50,8% dari jumlah bahan baku yang digunakan.
3. Limbah pada industri kayu lapis meliputi limbah potongan 5,6%, serbuk gergaji 0,7%, sampah vinir basah 24,8%, sampah vinir kering 12,6% sisa kupasan 11,0% dan potongan tepi kayu lapis 6,3%. Total limbah kayu lapis ini sebesar 61,0% dari jumlah bahan baku yang digunakan.



**Gambar 6** Serbuk kayu

Serbuk kayu merupakan limbah dari hasil penggergajian kayu yang sangat melimpah, sehingga dibutuhkan penanganan yang tepat dalam mengolahnya. Sebelum melakukan pengolahan terhadap limbah serbuk kayu ada baiknya kita mengetahui sifat-sifat dari limbah tersebut agar tidak terjadi kesalahan pada saat mengolahnya. Serbuk gergaji memiliki karakteristik yang mirip dengan kayu tetapi karena dalam bentuk partikel maka beberapa sifat struktural telah berubah (Rominiyi et al., 2017). Adapun menurut Hidayat (2017) mengemukakan

pendapat tentang beberapa sifat-sifat yang dimiliki serbuk kayu yaitu sebagai berikut:

1. Sifat fisik serbuk kayu

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

2. Sifat higroskopik serbuk kayu

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

3. Sifat mekanis serbuk kayu

Kayu bersifat anisotrop (non isotropic material), dengan kekuatan yang berbeda – beda pada berbagai arah . Sel kayu jika mendapat gaya tarik sejajar serat akan mengalami patah tarik sehingga kulit sel hancur dan patah. Jika gaya tarik terjadi pada arah tegak lurus serat, maka gaya tarik menyebabkan zat lekat lignin akan rusak. Dukungan gaya tarik pada arah tegak lurus serat jauh lebih kecil dibandingkan dengan pada arah sejajar serat.

Menurut Rominiyi et al. (2017), densitas serbuk kayu pada umumnya berkisar antara 150 – 200 kg/m<sup>3</sup>. Bagi sebagian orang limbah serbuk kayu merupakan sampah dan kemudian dibuang atau bahkan dibakar. Hal tersebut malah akan membuat pencemaran lingkungan dan juga polusi udara. Menurut Bakri et al. (2006) Serbuk gergaji dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk sumber panas tanur, media jamur merang, bahan bakar industri batu bata atau genteng, serta bahan baku untuk pembuatan papan mineral.

## 2.4 Material Komposit

Komposit berasal dari kata “*to compose*” yang berarti menyusun atau menggabung, sehingga komposit secara sederhana dapat didefinisikan sebagai bahan atau material gabungan dari dua atau lebih bahan yang berlainan. Adapun pendapat dari Putro (2011) bahwa komposit tersusun dari struktur material yang terdiri dari dua atau lebih bentuk pada skala makroskopik, pembentuknya melalui pencampuran yang tidak homogen dimana sifat mekanik dari material pembentuknya berbeda-beda. Dikarenakan material atau bahan penyusunnya memiliki sifat mekanik yang berbeda, maka akan terbentuk material komposit baru yang memiliki karakteristik dan sifat mekanik yang diinginkan dari material-material pembentuknya.

Komposit mempunyai keunggulan tersendiri dibandingkan dengan material lainnya. Adapun keunggulan komposit ialah sebagai berikut (Widodo 2008):

1. Memiliki sifat mekanik yang baik (lebih kuat, ulet, tidak getas, tahan terhadap fatigue)
2. Memiliki densitas yang lebih rendah.
3. Lebih kuat dan lebih ringan
4. Tidak mudah korosif.
5. Bahan baku yang mudah diperoleh dengan harga yang lebih murah.
6. Memiliki massa jenis yang lebih rendah dibanding dengan serat mineral.
7. Mampu berfungsi sebagai peredam suara yang baik.

Dibalik kelebihan yang dimiliki oleh material komposit, material ini juga memiliki beberapa kekurangan. Adapun kekurangan dari material komposit ialah sebagai berikut (Nayiroh 2013):

1. Kurang elastis
2. Lebih sulit dibentuk secara plastis
3. Tidak tahan terhadap beban kejut (*shock*), dan tabrak (*crash*) dibandingkan dengan metal.

Pada umumnya komposit terdiri atas dua material penyusun utama yaitu penguat (*reinforcement*) dan Matriks. Adapun pengertian penguat dan matriks ialah sebagai berikut (Oroh et al., 2013):

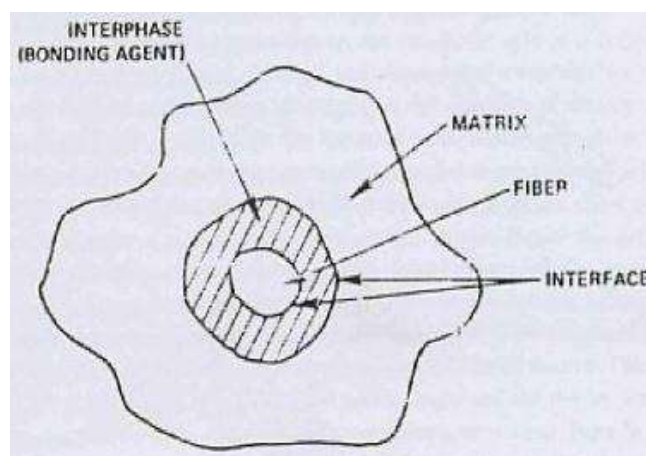
1. Penguat (Reinforcement)

Penguat atau yang biasa disebut sebagai serat atau *fiber* merupakan bagian utama dalam bahan komposit yang memiliki peran untuk menahan beban, sehingga besar kecilnya kekuatan bahan komposit sangat tergantung dari kekuatan serat pembentuknya. Semakin kecil bahan (diameter serat mendekati ukuran kristal) maka semakin kuat bahan tersebut, karena minimnya cacat pada material.

2. Matriks

Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan). Matriks, umumnya lebih *ductile* tetapi mempunyai kekuatan dan rigiditas yang lebih rendah. Syarat pokok matrik yang digunakan dalam komposit adalah matrik harus bisa meneruskan beban, sehingga serat harus bisa melekat pada matrik dan kompatibel antara serat dan matrik, artinya tidak ada reaksi yang mengganggu. Matriks mempunyai fungsi sebagai mentransfer tegangan ke serat, membentuk ikatan koheren permukaan matrik/serat, melindungi serat, memisahkan serat, melepas ikatan, dan stabil setelah proses manufaktur.

Adanya dua penyusun komposit atau lebih menimbulkan beberapa daerah dan istilah penyebutannya. Matriks (penyusun dengan fraksi volume terbesar), penguat (penahan beban utama), interphase (pelekat antar dua penyusun) interface (permukaan phase yang berbatasan dengan phase lain (Nayiroh, 2013).



**Gambar 7** Bentuk dari komposit material (Nayiroh 2013)



Menurut Putro (2011) secara garis besar ada 3 macam jenis komposit berdasarkan penguat yang digunakan, yaitu:

#### 1. Komposit Serat

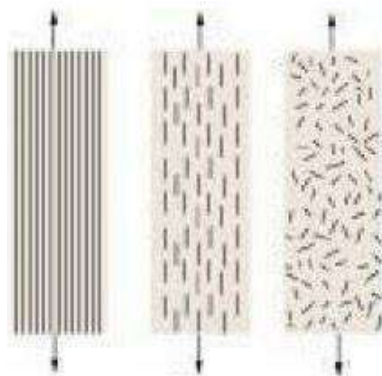
Komposit serat merupakan jenis komposit yang hanya terdiri satu lamina atau satu lapisan yang menggunakan penguat beberapa serat atau serat. Serat yang digunakan bisa berupa glass serat, carbon serat, aramid serat (poly aramid), dan sebagainya. Serat ini biasa disusun secara acak maupun dengan perkenalan tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman. Berdasarkan jenis seratnya dibedakan:

##### a) Serat Kontinyu

Dengan orientasi serat yang bermacam-macam antara lain arah serat satu arah (unidireksional), serat dua arah (biaksial), serat tiga arah (triaksial).

##### b) Serat Tidak Kontinyu

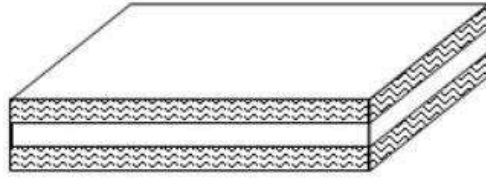
Serat yang menyebar dengan acak sehingga sifat mekaniknya tidak terlalu baik jika dibandingkan serat kontinyu.



**Gambar 8** Komposit serat

#### 2. Komposit Berlapis

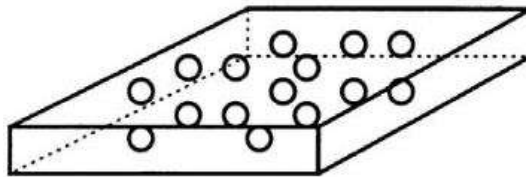
Komposit berlapis merupakan komposit yang berlapis-lapis, paling sedikit terdiri dari dua lapis material yang berbeda yang digabungkan menjadi satu. *Laminated* digunakan untuk mencapai material yang lebih berguna. Sifat yang terdapat pada laminated adalah kekuatan, kekakuan, berat yang rendah, ketahanan korosi, ketahanan aus, insulasi panas, insulasi akustik.



**Gambar 9** Komposit berlapis

### 3. Komposit Partikel

Komposit partikel merupakan komposit yang menggunakan serbuk sebagai penguatnya pada semua luasan dan segala arah secara merata dalam matiksnya. ukuran partikel yang digunakan bervariasi dari skala mikroskopis sampai skala makroskopis. Partikel di dalam matrik komposit tersusun secara random sehingga komposit yang dihasilkan mempunyai sifat-sifat isotrope. Partikel biasa digunakan sebagai fase penguat pada logam dan keramik.



**Gambar 10** Komposit partikel

Pada komposit dengan penguat partikel, ukuran partikel dan filler sangat menentukan kekuatan suatu komposit tersebut. Karena ukuran partikel didalam matriks (fraksi volume) dari dua fasa ini mempengaruhi sifat mekanik. Persamaan volume komposit yang menghubungkan antara volume partikel ( $v_p$ ) dan volume matriks ( $v_m$ ). ialah sebagai berikut.

$$v_p = \frac{V_p}{V_c} \quad (1)$$

$$v_m = \frac{V_m}{V_c} \quad (2)$$

Bahwa jumlah dari fraksi volume adalah:

$$v_p + v_m = 1 \quad (3)$$

Maka, bentuk bentuk persamaan dari (2.1) dan (2.2) sebagai berikut:

$$V_c = V_p + V_m \quad (4)$$

Di mana:

$$V_{c,p,m} = \text{volume dari komposit, partikel, matrik}$$

$v_{c,p,m}$  = fraksi volume komposit, partikel, matrik

Mengingat komposit terdiri dari partikel dan matrik, maka komposit memiliki massa komposit, partikel, matrik ( $W_{c,p,m}$ ). Sehingga fraksi massa dari partikel ( $w_p$ ) dan fraksi massa matriks ( $w_m$ ) dengan persamaan sebagai berikut.

$$W_p = \frac{w_p}{w_c} \quad (5)$$

$$W_m = \frac{w_m}{w_c} \quad (6)$$

Bahwa jumlah fraksi massa adalah:

$$v_p + v_m = 1 \quad (7)$$

Bentuk persamaan dari (2.5) dan (2.6) ialah sebagai berikut:

$$W_c = W_p + W_m \quad (8)$$

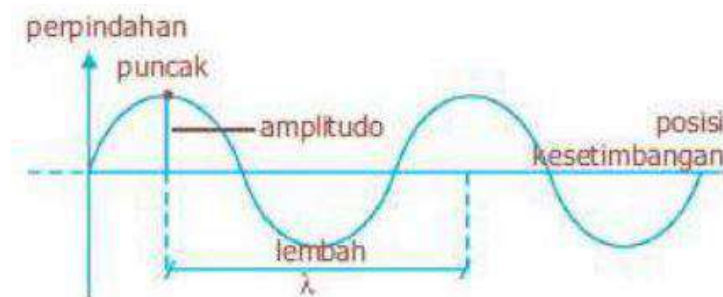
## 2.5 Teori Akustik

Secara singkat akustik dapat didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari tentang bunyi. Menurut Kencanawati (2017) akustik merupakan satu bidang ilmu yang mempelajari tentang suara atau bunyi yang ditimbulkan dari benda yang bergetar. Akustik sering dibagi menjadi akustik ruang (room acoustics) yang menangani bunyi-bunyi yang dikehendaki dan kontrol kebisingan (noise control) yang menangani bunyi- bunyi yang tidak dikendaki (Haisah, 2015).

Marcus Pollio seorang arsitek romawi sudah mulai melakukan pengamatan cermat tentang gema dan interferensi (getaran-getaran suara asli dan getaran pantulan yang saling menghilangkan) dari suatu ruangan, akan tetapi pada tahun 1856 Joseph Henry mulai membangun ilmu akustik, dan kemudian pada akhirnya dikembangkan penuh oleh Wallace Sabine di tahun 1900.

Bunyi dapat diartikan sebagai gelombang yang bergerak dalam medium padat, cair, maupun gas. Cahyono (2010) mengungkapkan bahwa bunyi mempunyai dua definisi, yaitu secara fisis dan secara fisiologis. Secara fisis bunyi adalah penyimpangan tekanan, pergeseran partikel dalam medium elastik seperti udara. Sedangkan secara fisiologis bunyi adalah sensasi pendengaran yang disebabkan secara fisis.

Karakteristik dari gelombang bunyi ditunjukkan oleh besaran-besaran yang penting yang mendeskripsikan gelombang sinusoidal sebagai berikut:



**Gambar 11** Karakteristik bunyi (Cahyono, 2010)

### 1. Frekuensi dan Periode

Frekuensi adalah jumlah atau banyaknya getaran yang terjadi dalam setiap detik dinotasikan dengan  $f$  dan dinyatakan Hertz (Hz) sesuai nama penemunya. Dalam penggambaran kurva gunung dan lembah, frekuensi adalah banyaknya gelombang sinus (satu set kurva sinus terdiri dari satu gunung dan satu lembah) setiap detik. Periode adalah waktu yang diperlukan untuk satu gelombang penuh, dinotasikan dengan (T). Hubungan frekuensi dengan periode adalah sebagai berikut:

$$f = \frac{1}{T} \quad (9)$$

### 2. Amplitudo

Ketika frekuensi dan panjang gelombang tidak menunjukkan keras atau pelannya bunyi, maka yang berpengaruh terhadap hal ini adalah amplitudo atau simpangan gelombang yang dinotasikan dengan (A). Amplitudo adalah ketinggian maksimum puncak gelombang atau kedalaman maksimum lembah gelombang adalah relatif terhadap posisi kesetimbangan. Amplitudo tidak bergantung pada panjang gelombang, gelombang pendek atau panjang dapat menghasilkan simpangan besar dan kecil. Semakin besar simpangannya maka semakin keraslah bunyi yang muncul dari getaran dan begitu sebaliknya.

### 3. Panjang Gelombang

Gelombang bunyi dapat diukur dalam satuan panjang gelombang yang dinotasikan dengan lambda ( $\lambda$ ). Kecepatan rambat gelombang dinotasikan

dengan ( $v$ ), adalah jarak yang mampu ditempuh oleh gelombang bunyi pada arah tertentu dalam waktu detik, satuannya (m/s). Tiap osilasi yang lengkap disebut satu saikel (cycle). Kejadian perpindahan atau perambatan gelombang dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$v = f \times \lambda \quad (10)$$

Di mana:

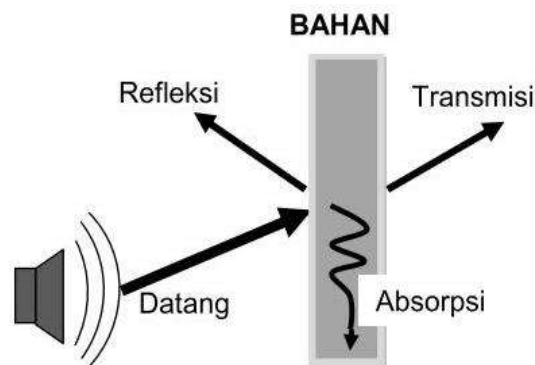
$v$  = kecepatan rambat gelombang (m/s)

$f$  = frekuensi (Hz)

$\lambda$  = panjang gelombang (m)

Telinga normal tanggap terhadap bunyi diantara jangkauan (range) frekuensi audio sekitar 20 Hz - 20.000 Hz. Bunyi pada frekuensi dibawah 20 Hz disebut bunyi infrasonic dan diatas 20.000Hz disebut bunyi ultrasonic. Bunyi masih dibedakan lagi menjadi bunyi-bunyi dengan frekuensi rendah (<1000 Hz), frekuensi sedang (1000Hz - 4000 Hz) dan frekuensi tinggi (>4000Hz). Menurut penelitian telinga manusia lebih nyaman mendengarkan bunyi-bunyi dalam frekuensi rendah.

Ada beberapa fenomena akustik yang sering terjadi dalam ruang tertutup. Fenomena ini merupakan fenomena suara yang terjadi dikarenakan adanya berkas suara yang bertemu atau menumbuk bidak permukaan bahan, maka suara tersebut akan dipantulkan (*reflected*), diserap (*absorb*), dan diteruskan (*transmitted*).



**Gambar 12** Fenomena absorpsi suara oleh suatu permukaan bahan (Haisah, 2015)

Ukuran dan bentuk permukaan akan mempengaruhi bunyi yang mengenainya dalam bentuk (Haisah, 2015):

### 1. Refleksi

Ketika suara menumbuk pada permukaan, sebagian dari energi diserap oleh permukaan dan sisanya memantul kembali atau menjadi tercermin dari permukaan. Sebuah permukaan keras memantulkan sebagian besar energi suara yang datang padanya. Bahan ini termasuk beton, kaca, batu dan batu bata. Ada tiga macam karakter pemantulan bunyi terkait dengan bidang pantulan:

- a. Pemantulan merata bila memantul pada bidang datar
- b. Pantulan menyebar bila bunyi memantul pada bidang cembung
- c. Pemantulan memusat bila bunyi memantul pada bidang cekung

### 2. Absorbsi

Setiap penyerapan bunyi pada hakikatnya adalah gejala pengubahan sebagian energi bunyi dari satu bentuk (energi mekanis) ke bentuk energi mekanis yang lain atau ke bentuk energi kalor, sehingga bentuk energi semula seolah-olah menghilang, tetapi pada dasarnya hanya berubah ke dalam bentuk energi yang lain. Material yang termasuk penyerap suara biasanya bersifat lunak dan berpori/berongga yang biasanya terdiri dari satu lapis bahan atau lebih. Contoh dari material ini adalah *glasswool*, *mineral wool*, *foam* dan *acoustic tiles*.

### 3. Difusi

Bila tekanan bunyi disetiap bagian suatu auditorium sama dengan gelombang bunyi dapat merambat dalam semua arah, maka medan bunyi dikatakan serba sama atau homogen; dengan kata lain difusi bunyi atau penyerapan bunyi terjadi dalam ruang. Difusi bunyi yang cukup adalah ciri akustik yang diperlukan pada jenis-jenis ruang tertentu seperti ruang konser, ruang studio dan ruang musik. Difusi bunyi dalam auditorium dapat diperoleh dengan menggunakan ketidakteraturan permukaan, permukaan penyerap bunyi dan pemantul bunyi yang digunakan secara bergantian dan penggunaan lapisan akustik dengan penyerapan berbeda.

## 2.6 Material Akustik

Material akustik adalah material teknik yang fungsi utamanya adalah untuk menyerap suara/bising yang datang dari sumber suara. Pada dasarnya semua bahan dapat menyerap energi suara, namun besarnya energi yang diserap berbeda-beda untuk tiap bahan. Peredam suara merupakan suatu hal penting di dalam desain akustik, dan dapat diklasifikasikan menjadi 3 bagian yaitu (Haisah, 2015):

### 1. Material Berpori (*Porous Materials*)

Penyerap yang terbuat dari material berpori bermanfaat untuk menyerap bunyi yang berfrekuensi tinggi, sebab pori-porinya yang kecil sesuai dengan besara panjang gelombang bunyi yang datang. Material berpori efektif menyerap bunyi berfrekwensi diatas 1000 Hz. Pemasangan normal yang baik dari sebuah penyerap berpori adalah langsung pada suatu permukaan atau dengan jarak tertentu dari permukaan keras sehingga ada rongga di antaranya.

### 2. Membran Penyerap (*Panel Absorbers*)

Penyerap ini terdiri dari lembaran-lembaran atau papan tipis yang mungkin saja tidak memiliki permukaan berpori. Panel semacam ini cocok untuk menyerap bunyi yang berfrekuensi rendah. Cara atau proses penyerapannya adalah sebagai berikut:

- a) Panel dipasang sebagai finising dinding atau plafond. Pemasangannya tidak menempel pada elemen ruang secara langsung, tetapi pada jarak tertentu berisi udara
- b) Pada saat gelombang bunyi datang menimpa panel, panel akan ikut bergetar (sesuai frekuensi gelombang bunyi yang datang) dan selanjutnya meneruskan getaran tersebut pada ruang berisi udara dibelakangnya. Penyerapan maksimum akan terjadi bila panel ber- resonansi akibat memiliki frekuensi bunyi yang sama dengan gelombang bunyi yang datang.

### 3. Rongga Penyerap (*Cavity Resonators*)

Penyerap semacam ini disebut juga Helmholtz resonator. Rongga penyerap bermanfaat untuk menyerap bunyi pada frekuensi khusus yang telah diketahui sebelumnya. Rongga penyerap terdiri dari sebuah lubang yang diikuti dengan

ruang tertutup di belakangnya, yang berfungsi menangkap bunyi yang datang masuk ke dalam rongga tersebut. Helmholtz resonator tunggal praktis digunakan dalam banyak kasus yang bertujuan untuk menghapus frekuensi tunggal. Namun yang lebih umum digunakan adalah yang biasa dinamakan helmholtz resonator menyebar. Contoh dari helmholtz resonator menyebar adalah absorbers menggunakan papan berlubang, mungkin dalam bentuk dari bilah, dipasang pada jarak tertentu pada dinding atau langit-langit yang keras.

## **2.7 Koefisien Absorpsi dan Metode Tabung Impedansi**

### **2.7.1 Koefisien Absorpsi**

Bahan lembut, berpori, kain dan juga manusia, menyerap sebagian besar gelombang bunyi yang menumbuk mereka, dengan kata lain mereka adalah penyerap bunyi. Hal yang menunjang penyerapan bunyi antara lain, lapisan permukaan dinding, lantai, atap, isi ruangan dan udara dalam ruang. Besarnya penyerapan bunyi sangat dipengaruhi berapa besar nilai kerapatan dari material penyerap bunyi yang digunakan. Besar nilai kerapatan adalah perbandingan berat dan volume dari material peredam bunyi.

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{11}$$

Di mana:

$\rho$  = massa jenis ( $\text{kg/m}^3$ )

$m$  = berat material (kg)

$V$  = Volume ( $\text{m}^3$ )

Untuk mengetahui berapa besar serapan bising dari material perlu adanya pengujian, misalnya dengan menggunakan alat tabung impedansi. Alat uji yang berbentuk pipa sebagai pengisolasi suara dan dengan beberapa perangkat lain yang membantu. Prinsip kerja tabung impedansi yaitu, bunyi dari speaker dialirkan dalam pipa, yang di dalam pipa tersebut terdapat material peredam yang akan menyerap bunyi dari speaker.



Bagus tidaknya serapan dari suatu material ditentukan oleh *Sound Absorption Coefficient* (SAC) material tersebut. Meskipun karakteristik material tidak berubah, koefisien serap suatu material dapat berubah menyesuaikan dengan frekuensi bunyi yang datang. Jadi besar nilai serapan bising persamaannya seperti berikut:

$$SAC = \frac{\text{energi suara yang diserap}}{\text{total energi suara yang ditembakkan}} \quad (12)$$

Efisiensi penyerapan bunyi suatu bahan pada suatu frekuensi tertentu dinyatakan oleh koefisien penyerapan bunyi ( $\alpha$ ). Koefisien penyerapan bunyi suatu permukaan adalah bagian energi bunyi datang yang diserap atau tidak dipantulkan. Nilai koefisien bernilai antara 0 dan 1, bila nilai serapan bunyi 0 maka tidak ada gelombang bunyi yang diserap (semua gelombang bunyi dipantulkan), dan bila nilainya 1 maka gelombang bunyi diserap seluruhnya (tidak ada gelombang bunyi yang dipantulkan).

### 2.7.2 Metode Tabung Impedansi

Tabung impedansi merupakan suatu tabung yang dirancang untuk mengukur parameter akustik suatu bahan dengan ukuran material uji yang kecil sesuai ukuran tabung dengan arah datang suara pada arah normal permukaan bahan uji. Tabung impedansi berfungsi sebagai ruang bunyi. Maka dari itu, pemilihan ukuran tabung impedansi sangat penting agar dapat dihasilkan batasan frekuensi yang diinginkan.

Panjang tabung berfungsi sebagai pembatas frekuensi minimum yang dipakai. karena sifat tabung dapat menyerap bunyi maka tidak dapat mengukur satu tingkat tekanan bunyi maksimum dan satu tingkat tekanan bunyi minimum saja. Dengan demikian dibutuhkan dua tingkatan tekanan bunyi maksimum dan dua tingkat tekanan bunyi minimum, sehingga besarnya L secara matematis ialah sebagai berikut:

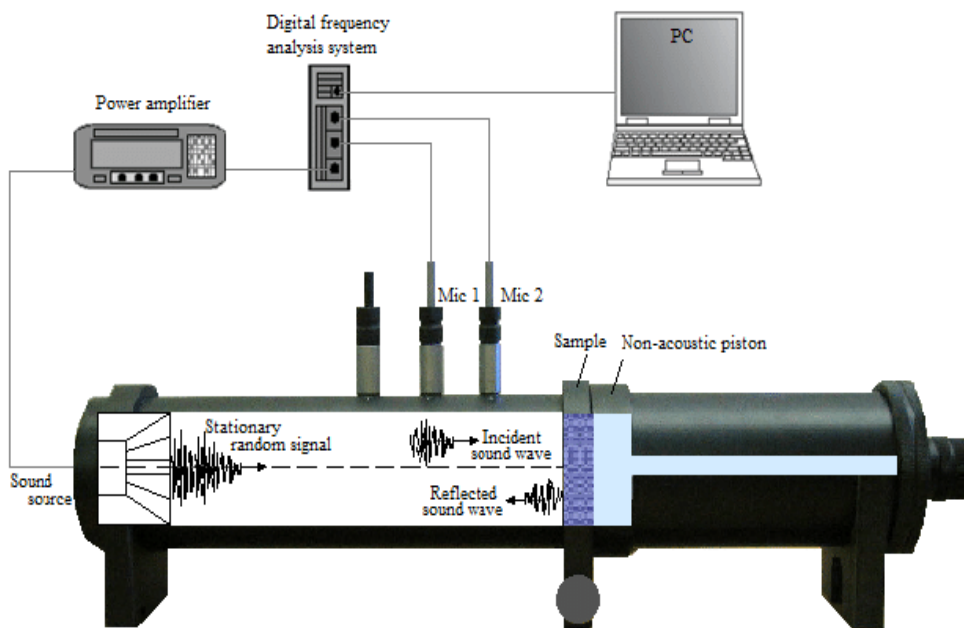
$$L = 3/4\lambda \quad (13)$$

Dengan  $\lambda$  (panjang gelombang) adalah kecepatan bunyi di udara dibagi frekuensi dan L adalah panjang tabung.

Diameter tabung berfungsi sebagai pembatas frekuensi maksimum, sehingga secara matematis ialah sebagai berikut:

$$D = 1/2 \lambda \quad (14)$$

Prinsip dasar dari metode ini ialah di dalam tabung impedansi sebuah sumber suara (pengeras suara) dipasang di salah satu ujung tabung impedansi, dan bahan sampel diletakkan di ujung lainnya. Pengeras suara menghasilkan gelombang suara acak dan merambat sebagai gelombang di dalam tabung, lalu kemudian mengenai sampel dan memantulkan (Çelikel et al., 2017). Salah satu tabung impedansi yang sering digunakan dalam banyak penelitian ialah tabung impedansi Brüel & Kjør dengan sistem yang terdiri dari sebuah tabung impedansi tipe 4206 dengan dua buah mikrofon kondensator tipe 4187 inci, amplifier tipe 2716C, dan modul akuisisi LAN Xi tipe 3160-A-042, dan terhubung ke perangkat keras berupa PC melalui perangkat lunak PULSE LabShop versi 1.16.0 (Novak et al., 2011).

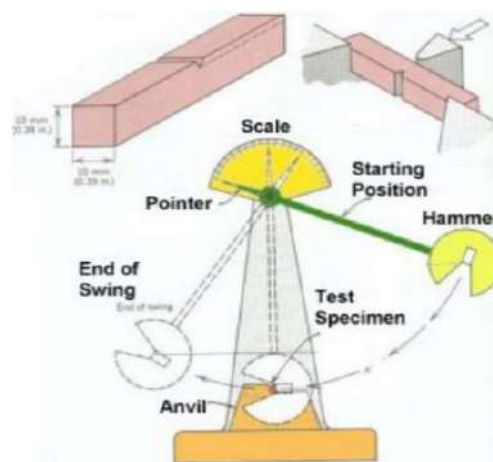


**Gambar 13** Diagram skematik tabung impedansi Brüel & Kjør

## 2.8 Teori Pengujian Mekanis Material

### 2.8.1 Uji Impak (Impact Test)

Uji impak merupakan suatu pengujian yang dilakukan untuk menguji ketangguhan suatu spesimen bila diberikan beban secara tiba-tiba (beban kejut) melalui tumbukan. Ketangguhan merupakan ukuran suatu energi yang dibutuhkan untuk merusak atau mematahkan suatu bahan yang diukur dari luas daerah dibawah kurva tegangan - regangan. Suatu bahan bisa saja memiliki kekuatan tarik yang tinggi namun tidak memenuhi syarat untuk kondisi pembebanan kejut.



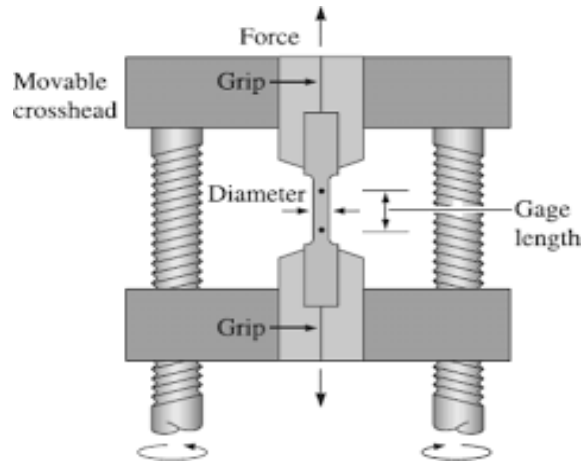
**Gambar 14** Skema uji impak

Prinsip pengujian impak ini yaitu menghitung energi yang diberikan oleh beban (pendulum) dan menghitung energi yang diserap oleh spesimen. Saat beban dinaikkan pada ketinggian tertentu, beban mempunyai energi potensial maksimum, kemudian saat akan menumbuk spesimen energi kinetik mencapai maksimum. Energi kinetik maksimum akan diserap sebagian oleh spesimen hingga spesimen tersebut patah. Sehingga dapat dikatakan Pengujian Impact bertujuan untuk mengukur berapa energi yang dapat diserap oleh suatu material sampai material tersebut patah atau rusak.

### 2.8.2 Uji Tarik (Tensile Test)

Uji tarik merupakan suatu cara atau metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan atau material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu. Hasil yang diperoleh dari pengujian tarik sangat penting untuk desain

produk dan rekayasa teknik karena menghasilkan data kekuatan material. Pengujian tarik berfungsi untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat.



**Gambar 15** Skema uji tarik

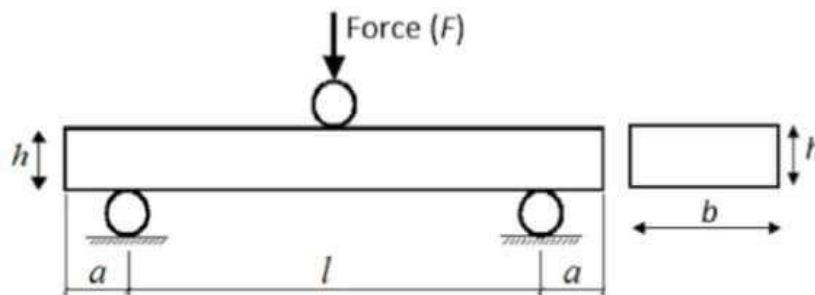
Kekuatan tarik merupakan tegangan maksimum yang bisa ditahan oleh sebuah bahan atau material ketika diregangkan atau ditarik, sebelum bahan tersebut patah. Kekuatan tarik merupakan kebalikan dari kekuatan tekan, dan nilainya bisa berbeda. Kekuatan tarik (Ultimate Tensile Strength) adalah salah satu sifat penting suatu bahan. Kemampuan suatu material untuk menahan beban tarik disebut dengan kekuatan tarik. Hal ini dapat diukur dari beban atau gaya maksimum dibagi dengan luas penampang bahan uji

### **2.8.3 Uji Lentur (Bending Test)**

Kekakuan merupakan ketahanan suatu material terhadap deformasi elastis. Modulus Elastisitas (E) adalah harga kekakuan suatu material pada daerah elastis. Modulus elastis juga berarti perbandingan tegangan dengan regangan pada daerah elastis. Material yang lentur (tidak kaku) adalah material yang dapat mengalami regangan bila diberi tegangan atau beban tertentu. Tegangan atau beban yang diberikan pada specimen uji haruslah dibawah harga beban maksimum agar specimen tidak mengalami deformasi plastis.

Uji lentur (bending test) merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Pada pengujian kekuatan lentur

dan kekerasan dilakukan dengan pemberian beban pada material sehingga secara bersamaan mulai terbentuk tegangan tarik, tekan, dan geser. Proses pembebanan menggunakan mandrel atau pendorong yang dimensinya telah ditentukan untuk memaksa bagian tengah bahan uji atau spesimen tertekuk diantara dua penyangga yang dipisahkan oleh jarak yang telah ditentukan. Selanjutnya bahan akan mengalami deformasi dengan dua buah gaya yang berlawanan bekerja pada saat yang bersamaan.



**Gambar 16** Skema uji bending

Setelah menekuk, permukaan spesimen yang berbentuk cembung harus diperiksa dari kemungkinan adanya retak atau cacat permukaan yang lain. Apabila spesimen mengalami patah (fracture) setelah ditebuk, maka spesimen dinyatakan gagal uji (rejected). Namun jika tidak patah maka kriteria keberterimaan seperti jumlah retak, dimensi retak atau cacat permukaan lain yang terlihat pada permukaan harus disesuaikan dengan standar yang diacu. Adanya retak pada sisi ketebalan atau sudut-sudut spesimen tidak dinyatakan sebagai kegagalan pengujian.

## 2.9 Teori Metode Taguchi

Metode Taguchi dicetuskan oleh Dr. Genichi Taguchi pada tahun 1949 saat mendapatkan tugas untuk memperbaiki sistem telekomunikasi di Jepang. Metode ini merupakan metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses serta dalam dapat menekan biaya dan *resources* seminimal mungkin. Sasaran metode Taguchi adalah menjadikan produk *robust* terhadap *noise*, karena itu sering disebut sebagai *Robust Design*.

Langkah-langkah ini dibagi menjadi tiga fase utama yang meliputi keseluruhan pendekatan eksperimen. Tiga fase tersebut adalah fase perencanaan, fase pelaksanaan, dan fase analisis. Fase perencanaan merupakan fase yang paling penting dari eksperimen untuk menyediakan informasi yang diharapkan. Fase perencanaan adalah ketika faktor dan levelnya dipilih, dan oleh karena itu, merupakan langkah yang terpenting dalam eksperimen.

Fase terpenting kedua adalah fase pelaksanaan, ketika hasil eksperimen telah didapatkan. Jika eksperimen direncanakan dan dilaksanakan dengan baik, analisis akan lebih mudah dan cenderung untuk dapat menghasilkan informasi yang positif tentang faktor dan level.

Fase analisis adalah ketika informasi positif atau negatif berkaitan dengan faktor dan level yang telah dipilih dihasilkan berdasarkan dua fase sebelumnya. Fase analisis adalah hal penting terakhir yang mana apakah peneliti akan dapat menghasilkan hasil yang positif. Langkah utama untuk melengkapi desain eksperimen yang efektif adalah sebagai berikut:

1. Perumusan masalah
2. Tujuan eksperimen
3. Memilih karakteristik kualitas (Variabel tak bebas)
4. Memilih faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas (variabel bebas)
5. mengidentifikasi faktor terkontrol dan tidak terkontrol
6. Penentuan jumlah level dan nilai faktor
7. Perhitungan derajat kebebasan (*Degrees of Freedom / DOF*)
8. Pemilihan *Orthogonal Array (OA)*
9. Penugasan untuk faktor dan interaksinya pada *orthogonal array*
10. Persiapan dan pelaksanaan percobaan
11. Analisis data
12. Interpretasi hasil

Rasio S/N digunakan untuk menentukan rasio sinyal yang tidak diinginkan terhadap noise acak yang tidak diinginkan dan sesuai dengan karakteristik kualitas data yang diamati. Biasanya digunakan untuk menentukan hasil optimal pada

proses pengendalian kualitas terhadap hasil percobaan, sehingga dapat meminimalisir kerugian dalam menentukan hasil akhir dalam proses kerja. Terdapat 3 kategori karakteristik kualitas dalam rasio S/N. Adapun ketiga persamaan tersebut ialah:

Karakteristik nominal is the best

$$\frac{S}{N} = 10 \log \frac{\bar{y}^2}{s_y^2} \quad (13)$$

Karakteristik smaller is the best

$$\frac{S}{N} = -10 \log \frac{1}{n} (\sum y^2) \quad (14)$$

Karakteristik larger is the best

$$\frac{S}{N} = -\log \frac{1}{n} \left( \sum \frac{1}{y^2} \right) \quad (15)$$

Di mana:

$\bar{y}$  = rata-rata data yang diteliti

$n$  = jumlah pengulangan / data yang diteliti

$s^2$  = variasi dari  $y$