

**PENGUJIAN SIFAT AKUSTIK PADA PANEL KOMPOSIT SERAT  
AMPAS TEBU DENGAN Matriks LIMBAH PLASTIK  
POLYPROPYLENE DAN PENGISI SLUDGE KERTAS**

**SKRIPSI**

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan guna memperoleh gelar  
Sarjana Sains*



Oleh:  
**Deby Kurnia Putri**  
**NIM. 17034065**

**PROGRAM STUDI FISIKA  
JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG  
2021**

## PERSETUJUAN SKRIPSI

### **PENGUJIAN SIFAT AKUSTIK PADA PANEL KOMPOSIT SERAT AMPAS TEBU DENGAN Matriks LIMBAH PLASTIK POLYPROPYLENE DAN PENGISI SLUDGE KERTAS**

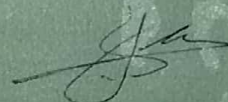
Nama : Deby Kurnia Putri  
NIM : 17034065  
Program Studi : Fisika  
Jurusan : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Mengetahui :  
Ketua Jurusan Fisika



Dr. Ratnawulan, M.Si  
NIP. 19690120 199303 2 002

Padang, November 2021  
Disetujui Oleh  
Pembimbing :



Dra. Yenni Darvina, M.Si  
NIP.19630911 198903 2 003

## PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Deby Kurnia Putri  
NIM : 17034065  
Program Studi : Fisika  
Jurusan : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

### PENGUJIAN SIFAT AKUSTIK PADA PANEL KOMPOSIT SERAT AMPAS TEBU DENGAN MATRIKS LIMBAH PLASTIK POLYPROPYLENE DAN PENGISI SLUDGE KERTAS

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang

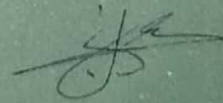
Padang, November 2021

Tim Penguji

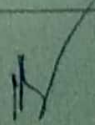
Nama

Tanda tangan

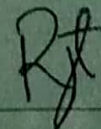
1. Dra. Yenni Darvina, M.Si



2. Dr. Ratnawulan, M.Si



3. Dr. Riri Jonuarti, S.Pd, M.Si



## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis saya, tugas akhir berupa skripsi dengan judul “Pengujian Sifat Akustik pada Panel Komposit Serat Ampas Tebu dengan Matriks Limbah Plastik *Polypropylene* dan Pengisi *Sludge* Kertas” adalah asli karya sendiri;
2. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali dari pembimbing;
3. Didalam karya tulis ini, tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan di dalam naskah dengan menyebutkan pengarang dan dicantumkan dalam perpustakaan;
4. Pernyataan ini saya buat sesungguhnya dan apabila terdapat penyimpangan didalam pernyataan ini, saya menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai norma dan ketentuan hukum yang berlaku.

Padang, 5 November 2021

Saya yang menyatakan



Deby Kurnia Putri

NIM: 17034065

# **Pengujian Sifat Akustik Pada Panel Komposit Serat Ampas Tebu Dengan Matriks Limbah Plastik *Polypropylene* Dan Pengisi *Sludge* Kertas**

**Deby Kurnia Putri**

## **ABSTRAK**

Peningkatan penggunaan peralatan listrik dan mekanik di lingkungan industri telah menimbulkan kekhawatiran akan kebisingan. Berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405/Menkes/Sk/xi/2002, di dalam ruangan kerja batas kebisingan yang diperbolehkan yaitu 85 dB. Lebih dari standar tersebut dapat menimbulkan dampak buruk bagi kesehatan. Pembuatan material peredam kebisingan menjadi salah satu solusi bagi permasalahan tersebut. Pada penelitian beberapa tahun kebelakang telah banyak dikembangkan bahan peredam kebisingan, baik dari bahan terbarukan maupun tidak terbarukan. Penggunaan bahan tidak terbarukan selain merusak lingkungan juga memerlukan biaya yang mahal, sehingga pada penelitian ini dibuat komposit peredam kebisingan dengan bahan penguat serat ampas tebu, matriks limbah plastik *polypropylene* (PP) dan bahan pengikat *sludge* kertas, yang mana penggunaan campuran bahan tersebut belum pernah dibuat sebelumnya dan diharapkan dapat mengurangi kebisingan dengan memanfaatkan bahan terbarukan, ramah lingkungan dan memerlukan biaya yang murah. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pengujian sifat akustik pada panel komposit ampas tebu dengan matriks limbah plastik *polypropylene* dan pengisi *sludge* kertas.

Pembuatan komposit dibuat dengan metode *hand lay up*. Komposisi Komposit 60% limbah *sludge* kertas, 40% limbah plastik PP hitam dan 2% serat ampas tebu dari jumlah limbah *sludge* kertas dan limbah plastik PP hitam. Sifat akustik yang diuji adalah absorpsi bunyi dan refleksi bunyi dengan mencari koefisien masing-masingnya. Pengujian menggunakan alat tabung impedansi satu mikrofon. Dengan memvariasikan ketebalan panel komposit 12 mm, 15 mm, dan 18 mm. Kemudian frekuensi 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz, dan 8000 Hz.

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh hubungan, jika ketebalan panel komposit bertambah maka nilai koefisien absorpsi juga meningkat, berlaku sebaliknya untuk koefisien refleksi jika ketebalan panel komposit bertambah maka nilai koefisien refleksi menurun. Selanjutnya hubungan nilai koefisien absorpsi pada frekuensi membentuk kecendrungan yaitu pada frekuensi 500 Hz sampai 2000 Hz mengalami penurunan kemudian dari frekuensi 2000 Hz sampai 8000 Hz mengalami kenaikan. Panel komposit dengan ketebalan 12 mm, 15 mm dan 18 mm memiliki sifat akustik yang baik karena memiliki nilai koefisien absorpsi diatas standar ISO 11654 yaitu 0,150. Komposit ini cocok meredam kebisingan pada frekuensi tinggi dan frekuensi rendah.

Kata Kunci: Panel Komposit, Koefisien Absorpsi, Limbah Plastik *Polypropylene*, Serat Ampas Tebu, Tabung Impedansi.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT. Dengan karunia dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **“Pengujian Sifat Akustik Pada Panel Komposit Serat Ampas Tebu Dengan Matriks Limbah Plastik *Polypropylene* Dan Pengisi *Sludge* Kertas”**.

Skripsi ini ditulis sebagai salah satu syarat menyelesaikan studi pada Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang dan merupakan bagian dari penelitian mandiri Ibu Dra. Yenni Darvina, M.Si. Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini. Terimakasih penulis ucapkan kepada:

1. Ibu Dra. Yenni Darvina, M.Si selaku pembimbing yang telah memberikan kesempatan, tenaga dan pikiran untuk membimbing dan mengarahkan penulis menyelesaikan skripsi.
2. Ibu Dr. Ratnawulan, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang dan sekaligus sebagai dosen penguji yang telah membantu dan mengarahkan penulis menyelesaikan skripsi.
3. Ibu Dr. Riri Jonuarti, S.Pd, M.Si sebagai dosen penguji yang telah membantu dan mengarahkan penulis menyelesaikan skripsi.

4. Ibu Syafriani, M.Si, Ph.D sebagai Ketua Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
5. Bapak Yulkifli, S.Pd, M.Si sebagai dosen pembimbing akademik yang telah membantu kelancaran dalam penyelesaian skripsi.
6. Kepala Laboratorium Fisika Material, Universitas Negeri Padang yang telah mengizinkan penulis melakukan penelitian di laboratorium hingga selesai.
7. Kepala Laboratorium dan Laboran Teknik Mesin, Institut Teknologi Padang yang telah mengizinkan penulis melakukan penelitian di laboratorium hingga selesai.
8. Kepala Laboratorium dan Laboran Fisika Material, Universitas Andalas yang telah mengizinkan penulis melakukan penelitian di laboratorium hingga selesai.
9. Orang tua yang selalu mendukung dan mendoakan penulis sampai saat ini.
10. Keluarga Besar Jurusan Fisika, Terutama teman-teman angkatan 2017 yang selalu mendukung dan membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
11. Teman satu penelitian yaitu Kasih Syirpia, Mela Septiyani. N, Ismathul Dinny, Nisa Cantika, dan Jeremi Novrialdo. Terimakasih kepada Reno Fadilah dan teman-teman KBK material yang selalu memberi dukungan dan semangat.

Dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis menyadari masih banyak kekurangan dan keterbasan. Maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan skripsi ini.

Padang, Oktober 2021

Penulis

## DAFTAR ISI

|                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------|-----|
| ABSTRAK.....                                                           | i   |
| KATA PENGANTAR.....                                                    | ii  |
| DAFTAR ISI.....                                                        | v   |
| DAFTAR GAMBAR.....                                                     | vii |
| DAFTAR TABEL .....                                                     | ix  |
| DAFTAR LAMPIRAN .....                                                  | x   |
| BAB I.....                                                             | 1   |
| PENDAHULUAN .....                                                      | 1   |
| A. Latar Belakang .....                                                | 1   |
| B. Rumusan Masalah.....                                                | 6   |
| C. Batasan Masalah .....                                               | 7   |
| D. Tujuan Penelitian .....                                             | 7   |
| BAB II.....                                                            | 8   |
| KERANGKA TEORITIS .....                                                | 8   |
| A. Sifat Akustik .....                                                 | 8   |
| B. Bunyi .....                                                         | 8   |
| C. Koefisien Absorpsi Bunyi.....                                       | 13  |
| 1. Hubungan koefisien absorpsi bunyi terhadap ketebalan komposit ..... | 14  |
| 2. Hubungan nilai koefisien absorpsi bunyi terhadap frekuensi .....    | 16  |
| D. Koefisien Refleksi Bunyi.....                                       | 18  |
| E. Kebisingan .....                                                    | 20  |
| F. Standing Wave Ratio .....                                           | 22  |
| F. Tabung Impedansi Satu Mikrofon.....                                 | 24  |
| G. Komposit .....                                                      | 28  |
| 1. Definisi komposit .....                                             | 28  |
| 2. Material penyusun komposit .....                                    | 29  |
| 3. Faktor yang mempengaruhi karakteristik komposit.....                | 30  |
| 4. Klasifikasi komposit.....                                           | 31  |
| H. Metode Hand Lay Up .....                                            | 32  |

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| I. Serat Ampas Tebu .....            | 33 |
| J. Plastik Polypropylene (PP) .....  | 36 |
| K. <i>Sludge</i> Kertas.....         | 38 |
| BAB III.....                         | 40 |
| METODOLOGI PENELITIAN.....           | 40 |
| A. Jenis Penelitian .....            | 40 |
| B. Waktu dan Tempat Penelitian ..... | 40 |
| C. Variabel Penelitian .....         | 41 |
| D. Instrumen Penelitian .....        | 42 |
| E. Bahan Penelitian .....            | 51 |
| F. Prosedur Penelitian.....          | 54 |
| G. Teknik Pengumpulan Data.....      | 58 |
| H. Teknik Pengolahan data .....      | 59 |
| I. Diagram Alir Penelitian .....     | 61 |
| BAB IV.....                          | 63 |
| HASIL DAN PEMBAHASAN.....            | 63 |
| A. Hasil Peneltian.....              | 63 |
| B. Analisis Data.....                | 67 |
| C. Pembahasan.....                   | 75 |
| BAB V.....                           | 80 |
| PENUTUP.....                         | 80 |
| A. Kesimpulan.....                   | 80 |
| B. Saran .....                       | 81 |
| DAFTAR PUSTAKA .....                 | 82 |
| LAMPIRAN .....                       | 88 |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 1. Syarat bunyi .....                                                                                              | 8  |
| Gambar 2. Gelombang bunyi sebagai gelombang longitudinal .....                                                            | 9  |
| Gambar 3. Gelombang datang, gelombang pantul dan gelombang transmisi.....                                                 | 10 |
| Gambar 4. Perlakuan bunyi ketika mengenai objek.....                                                                      | 12 |
| Gambar 5. Koefisien penyerapan ( $\alpha$ ) busa biopolimer dari kain katun laminasi .....                                | 15 |
| Gambar 6. Pengaruh ketebalan bahan nonwoven pada kemampuan penyerapan suara. ..                                           | 16 |
| Gambar 7. Hubungan koefisien absorpsi bunyi ( $\alpha$ ) pada material serat alam ampas tebu terhadap frekuensi (Hz)..... | 17 |
| Gambar 8. Koefisien penyerapan serat kayu/serat polyester bahan komposit .....                                            | 18 |
| Gambar 9. Refleksi bunyi pada berbagai permukaan .....                                                                    | 19 |
| Gambar 10. Amplitudo maksimum saat (A + B), amplitudo minimum saat (A - B).....                                           | 23 |
| Gambar 11. Tabung Impedansi.....                                                                                          | 24 |
| Gambar 12. Skema rangkaian tabung impedansi.....                                                                          | 26 |
| Gambar 13. Komposisi Komposit.....                                                                                        | 30 |
| Gambar 14. Grafik Hubungan Strain-Tensile Stress.....                                                                     | 30 |
| Gambar 15. Komposit berdasarkan penguatnya berturut-turut a.Partikel, b. Fiber, c.Struktur.....                           | 32 |
| Gambar 16. Pembuatan Komposit Metode Hand-Lay Up .....                                                                    | 33 |
| Gambar 17. Tabung impedansi .....                                                                                         | 42 |
| Gambar 18. Osiloskop .....                                                                                                | 42 |
| Gambar 19. Amplifier .....                                                                                                | 43 |
| Gambar 20. Mikrofon .....                                                                                                 | 43 |
| Gambar 21. Loudspeaker .....                                                                                              | 43 |
| Gambar 22. Sinyal generator .....                                                                                         | 44 |
| Gambar 23. Timbangan digital .....                                                                                        | 44 |
| Gambar 24. Kompor gas portable .....                                                                                      | 45 |
| Gambar 25. Wajan .....                                                                                                    | 45 |
| Gambar 26. Termo gun infrared .....                                                                                       | 46 |
| Gambar 27. Oven .....                                                                                                     | 46 |
| Gambar 28. Ayakan .....                                                                                                   | 47 |
| Gambar 29. Cetakan.....                                                                                                   | 47 |
| Gambar 30. Alat kempa .....                                                                                               | 47 |
| Gambar 31. Amplas .....                                                                                                   | 48 |
| Gambar 32. Sarung tangan dan masker .....                                                                                 | 48 |
| Gambar 33. Sikat kawat.....                                                                                               | 49 |
| Gambar 34. Gelas kimia 800 ml .....                                                                                       | 49 |
| Gambar 35. Sendok pengaduk .....                                                                                          | 49 |
| Gambar 36. Botol penyimpanan NaOH.....                                                                                    | 50 |
| Gambar 37. Mistar .....                                                                                                   | 50 |

|                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 38. Gunting.....                                                                                            | 50 |
| Gambar 39. Pinset .....                                                                                            | 51 |
| Gambar 40. Serat ampas tebu .....                                                                                  | 51 |
| Gambar 41. Sludge kertas .....                                                                                     | 52 |
| Gambar 42. Plastik PP hitam .....                                                                                  | 52 |
| Gambar 43. NaOH .....                                                                                              | 53 |
| Gambar 44. Aquades.....                                                                                            | 53 |
| Gambar 45. Sampel dengan ketebalan 12 mm, 15 mm, dan 18 mm.....                                                    | 57 |
| Gambar 46. Amplitudo maksimum dan amplitudo minimum .....                                                          | 59 |
| Gambar 47. Hubungan antara koefisien absorpsi terhadap frekuensi pada ketebalan komposit 12 mm .....               | 67 |
| Gambar 48. Hubungan antara koefisien absorpsi terhadap frekuensi pada ketebalan komposit 15 mm .....               | 68 |
| Gambar 49. Grafik hubungan antara koefisien absorpsi terhadap frekuensi pada ketebalan komposit 18 mm .....        | 69 |
| Gambar 50. Grafik hubungan koefisien absorpsi bunyi terhadap frekuensi pada ketebalan 12 mm, 15 mm dan 18 mm. .... | 70 |
| Gambar 51. Grafik hubungan koefisien absorpsi bunyi terhadap ketebalan panel .....                                 | 71 |
| Gambar 52. Grafik hubungan antara koefisien refleksi bunyi terhadap frekuensi pada ketebalan komposit 12 mm .....  | 72 |
| Gambar 53. Grafik hubungan antara koefisien refleksi bunyi terhadap frekuensi pada ketebalan komposit 15 mm .....  | 73 |
| Gambar 54. Grafik hubungan antara koefisien refleksi bunyi terhadap frekuensi pada ketebalan komposit 18 mm .....  | 74 |
| Gambar 55. Grafik hubungan antara koefisien refleksi terhadap ketebalan panel.....                                 | 75 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 1. Batas kebisingan berdasarkan area .....                                                                                | 21 |
| Tabel 2. Perbandingan <i>Specific Gravity</i> Dari Berbagai Material Plastik.....                                               | 37 |
| Tabel 3. Variabel Penelitian.....                                                                                               | 41 |
| Tabel 4. Massa tiap bahan untuk pembuatan sampel.....                                                                           | 56 |
| Tabel 5. Nilai amplitudo maksimum, amplitudo minimum, SWR, koefisien absorpsi dan koefisien refleksi dari ketebalan 12 mm ..... | 63 |
| Tabel 6. Nilai amplitudo maksimum, amplitudo minimum, SWR, koefisien absorpsi dan koefisien refleksi dari ketebalan 15 mm ..... | 64 |
| Tabel 7. Nilai amplitudo maksimum, amplitudo minimum, SWR, koefisien absorpsi dan koefisien refleksi dari ketebalan 18 mm ..... | 65 |
| Tabel 8. Hasil rata-rata koefisien absorpsi untuk ketebalan 12 mm .....                                                         | 67 |
| Tabel 9. Hasil rata-rata koefisien absorpsi untuk ketebalan 15 mm .....                                                         | 68 |
| Tabel 10. Hasil rata-rata koefisien absorpsi bunyi untuk ketebalan 18 mm .....                                                  | 69 |
| Tabel 11. Hasil rata-rata nilai koefisien refleksi bunyi untuk ketebalan 12 mm .....                                            | 72 |
| Tabel 12. Hasil rata-rata nilai koefisien refleksi bunyi untuk ketebalan 15 mm .....                                            | 73 |
| Tabel 13. Hasil rata-rata nilai koefisien refleksi bunyi untuk ketebalan 18 mm .....                                            | 74 |

## **DAFTAR LAMPIRAN**

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian.....               | 88 |
| Lampiran 2. Data penelitian dan pengolahan data ..... | 91 |

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Peningkatan penggunaan peralatan listrik dan mekanik baik di lingkungan industri telah menimbulkan kekhawatiran akan kebisingan. Urbanisasi dan pertumbuhan pesat pekerjaan konstruksi di setiap lingkungan semakin menekan perlunya teknologi baru untuk pengurangan kebisingan (Fatima, 2011). Berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405/Menkes/Sk/xi/2002 di dalam ruangan kerja batas kebisingan yang diperbolehkan yaitu 85 dB, lebih dari itu dapat menimbulkan dampak buruk bagi kesehatan, seperti bila dalam jangka waktu lama mendengarkan suara bising dapat menyebabkan stres dan membuat kemampuan indra pendengaran menurun yang berujung pada gangguan berkomunikasi (Lintong, 2009).

Pada penelitian Rahmawati, dkk (2017) di lingkungan perkebunan sawit di Kabupaten Ketapang, Kalimantan Barat sebanyak 59% mengalami penurunan daya dengar dengan tingkat kerusakan yang berat akibat terpapar kebisingan. Kemudian juga Sumardiyono (2019) menyatakan terdapat korelasi antara kebisingan kepada kenaikan gula darah. Untuk itu diperlukan cara untuk mengurangi kebisingan tersebut.

Kebisingan dapat dikontrol dengan menekan faktor penghasil kebisingan atau dengan menggunakan bahan peredam suara yang membantu mengurangi

energi gelombang akustik dengan memblokir atau menyerap. Menurut Hayat (2013), material penyerap bunyi mempunyai peranan penting dalam akustik ruangan. Secara tradisional kebisingan dikendalikan dengan menggunakan bahan penyerap suara yang mahal dan tidak dapat terurai seperti wol kaca, busa polimer yang bila digunakan berlebihan akan menimbulkan kerusakan pada lingkungan. Solusi dari permasalahan ini adalah diciptakannya material peredam kebisingan yang *sustainable*, murah dan ramah lingkungan.

Material peredam kebisingan dengan karakteristik seperti yang diinginkan diatas dapat dibuat dalam bentuk komposit. Komposit yaitu material yang dibuat dari hasil penggabungan dua material atau lebih dengan sifat berbeda menghasilkan material baru dengan sifat yang berbeda pula dari material pembentuknya. Kemudian sangat memungkinkan untuk memperbaiki sifat-sifat material seperti sifat mekanik atau sifat spesifik tertentu dari material tersebut, misalnya massa material yang dihasilkan menjadi ringan, kemudian dengan biaya yang murah dapat memberikan kebebasan dalam menciptakan material.

Kebebasan dalam pembuatan komposit dapat kita sesuaikan dengan pengaplikasiannya, untuk peredam kebisingan bisa dibuat dalam bentuk panel. Panel seringkali diaplikasikan pada bangunan dan juga memiliki sifat yang praktis serta lebih mudah untuk disesuaikan bentuknya sesuai kebutuhan, misalnya untuk dinding rumah, lantai rumah dan plafon. Kemudian selain dari bagian pokok rumah, juga digunakan sebagai bahan perabotan untuk isi rumah itu sendiri seperti lemari, laci, rak dan jenis perabotan lainnya. Panel yang banyak beredar dipasaran adalah tripleks, yang mana terbuat dari kayu. Penggunaan kayu secara terus menerus juga memberikan dampak yang buruk untuk lingkungan. Penebangan

kayu yang berkelanjutan dapat mengurangi produksi oksigen, menurunkan kesuburan tanah, penahan air berkurang dan akhirnya berujung menimbulkan bencana alam, tidak menutup kemungkinan juga berimbas pada kehidupan ekonomi, sosial dan budaya.

Dikutip dari situs [Mongabay.co.id](http://Mongabay.co.id), pada tahun 2020 tutupan hutan di wilayah Sumatera Barat tersisa 1,8 juta hektar atau 44% dari luas wilayah. Oleh karena itu untuk menghindari kerusakan lingkungan dan hal-hal yang tidak diinginkan lainnya, pembuatan komposit bisa menjadi alternatif cara hidup yang lebih ramah lingkungan, hemat dan efisien. Material penyusun komposit yang dibuat kali ini terdiri dari matriks, material penguat dan material pengisi yang diusahakan ramah lingkungan, berasal dari limbah dan bersifat kuat.

Komposit terdiri dari matriks (pengikat) dan reinforcement (penguat). Matriks merupakan material yang memiliki peran penting dalam suatu komposit, karena matriks ini akan menentukan kekuatan ikatan antar campuran material. Oleh karena itu diusahakan mencari material yang memiliki daya tahan yang baik dan mudah diolah. Salah satu bahan yang bisa digunakan adalah limbah plastik Polypropylene (PP). Penggunaan plastik PP dalam industri kemasan menduduki posisi pertama sekitar 30% diantara penggunaan plastik lain, yang berarti ketersediaannya pun berlimpah. Dibandingkan memproduksi plastik baru, lebih baik memanfaatkan limbah plastik untuk sesuatu yang bermanfaat. Kemudian karakteristik plastik PP yang mudah diolah dan tidak mudah lapuk, serta memiliki kuat tekan 80 MPa (Shinde, 2021). Membuat pemanfaatan limbah plastik PP sebagai matriks komposit dinilai cukup baik. Jenis plastik PP yang digunakan adalah PP hitam.

Matriks biasa dicampur dengan material pengisi. Material pengisi komposit cenderung harus memiliki sifat padu dan tidak mengganggu karakteristik bahan penguat dan bahan pengikat. Diharapkan berbentuk bubuk karena karakter bubuk yang ringan dan tidak merusak bahan lain. Salah satu bahan yang bisa digunakan adalah limbah *sludge* kertas, dikarenakan *sludge* kertas juga merupakan bahan sisa industri yang jumlahnya banyak tetapi jarang dimanfaatkan. *Sludge* kertas menumpuk karena kertas yang terus diproduksi. Salah satu pabrik kertas di Gresik menghasilkan limbah *sludge* kertas yang dihasilkan per hari mencapai 350 ton (Yusuf, 2016). Sehingga sangat disayangkan bila tidak digunakan untuk sesuatu yang bermanfaat. *Sludge* kertas karena bersifat ringan hanya digunakan untuk pengisi dalam komposit supaya campuran lebih padu, sementara untuk kekuatan komposit itu sendiri diperlukan bahan penguat.

Material penguat untuk komposit peredam suara yang sering digunakan adalah serat, baik dari serat kimia maupun serat alami. Serat kimia contohnya poliester, rayon, nilon, spandex, dacron, dll. Terkhusus serat alami yaitu berasal dari tumbuhan. Penggunaan serat tumbuhan telah banyak diminati beberapa tahun kebelakang, seperti pembuatan komposit kombinasi serat sabut kelapa dengan pengikat resin *fenol formadehide* menghasilkan koefisien absorpsi bunyi mencapai 0,984 (Kartikaratri, 2012), Kemudian komposit serat kulit jeruk dengan pengikat lem PVC memiliki koefisien absorpsi bunyi mencapai 0,990 (Risandi, 2017).

Material dapat dikatakan sebagai peredam kebisingan bila memiliki koefisien absorpsi lebih dari 0,15 (ISO 11654, 1997). Dari hasil penelitian diatas dapat kita ketahui serat tumbuhan memiliki kemampuan yang cukup baik dalam

menyerap suara. Hal tersebut dikarenakan serat alami memiliki kepadatan yang rendah kemudian juga memiliki permukaan yang kasar dengan diameter sekitar 345- 365  $\mu\text{m}$ , serta terdapat pori yang memudahkan mekanisme penyerapan suara (Rahmasita, 2017). Selain itu, serat alami ini juga membantu mengurangi ketergantungan minyak dan emisi karbon dioksida (Kikuchia, 2014). Kemudian serat memiliki *specific strength* yang sangat baik, memiliki nilai modulus tarik 5x lebih besar dibandingkan resin dasar, serta besar kekuatan impak takikan yang juga 2x lebih besar dibandingkan resin dasar (Lee, 2003). Dari segi ekonomi penggunaan serat alam membutuhkan biaya yang relatif rendah, terlebih juga sangat membantu menekan penyebab kerusakan lingkungan, serat alam merupakan material *biodegradable* yaitu mudah terurai, kemudian juga keberadaannya mudah didapatkan.

Di provinsi Sumatera Barat sendiri terdapat cukup banyak daerah yang memproduksi tebu contohnya di Jorong Tabek, Nagari Talang Babungo ,Kecamatan Hiliran Gumanti, Kabupaten Solok dalam sepekan menghasilkan lebih dari 5 ton tebu (Sumber:Jawapos.com), Kemudian Nagari Lasi (Kecamatan Canduang Kabupaten Agam) terdapat 1.5 Hektar kebun tebu yang dimanfaatkan untuk pembuatan gula merah (Sumber : artikel tvrisumbar), kemudian di Tanah datar produksi tebu tahun 2020 mencapai 2.235 ton (Sumber : Badan Pusat Statistik Provinsi Sumatera Barat), kemudian juga di Nagari Lawang Kecamatan Matur, Kabupaten Agam. Berlimpahnya ketersediaan tanaman tebu harus dimaksimalkan pemanfaatannya termasuk dalam pembuatan komposit peredam suara ini.

Penelitian menggunakan serat ampas tebu sebagai penguat komposit untuk peredam suara telah banyak dilakukan, seperti pada penelitian Puspitarini dkk (2014) komposit berbahan serat ampas tebu dan *Polivynil Asetate* memiliki koefisien absorpsi mencapai 0.89. Selanjutnya pada jurnal penelitian Ridhola dkk (2015) menggunakan serat ampas tebu sebagai penguat komposit, kemudian menggunakan resin sebagai pengikat komposit dihasilkan koefisien absorpsi paling maksimal di 0,961. Tetapi disini penggunaan bahan resin sebagai bahan pengikat komposit cukup mahal. Oleh karena itu diusahakan mencari bahan pengikat yang mudah diolah, mempunyai daya tahan yang baik, harganya relatif murah dan mampu menyerap bunyi.

Kemampuan material meredam suara dapat diketahui dengan pengukuran koefisien absorpsi bunyi dan juga koefisien refleksi dari material tersebut. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis membuat skripsi dengan judul **Pengujian Sifat Akustik Pada Panel Komposit Serat Ampas Tebu Dengan Matriks Limbah Plastik *Polypropylene* Dan Pengisi *Sludge* Kertas.**

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hubungan koefisien absorpsi bunyi dan koefisien refleksi bunyi terhadap ketebalan panel komposit serat ampas tebu dengan matriks limbah plastik *polypropylene* dan pengisi *sludge* kertas?
2. Bagaimana hubungan koefisien absorpsi bunyi terhadap frekuensi pada panel komposit serat ampas tebu dengan matriks limbah plastik *polypropylene* dan pengisi *sludge* kertas?

3. Apakah panel komposit serat ampas tebu dengan matriks limbah plastik polypropylene dan pengisi sludge kertas memiliki sifat akustik sesuai dengan standar ISO 11654?

### **C. Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Massa serat ampas tebu yang digunakan adalah 2% dari jumlah massa plastik PP hitam dan sludge kertas, limbah plastik PP hitam 40% dan *sludge* kertas 60%.
2. Pengukuran koefisien absorpsi bunyi menggunakan tabung impedansi satu mikrofon.

### **D. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini sebagai berikut:

1. Meneliti hubungan koefisien absorpsi bunyi dan koefisien refleksi bunyi terhadap ketebalan panel komposit serat ampas tebu dengan matriks limbah plastik polypropylene dan pengisi sludge kertas
2. Meneliti hubungan koefisien absorpsi bunyi terhadap frekuensi pada panel komposit serat ampas tebu dengan matriks limbah plastik polypropylene dan pengisi sludge kertas
3. Meneliti panel komposit serat ampas tebu dengan matriks limbah plastik polypropylene dan pengisi sludge kertas memiliki sifat akustik yang sesuai dengan standar ISO 11654

## **BAB II**

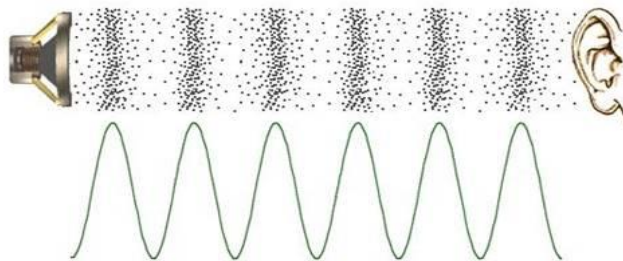
### **KERANGKA TEORITIS**

#### **A. Sifat Akustik**

Akustik berasal dari bahasa Yunani *akoustikos* yang berarti dari atau untuk mendengar. Dalam ilmu sains, akustik merupakan salah satu cabang ilmu fisika yang mempelajari tentang gelombang mekanik baik dalam media gas, padat, atau cair. Sifat akustik yang diukur dari komposit ini termasuk dalam perambatan gelombang mekanik yaitu bunyi pada benda padat. Sementara menurut Latifah (2015), akustik adalah pengendalian bunyi agar diperoleh kualitas bunyi yang baik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sifat akustik erat kaitannya dengan bunyi. Pada penelitian kali ini, sifat akustik yang akan dibahas yaitu absorpsi bunyi dan refleksi bunyi.

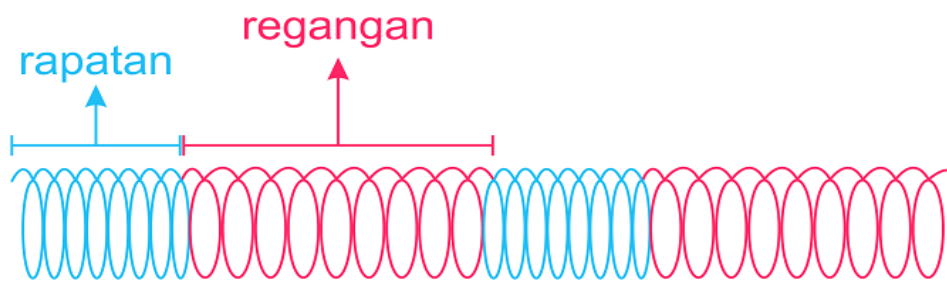
#### **B. Bunyi**

Bunyi adalah getaran yang bergesekan dengan zat disekitarnya. Terdapat 3 syarat terjadinya bunyi yaitu adanya sumber bunyi, medium tempat merambat, dan indera pendengaran.



Gambar 1. Syarat bunyi  
(Sumber: Seluncur.id)

Sumber bunyi ada yang berbentuk titik dan ada yang berbentuk garis, sumber bunyi berbentuk titik diakibatkan oleh satu getaran saja, sementara sumber bunyi berbentuk garis ditimbulkan oleh banyak getaran (Mediastika, 2005). Getaran menghasilkan gelombang longitudinal yaitu gelombang yang merambat melalui medium. Medium rambatan dapat berupa zat padat, cair dan gas. Satu gelombang terdiri dari 1 rapatan dan 1 regangan.



Gambar 2. Gelombang bunyi sebagai gelombang longitudinal  
(Sumber: Zenius.net)

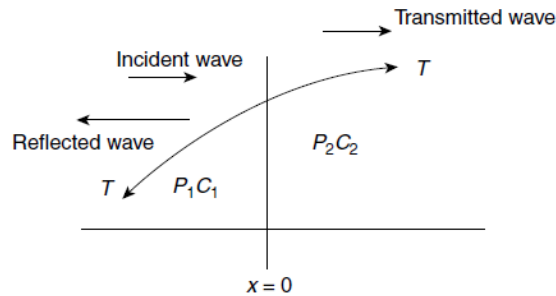
Berdasarkan medium perambatannya gelombang bunyi lebih cepat merambat pada medium padat kemudian disusul oleh medium cair dan gas. Hal ini dikarenakan zat dengan susunan partikel stabil, jika partikel datang dan bersentuhan mengenainya itu lebih mudah terjadi dan cenderung teratur.

Perambatan bunyi di udara dapat dituliskan dalam persamaan:

$$y = a \sin (\omega t + kx) \quad (1)$$

$$y = A e^{i(\omega t - kx)} \quad (2)$$

Berikut ilustrasi untuk gelombang datang, gelombang pantul dan gelombang transmisi:



Gambar 3. Gelombang datang, gelombang pantul dan gelombang transmisi

Pada posisi  $x=0$ , sebagian gelombang dipantulkan dan sebagian lagi diteruskan ke daerah  $P_2C_2$ . Amplitudo datang  $A_1$  berjalan dengan kecepatan  $c_1$ , gelombang refleksi  $y_r = B_1 e^{i(\omega t + k_1 x)}$  dengan amplitudo refleksi  $B_1$  dan berjalan searah sumbu  $x$  negatif dengan kecepatan  $c_1$ . Gelombang transmisi  $y_t = A_2 e^{i(\omega t - k_2 x)}$  dengan amplitudo transmisi  $A_2$  dan berjalan searah sumbu  $x$  positif dengan kecepatan  $c_2$ .

Saat  $x = 0$ ,

$$y_i + y_r = y_t \quad (3)$$

$$A_1 e^{i(\omega t - k_1 x)} + B_1 e^{i(\omega t + k_1 x)} = A_2 e^{i(\omega t - k_2 x)} \quad (4)$$

$$A_1 + B_1 = A_2 \quad (5)$$

$$T \frac{\partial}{\partial x} (y_i + y_r) = T \frac{\partial}{\partial x} y_t \quad (6)$$

Koefisien refleksi:

$$\frac{B_1}{A_1} \quad (7)$$

Koefisien transmisi

$$\frac{A_2}{A_1} \quad (8)$$

(Pain, 2005)

Kecepatan bunyi di dalam tabung tertutup:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{c} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (9)$$

Dengan c adalah cepat rambat bunyi, kemudian didapat tekanan bunyi datang,

A adalah amplitudo gelombang datang, Tekanan bunyi pantul:

$$P_r = B \sin (\omega t - kx - kl - \theta) \quad (10)$$

B adalah amplitudo gelombang pantul, bila dijumlahkan besar tekanan bunyi di ujung dekat mikrofon:

$$P = A \sin (\omega t + kx) + B \sin (\omega t - kx - kl - \theta) \quad (11)$$

Dimisalkan:

$$\vec{A} = A \sin (\omega t + kx)$$

$\vec{B} = B \sin (\omega t - kx - kl - \theta)$  sehingga pejumlahan vektor menjadi:

$$\vec{P} = \vec{A} + \vec{B} \quad (12)$$

$$|\vec{P}|^2 = |\vec{A} + \vec{B}|^2 = A^2 + B^2 + 2AB \cos \alpha \quad (13)$$

$$= A^2 + B^2 + 2AB \cos [(\omega t + kx) - (\omega t - kx - kl - \theta)]$$

$$|\vec{A} + \vec{B}|^2 = A^2 + B^2 + 2AB \cos (2kx + kl + \theta)$$

$\alpha$  = beda fase antara  $\vec{A}$  dan  $\vec{B}$  dengan demikian:

$$|\vec{P}| = [A^2 + B^2 + 2AB \cos (2kx + kl + \theta)]^{1/2} \quad (14)$$

Dari persamaan 14 dapat diketahui tekanan bunyi maksimum terjadi bila harga  $\cos 2kx + kl + \theta = 1$

$$P_{\max} = [A^2 + B^2 + 2AB]^{1/2} = A+B \quad (15)$$

Tekanan bunyi minimum bila harga  $\cos 2kx + kl + \theta = -1$  dan

$$P_{\min} = [A^2 + B^2 - 2AB]^{1/2} = A-B \quad (16)$$

Jika  $P_{\min} + P_{\max} = 2A$

$$A = \frac{1}{2} (P_{\min} + P_{\max}) \quad (17)$$

Jika  $P_{\min} - P_{\max} = 2B$

$$B = \frac{1}{2} (P_{\min} - P_{\max}) \quad (18)$$

Diketahui rumus koefisien absorpsi normal:

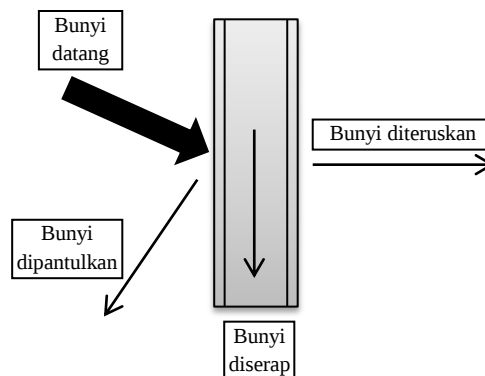
$$\alpha_n = \frac{A^2 - B^2}{A^2} \quad (19)$$

Substitusi persamaan 17 dan 18 ke persamaan 19 maka didapat:

$$\begin{aligned} \alpha_n &= \frac{[1/2(P_{\min} + P_{\max})]^2 - [1/2(P_{\min} - P_{\max})]^2}{[1/2(P_{\min} + P_{\max})]^2} \\ \alpha_n &= \frac{P_{\max}^2 + 2P_{\max}P_{\min} + P_{\min}^2 - P_{\max}^2 + 2P_{\max}P_{\min} - P_{\min}^2}{[(P_{\min} + P_{\max})]^2} \\ \alpha_n &= \frac{4P_{\max}P_{\min}}{[(P_{\min} + P_{\max})]^2} \end{aligned} \quad (20)$$

(Liana, 2015)

Perilaku gelombang bunyi ketika mengenai objek ada tiga yaitu memantul, diserap dan diteruskan.



Gambar 4. Perlakuan bunyi ketika mengenai objek

Peristiwa diatas terjadi tergantung dari jenis objek yang dikenai. Gelombang bunyi akan memantul bila sudut datang dan sudut pantul memiliki posisi yang sama serta mengenai permukaan objek yang licin sempurna dan melebihi dimensi

gelombang bunyi yang datang. Gelombang bunyi akan diserap atau diteruskan bila mengenai objek yang memiliki celah, lubang atau retak kecil yang mana akan menghasilkan sumber bunyi kedua dari sumber bunyi asli dari balik objek tersebut berlaku persamaan.

$$I_{\text{absorpsi}} = I_0 - I_T - I_R \quad (21)$$

Dimana  $I_0$  = Intensitas awal,  $I_T$  = Intensitas transmisi,  $I_R$  = Intensitas refleksi.

(Rizky, 2014)

Gelombang bunyi bila melalui celah berpeluang menghasilkan duplikat sumber, yang berarti bunyi memiliki kekuatan yang cukup untuk dapat terdengar dari balik objek.

### C. Koefisien Absorpsi Bunyi

Koefisien absorpsi bunyi ( $\alpha$ ) merupakan nilai yang menunjukkan kemampuan suatu bahan dalam menyerap bunyi, yang mengakibatkan energi bunyi menurun, kekuatan bunyi juga ikut menurun kemudian berakhir pada berkurangnya kebisingan dalam ruang. Koefisien absorpsi bunyi bisa juga diartikan sebagai perbandingan antara energi suara yang diserap oleh suatu bahan dengan energi suara yang datang pada permukaan bahan tersebut (Mediastika, 2005). Penyerapan energi bunyi berarti bahan mampu mengubah energi bunyi menjadi energi kinetik dan energi kalor. Dimana energi kalor dihasilkan dari gesekan antar molekul saat bergetar (Khuriati et al., 2006).

Energi bunyi yang berubah menjadi kalor tidak mempengaruhi karakteristik material, tetapi frekuensi bunyi yang datang dapat merubah nilai koefisien absorpsi. Biasanya nilai koefisien absorpsi bunyi terdiri dari rentang angka 0 sampai dengan 1. Nilai 0 menunjukkan tidak terjadinya penyerapan bunyi atau

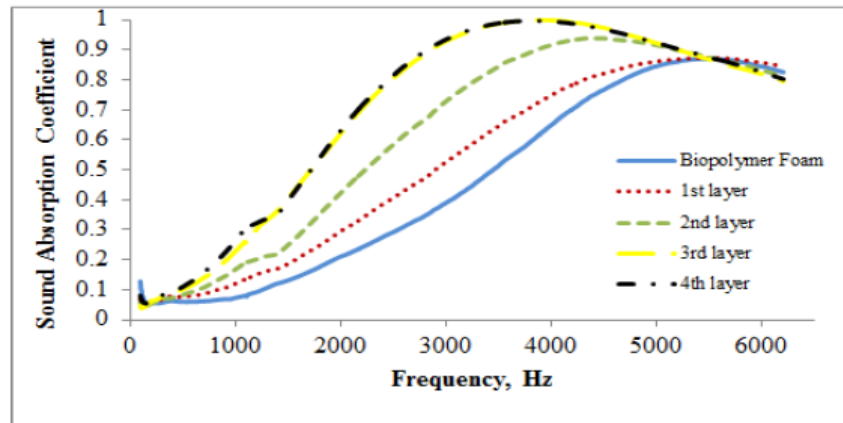
gelombang bunyi yang datang diteruskan seluruhnya oleh bahan, Sedangkan jika koefisien absorpsi bunyi bernilai 1 artinya gelombang bunyi yang datang diserap seluruhnya oleh bahan, hal ini berarti tidak ada gelombang bunyi yang diteruskan (Doelle, 1986). Suatu material dapat dikategorikan sebagai penyerap bunyi apabila material tersebut memiliki nilai koefisien absorpsi bunyi minimum sebesar 0.15 (ISO 11654, 1997).

Koefisien absorpsi bunyi dapat dikaitkan hubungannya terhadap ketebalan panel komposit dan terhadap frekuensi sebagai berikut:

1. Hubungan koefisien absorpsi bunyi terhadap ketebalan komposit

Kemampuan material menyerap bunyi dipengaruhi oleh tiga hal yaitu struktur permukaan, ukuran tebal dan cara pemasangan material (Beets, 1983). Pada penelitian Li (2007) mengenai pengaruh ketebalan bahan nonwoven terhadap kemampuan absorpsi bunyi, didapatkan hasil bahwa semakin tebal nonwoven maka nilai koefisien absorpsi bunyi makin tinggi. Serat yang disusun paralel atau didistribusi acak membuat banyak keterbukaan pada struktur bahan. Keterbukaan struktur atau pori-pori membuat gelombang akustik masuk dan menyebar pada serat dan menghilangkan sebagian energi akustik, yang kemudian energi akustik diubah menjadi energi panas, perubahan energi ini hasil dari reaksi antara gesekan dan getaran udara yang masuk ke dalam pori-pori. Proses ini diulang beberapa kali dan menghasilkan gelombang atenuasi akustik. Jika nonwoven terlalu tipis, waktu pengulangan proses berkurang dan suara yang diserap berkurang. Sebaliknya semakin tebal nonwoven, semakin banyak waktu pengulangan proses dan semakin banyak kehilangan energi akustik.

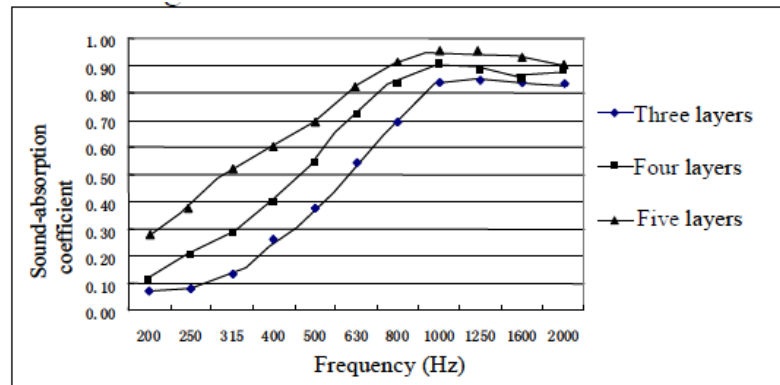
Penelitian lain juga menyatakan koefisien absorpsi meningkat seiring bertambahnya ketebalan material, pada penelitian ini material yang digunakan adalah komposit biopolymer, dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Koefisien penyerapan ( $\alpha$ ) busa biopolimer dari kain katun laminasi (Hassan et al,2013)

Pada grafik menunjukkan semakin banyak *layer* pada komposit maka nilai koefisien absorpsi juga semakin tinggi walaupun untuk dua ketebalan tertinggi menunjukkan nilai koefisien absorpsi yang berdekatan.

Teori ini juga didukung oleh penelitian Su (2011) mengukur koefisien absorpsi pada nonwoven mendapatkan hasil penelitian bahwa peningkatan ketebalan material dapat memperpanjang kinerja penyerapan bunyi. Ketika ketebalan meningkat sampai batas tertentu, efek peningkatan ketebalan pada penyerapan suara frekuensi tinggi kecil. Sementara itu, seberapa tebal bahan meningkat, bahan dalam kapasitas penyerapan suara frekuensi tinggi tidak akan meningkat secara total. Dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengaruh ketebalan bahan nonwoven pada kemampuan penyerapan suara.  
(Su, 2011)

Berdasarkan grafik diatas terlihat bahwa semakin tebal nonwoven dengan banyaknya *layer* atau lapisan maka semakin tinggi nilai koefisien absorpsi yang dimilikinya.

Dari uraian penelitian diatas dapat diketahui dengan bertambahnya ketebalan pada suatu material akan mempengaruhi tingkat penyerapan bunyi yang mengenainya.

## 2. Hubungan nilai koefisien absorpsi bunyi terhadap frekuensi

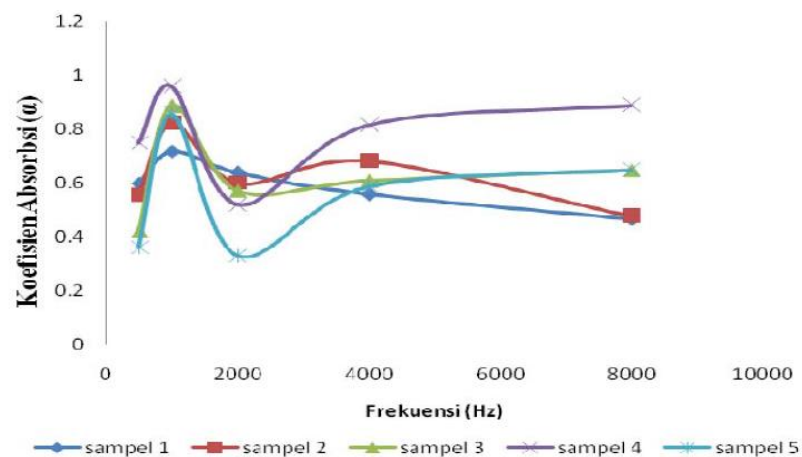
Bunyi dalam pendengaran terdiri dari kenyaringan dan ketinggian. Kenyaringan terkait dengan energi gelombang, sementara ketinggian ditentukan oleh frekuensi (Giancoli, 1998). Frekuensi adalah banyaknya getaran yang terjadi dalam satu detik. Manusia bisa mendengar frekuensi dari rentang 20 Hz – 20.000 Hz. Frekuensi dibawah 1000 Hz tergolong frekuensi rendah, kemudian frekuensi diatas 1000 Hz – 4000 Hz disebut frekuensi sedang dan frekuensi diatas 4000 Hz disebut frekuensi tinggi (Mediastika, 2005).

Frekuensi gelombang bunyi dapat mengalami interferensi. Adanya Teori bahwasanya tiap benda memiliki frekuensi dan warna yang berbeda - beda (Mediastika, 2005), kemudian apabila frekuensi alamiah ini memiliki frekuensi

yang sama atau mirip dengan frekuensi gelombang datang dari sumber bunyi, maka gelombang dari keduanya berinterferensi konstruktif menghasilkan amplitudo yang tinggi dan juga kekuatan bunyi ikut tinggi sehingga bunyi yang diserap juga lebih banyak.

Hal ini diperkuat oleh teori pada penelitian Templeton dan Saunders (1987) yang menyatakan bahwa serapan bunyi untuk gelombang pendek jauh lebih besar daripada serapan bunyi untuk gelombang panjang. Bunyi dengan gelombang pendek identik dengan frekuensi tinggi. Sehingga pada frekuensi tinggi nilai serapan atau koefisien absorpsinya juga maksimal.

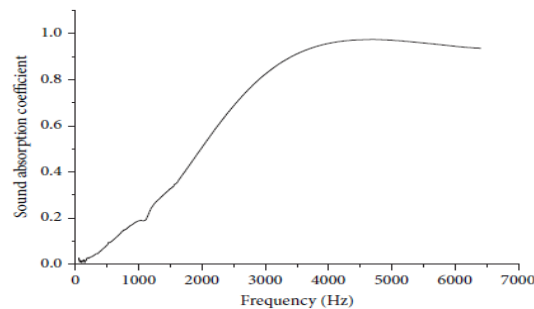
Pada penelitian Ridhola (2015) dilakukan pengujian akustik terhadap komposit serat alam ampas tebu didapat nilai koefisien absorpsi pada tiap frekuensi berubah-ubah seperti yang terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hubungan koefisien absorpsi bunyi ( $\alpha$ ) pada material serat alam ampas tebu terhadap frekuensi (Hz).  
(Ridhola, 2015)

Pada grafik diatas menunjukkan untuk frekuensi 1500 Hz nilai koefisien absorpsi bunyi mencapai nilai tertinggi kemudian menurun menuju frekuensi 2000 Hz, setelah itu kembali naik dan relatif konstan menuju frekuensi tinggi.

Hasil serupa juga ditunjukkan pada penelitian Peng et al (2015) yang membuat material peredam suara yang berasal dari serat alam dan polyester didapat hubungan koefisien absorpsi dan frekuensi seperti pada Gambar 8.

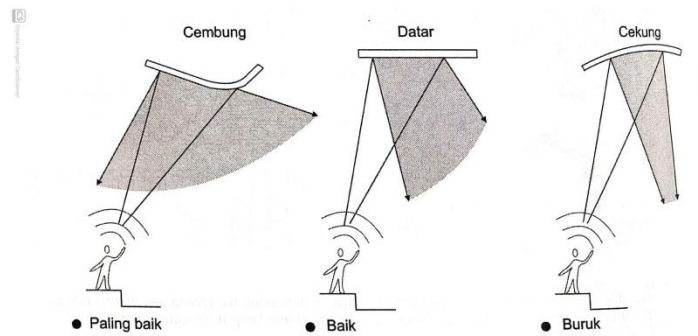


Gambar 8. Koefisien penyerapan serat kayu/serat polyester bahan komposit (Peng, 2015)

Berdasarkan grafik didapat bahwa nilai koefisien absorpsi maksimal pada frekuensi 4000 Hz sampai 5000 Hz. Sedangkan untuk frekuensi rendah nilai koefisien absorpsi lebih kecil. Sehingga dapat dikatakan pada tiap frekuensi nilai koefisien absorpsi berubah-ubah tergantung frekuensi alamiah benda tersebut.

#### **D. Koefisien Refleksi Bunyi**

Koefisien refleksi bunyi adalah nilai yang menunjukkan kemampuan suatu benda memantulkan bunyi atau biasa disebut refleksi bunyi. Pemantulan lebih optimal terjadi pada bidang dengan permukaan licin dan datar, seperti terlihat pada gambar 5.



Gambar 9. Refleksi bunyi pada berbagai permukaan

Pantulan lebih optimal bila mengenai material dengan permukaan keras, licin. Semakin keras permukaannya, semakin kuat kemampuannya untuk memantulkan suara yang jatuh di atasnya (Tipler, 1998). Hukum pemantulan bunyi yaitu bunyi datang, garis normal, dan bunyi pantul terletak pada suatu bidang datar dan sudut datang sama dengan sudut pantul (Surdijani, 2006).

Selain pengaruh dari permukaan sampel, pemantulan bunyi juga dipengaruhi oleh ukuran partikel yang dapat mempengaruhi karakteristik partikel, partikel yang besar menghasilkan permukaan kasar dan ikatan antar partikel lemah sehingga ada pori di antara partikel serta tidak semua partikel berikatan dengan baik. Ukuran partikel yang kecil menghasilkan permukaan yang halus dan ikatan antar partikel yang baik (Ulfah, 2015). Oleh karena itu setiap benda memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Ada yang lebih mudah memantulkan bunyi-bunyi berfrekuensi tinggi ada yang lebih mudah memantulkan bagian-bagian gelombang berfrekuensi rendah tergantung dari tekstur permukaan material dan tingkat kepadatan sampel (Mangunwijaya, 1980).

Peristiwa penurunan dan kenaikan koefisien refleksi bunyi pada frekuensi tertentu masih berkaitan dengan teori bahwasanya tiap benda memiliki frekuensi alamiah tersendiri, kemudian apabila frekuensi gelombang datang berbeda dengan

frekuensi alamiah sampel maka gelombang akan bertumbuk berlawanan dan salah satu akibatnya yaitu ada gelombang yang dipantulkan.

### **E. Kebisingan**

Kebisingan adalah bunyi yang tidak diinginkan dari usaha atau kegiatan dalam tingkat dan waktu dan tertentu yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan (Kepmen LH No 48. tahun 1996). Berkembang pesatnya teknologi berupa sarana informasi, komunikasi, produksi, transportasi, maupun hiburan sebagian besar menghasilkan kebisingan. Kebisingan menyebabkan berbagai gangguan kesehatan, seperti gangguan fisiologis, gangguan psikologis, gangguan komunikasi dan ketulian, atau gangguan terhadap pendengaran seperti komunikasi terganggu, ancaman bahaya keselamatan, menurunnya performa kerja, kelelahan dan stres. Oleh karena itu kebisingan telah menjadi masalah dan harus ditangani secara serius, Solusi dari permasalahan tersebut adalah mengembangkan berbagai jenis material peredam suara (Khuriati. et all, 2006).

Jenis bahan penyerap bunyi yang akan digunakan yaitu serat alam berpori berbentuk panel, serat alam yang dipakai adalah serat ampas tebu. Serat alam ampas tebu (bagasse) yang dipakai adalah yang telah mengalami ekstraksi, sehingga memenuhi syarat untuk diolah menjadi papan panel (Indriani, 1992).

Secara alami kebisingan dapat berkurang diantaranya dipengaruhi oleh jarak, serapan udara, angin, permukaan tanah, dan adanya objek penghalang. Sementara usaha yang dapat dilakukan untuk memerangi kebisingan ada tiga yaitu:

- a. Menyerap suara, yaitu dengan menciptakan material yang dapat menyerap suara atau mengurangi energi suara.
- b. Mengisolasi suara, dengan cara menciptakan ruangan yang terdiri dari dinding pemisah yang tebal dengan tujuan agar suara terkurung hanya di dalam ruangan tersebut.
- c. Suara kontak, Yaitu meminimalisir pemindahan suara kepada objek yang berkontak langsung dengan sumber suara (Mediastika, 2005).

Peraturan pemerintah terkait kebisingan diatur dalam Peraturan Menkes No. 718/MenKes/Per/XI/87 dan Keputusan Dirjen Pemberantasan Penyakit Menular.

(PPM) No. 70-I/PP.03.04.LP. Dalam peraturan Menkes terdapat batas kebisingan berdasarkan area seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Batas kebisingan berdasarkan area

(Peraturan Menkes No.718/Menkes/Per/XI/87,dalam Hakim dkk., 1995)

| No | Area                                       | Tingkat Kebisingan (dBA) Maksimum di dalam Bangunan |               |
|----|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------|
|    |                                            | Dianjurkan                                          | Diperbolehkan |
| 1. | Laboratorium, rumah sakit, panti perawatan | 35                                                  | 45            |
| 2. | Rumah , sekolah, tempat rekreasi           | 45                                                  | 55            |
| 3. | Kantor, pertokoan                          | 50                                                  | 60            |
| 4. | Industri, terminal, stasiun KA             | 60                                                  | 70            |

Kebisingan dibedakan berdasarkan medium perambatannya yaitu kebisingan yang disebabkan oleh udara (*airbone noise*) dan kebisingan yang merambat melalui benda padat (*structureborne*). Penanggulangan untuk kedua kasus ini pun berbeda, misal bila *airbone noise* dapat diatasi dengan memberi penghalang rambatan bunyi, bisa dengan membuat bunyi memantul kemudian membuat bahan penyerap bunyi. Sedangkan *structureborne* dapat diatasi dengan menggunakan

material yang tidak mudah bergetar dikarenakan pada kasus ini sumber masalah berasal dari rambatan bunyi pada material.

## F. Standing Wave Ratio

Standing Wave Ratio dalam bahasa Indonesia adalah Rasio gelombang tegak. Gelombang tegak sering juga disebut gelombang stasioner atau gelombang berdiri. Gelombang ini biasa terjadi karena adanya superposisi atau paduan antar gelombang koheren, dengan persamaan:

$$\delta = k(x_1 - x_2) \quad (22)$$

Dimana  $\delta$  adalah beda fase gelombang,  $k$  adalah bilangan gelombang,  $x_1$  adalah posisi gelombang 1 dan  $x_2$  merupakan posisi gelombang 2.

Amplitudo gelombang paduan memiliki besar diantara  $(A_1 - A_2)$  dan  $(A_1 + A_2)$ , mengingat  $-1 \leq \cos \delta \leq 1$ . Amplitudo paduan ditentukan oleh letak titik terhadap sumber bunyi, sehingga amplitudo maksimum dan amplitudo minimum adalah

Maksimum :

$$A_0 = A_1 + A_2 \quad (23)$$

Jika

$$\cos \delta = 1 \quad (24)$$

$$k(x_1 - x_2) = 2N \cdot \pi \quad (25)$$

$$(x_1 - x_2) = (2N) \cdot \frac{1}{2}\lambda \quad (26)$$

Minimum :

$$A_0 = A_1 - A_2 \quad (27)$$

Jika

$$\cos \delta = -1 \quad (28)$$

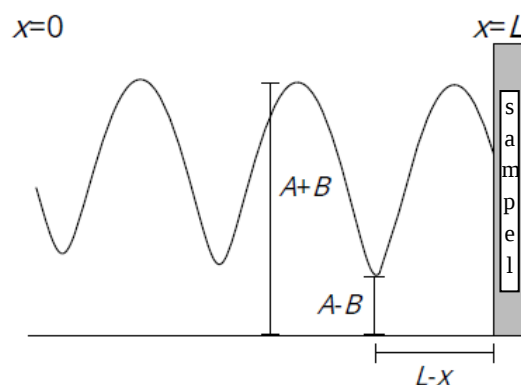
$$k(x_1, x_2) = (2N + 1) \cdot \pi \quad (29)$$

$$(x_1 - x_2) = (2N + 1) \cdot \frac{1}{2}\lambda \quad (30)$$

Ket:  $A_0$  = Amplitudo Paduan,  $\pi$  = konstanta,  $N$  = Banyak gelombang dalam 1 sekon,  $\lambda$  = panjang gelombang (Prasetio, 1992).

Dimana  $N = 0, 1, 2, 3, \dots$  Amplitudo paduan gelombang minimum saat selisih jarak tempuh kedua gelombang merupakan kelipatan bilangan ganjil dari setengah panjang gelombangnya, dan akan maksimum bila selisih jarak itu merupakan kelipatan bilangan genap dari setengah panjang gelombangnya. Gelombang yang amplitudonya mencapai maksimum di suatu tempat dan minimum di tempat lainnya secara tetap disebut gelombang berdiri atau gelombang stasioner.

SWR (Standing Wave Ratio) dimodelkan dengan gambar dibawah



Gambar 10. Amplitudo maksimum saat ( $A + B$ ), amplitudo minimum saat ( $A - B$ ) (Daniel, 2004)

Sehingga SWR (Standing Wave Ratio) :

$$SWR = \frac{A+B}{A-B} \quad (31)$$

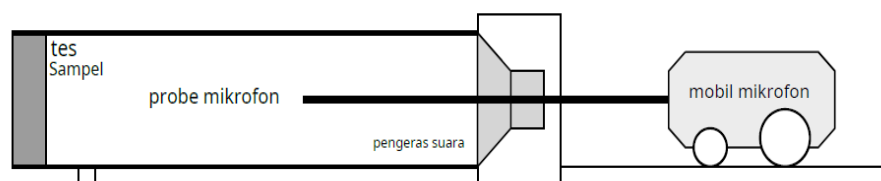
(Daniel, 2004)

Keterangan: A adalah amplitudo gelombang datang, B adalah amplitudo gelombang pantul. Amplitudo tekanan maksimum saat  $A+B$  dan amplitudo tekanan minimum saat  $A-B$  (Ikhsan, 2016).

## F. Tabung Impedansi Satu Mikrofon

Terdapat dua metode pengukuran sifat akustik material, yang pertama metode ruang dengung dan yang kedua metode tabung impedansi. Metode ruang dengung melibatkan ruang gema khusus, pada metode ini sifat absorpsi akustik bahan dilihat dari perbedaan waktu dengung dengan dan tanpa bahan. Metode ini efektif untuk mengukur karakteristik penyerapan untuk gelombang suara yang datang secara acak, dan lebih sesuai untuk penentuan sifat penyerap yang bergantung pada ukuran material. Metode ini cenderung lebih mahal, membutuhkan sensor yang dikalibrasi secara tepat dan ruang dengung yang dirancang khusus. Metode kedua yaitu tabung impedansi, merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui nilai koefisien serapan bunyi. Penelitian tentang tabung impedansi telah banyak dilakukan (Bahri, 2016).

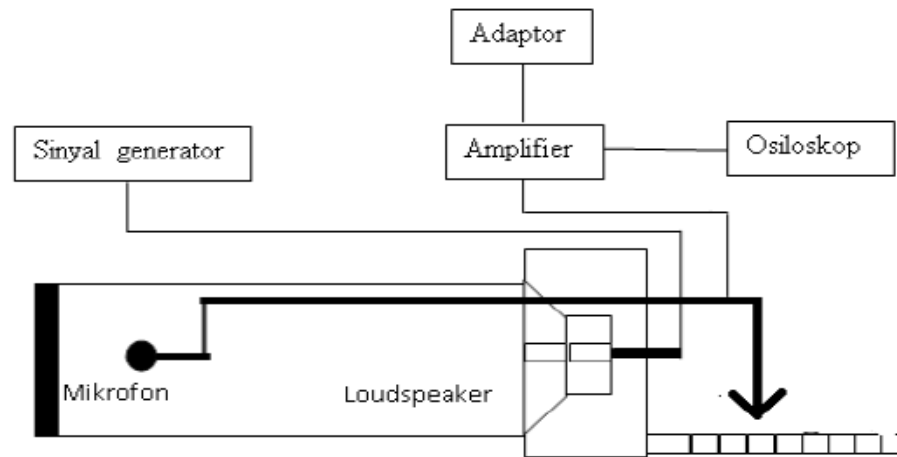
Tabung impedansi pertama kali dimanfaatkan sebagai pelindung kapal selam dari deteksi sonar dalam perang dunia II. Alat ini memanfaatkan gelombang berdiri *Brüel & Kjør 4002*. Sebuah sketsa dari *B&K Standing Wave Apparatus* ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 11. Tabung Impedansi  
(Daniel, 2004)

Gelombang akustik yang dihasilkan loudspeaker merambat ke dalam tabung kemudian dipantulkan kembali oleh sampel uji. Fasa gelombang datang dan gelombang pantul dalam tabung berinterferensi akan menghasilkan pembentukan pola gelombang berdiri di dalam pipa. Jika gelombang datang dipantulkan keseluruhan, maka gelombang datang dan gelombang pantul memiliki amplitudo yang sama. Node (Amplitudo minimum) dalam pipa memiliki tekanan nol dan antinode (Amplitudo maksimum) memiliki tekanan dua kali lipat. Jika gelombang datang diserap sebagian oleh sampel, maka gelombang datang dan gelombang pantul memiliki amplitudo yang berbeda, node dalam pipa tidak lagi memiliki tekanan nol. Amplitudo tekanan pada node dan antinode diukur dengan probe mikrofon yang terpasang pada mobil yang digerakkan horizontal. Rasio tekanan maksimum (antinode) dengan tekanan minimum (simpul) disebut rasio gelombang berdiri SWR. Rasio ini, yang memiliki nilai lebih besar atau sama dengan satu, digunakan untuk menentukan amplitudo koefisien penyerapannya (Daniel, 2004).

Tabung impedansi terdiri dari beberapa alat antara lain: mikrofon, catu daya, amplifier, osiloskop, loudspeaker, sinyal generator, skala dan sampel seperti diperlihatkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Skema rangkaian tabung impedansi  
(Risandi, 2017)

Pada tabung impedansi dipasang loudspeaker yang disambungkan dengan sinyal generator yang berfungsi sebagai penghasil bunyi dan untuk variasi frekuensi. Diujung lainnya diletakkan sampel yang akan dihitung nilai koefisien absorpsinya. Kemudian mikrofon dikaitkan dengan kawat ditempatkan di bagian ujung tabung dekat sampel, Tidak menyentuh dinding tabung ditengah-tengah penampang tabung. Mikrofon dihubungkan dengan amplifier sebagai penguat sinyal gelombang bunyi kemudian dihubungkan pula dengan osiloskop untuk menampilkan bentuk gelombang. Gelombang yang diukur adalah amplitudo tekanan maksimum dan amplitudo tekanan minimum, dengan cara menggeser-geser kawat yang ditempatkan mikrofon diujungnya (Risandi, 2017).

Kelebihan pengukuran menggunakan Tabung Impedansi adalah menggunakan sampel hanya seluas penampang tabung sehingga tidak memerlukan biaya yang banyak, dan juga sangat sesuai dengan kajian-kajian teoritis (Baranek, 1993). Dibanding metode reverberasi sabine memiliki kelemahan menggunakan banyak material akustik untuk menutupi seluruh ruangan yang

dirancang walaupun metode ini menggambarkan keadaan ruangan yang ril (Doelle, 1986).

Pada pengukuran menggunakan tabung impedansi didapat amplitudo maksimum dan amplitudo minimum. Amplitudo maksimum dan amplitudo minimum terdiri dari amplitudo gelombang datang dan gelombang pantul. Hal ini disebabkan karena pada salah satu ujung tabung diletakkan sebuah sumber suara sedangkan ujung tabung lainnya ditutup, maka gelombang suara akan merambat melewati udara di dalam tabung dan ketika sampai di ujung yang tertutup gelombang tersebut dipantulkan. Jadi di dalam tabung terdapat gelombang datang

Koefisien Absorpsi dihitung menggunakan rumus :

$$\alpha = 1 - \left( \frac{SWR-1}{SWR+1} \right)^2 \quad (32)$$

$$\alpha = \frac{4}{SWR + \frac{1}{SWR} + 2} \quad (33)$$

(Daniel, 2004)

Keterangan:  $\alpha$  = koefisien absorpsi, SWR = Standing Wave Ratio.

Refleksi bunyi bernilai negatif karena berlawanan dengan arah gelombang bunyi datang.

Koefisien refleksi bunyi dirumuskan:

$$\alpha = 1 - R_{|\Gamma|} \quad (34)$$

$$R_{|\Gamma|} = \left| \frac{B}{A} \right|^2 \quad (35)$$

$$\left| \frac{B}{A} \right| = \left( \frac{SWR-1}{SWR+1} \right) \quad (36)$$

$$R_{|\Gamma|} = \left( \frac{SWR-1}{SWR+1} \right)^2 \quad (37)$$

Keterangan: B adalah amplitudo gelombang pantul, kemudian A adalah amplitudo gelombang datang dan  $R_{|r|}$  adalah koefisien refleksi bunyi.

(Daniel, 2004)

## **G. Komposit**

### **1. Definisi komposit**

Asal kata komposit dari kata kerja “to compose” memiliki makna menyusun atau menggabung. Jadi bahan komposit berarti bahan hasil dari penggabungan dua atau lebih bahan yang berbeda. Atau juga komposit merupakan penggabungan dua atau lebih bahan menjadi satu bahan, dimana secara mikroskopis bahan yang dihasilkan masih mewarisi sifat bahan pembentuknya, Serta memiliki sifat yang saling mendukung sehingga dapat menunjukkan sifat-sifat yang diinginkan dari pembentuk material tersebut (Mikell, 1996).

Definisi yang sama juga disampaikan oleh Wirajaya (2007), Komposit merupakan campuran dua bahan atau lebih dengan sifat yang berbeda. Komposit pada umumnya tersusun atas matriks (material pengikat) dan reinforcement (material penguat). Di dalam komposit dapat terbentuk interphase yaitu fase diantara fase matriks dan penguat yang disebabkan interaksi kimia antara fase matriks dan fase penguat tersebut. Sehingga dapat disimpulkan bahwasanya komposit adalah pembentukan suatu material dengan cara menggabungkan dua material atau lebih dimana material yang terbentuk masih memiliki sifat dari material pembentuknya.

Oleh karena komposit dibentuk dari penggabungan material berbeda hal ini menjadi keuntungan dari komposit, misalnya bila satu bahan tunggal contohnya

batu yang memiliki massa besar, kemudian bila dibuatkan komposit digabungkan dengan bahan yang bermassa lebih ringan contohnya plastik maka sifat bahan yang terbentuk akan didapatkan penggabungan dari sifat kedua bahan menjadi lebih ringan, kemudian juga tahan korosi. Keuntungan lain dari bahan komposit adalah terciptanya karakteristik baru dari bahan yang merupakan penggabungan karakteristik-karakteristik terbaik dari masing-masing unsur pembentuknya, yang mana karakteristik demikian tidak bisa didapatkan jika bahan pembentuk bekerja sendiri-sendiri (Gibson,1994). Ditinjau dari sifat mekanik bahan komposit juga memiliki kestabilan mekanik yang baik dikarenakan ikatan antara dua bahan pembentuk.

## 2. Material penyusun komposit

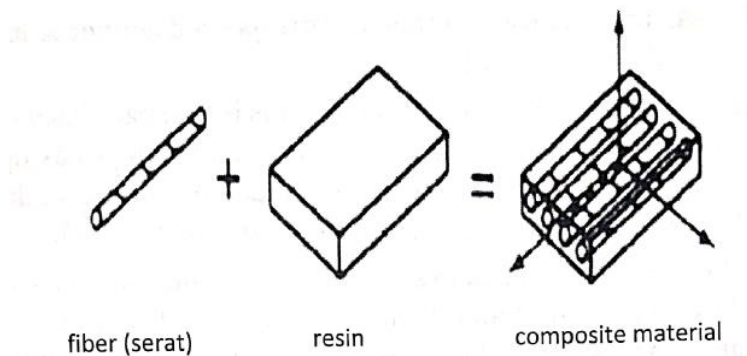
Komposit dibentuk dari dua jenis material yang berbeda, yaitu :

- a. Penguat (reinforcement atau Filler atau Fiber), biasanya bahan yang dijadikan penguat adalah bahan yang bersifat kurang *ductile* tetapi lebih *rigid* serta lebih kuat. Bahan penguat sendiri berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit.
- b. Matriks, Merupakan bagian yang memiliki volume dominan dalam fasa komposit, bahan pada umumnya bersifat lebih *ductile* tetapi memiliki kekuatan dan rigiditas yang lebih rendah (Shabrina,2016).

Berikut fungsi dari matriks :

- 1) Melindungi dan memisahkan serat.
- 2) Membentuk dan ikatan koheren antar matrik/serat.
- 3) Membuat komposit tetap stabil setelah proses pembuatan.

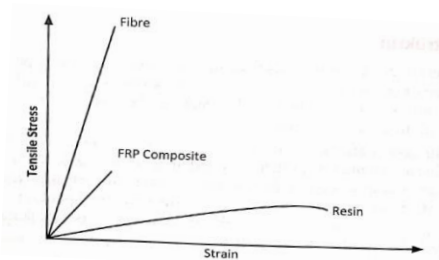
Ilustrasi pembentuk komposit seperti gambar 1 dengan resin sebagai reinforcement:



Gambar 13. Komposisi Komposit  
(K.Van.Rijswijk Et.Al,2001)

Penguat pada komposit tidak dapat bekerja pada temperatur yang tinggi karena akan bersifat tidak elastis, dan mempunyai kekuatan tarik yang kurang baik, sedangkan matriks atau pengikat memiliki sifat mengikat, ulet, lunak dan bekerja dengan baik bila mencapai titik bekunya.

Misal komposit yang dibentuk dari resin sebagai pengikat (matriks) dan fiber sebagai penguat, maka plot hubungan keduanya dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Grafik Hubungan Strain-Tensile Stress  
(Dr. Kadek,2017)

### 3. Faktor yang mempengaruhi karakteristik komposit

- a) Material penyusun komposit.
- b) Bentuk dan cara penyusunan komposit..

- c) Interaksi antar penyusun, apabila terdapat reaksi antar penyusun akan menambah daya ikat komposit (Nayiroh, 2013).

#### 4. Klasifikasi komposit

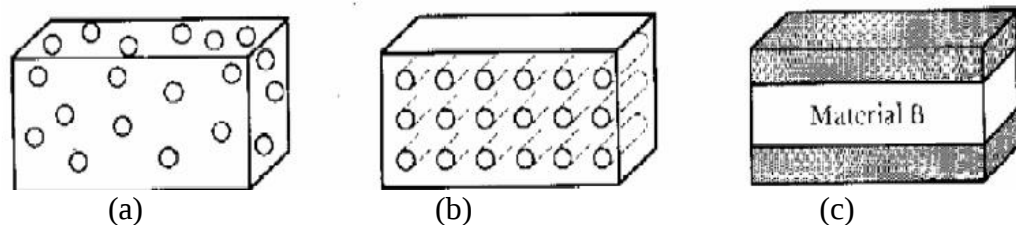
Klasifikasi komposit Berdasarkan matrik,

- a) Komposit Matriks Polimer (Polymer Matrix Composites – PMC), komposit ini cocok untuk produksi massal karena memiliki siklus fabrikasi yang singkat serta biaya yang lebih rendah. Akan tetapi tetap memiliki ketangguhan yang baik, tahan simpan, lebih ringan, *specific stiffness* tinggi, *specific strength* tinggi dan *anisotropy*. Matriks PMC diaplikasikan pada alat-alat rumah tangga, panel pintu kendaraan, peralatan elektronika, kotak air radiator, rotor helikopter, komponen ruang angkasa dan rantai pesawat terbang.
- b) Komposit Matriks Logam (Metal Matrix Composites – MMC), adalah salah satu jenis komposit yang memiliki pengikat atau matriks logam. Material MMC mulai dikembangkan sejak tahun 1996. Pada mulanya yang diteliti adalah continuous filamen MMC yang digunakan dalam aplikasi aerospace. Aplikasi MMC yaitu sebagai komponen automotif, peralatan militer, aircraft, peralatan elektronik.
- c) Komposit Matriks Keramik (Ceramic Matrix Composites – CMC), CMC merupakan material 2 fasa dengan 1 fasa berfungsi sebagai penguat (*reinforcement*) dan 1 fasa sebagai pengikat (matriks), dimana matriksnya terbuat dari keramik. Reinforcement yang umum digunakan pada CMC adalah oksida, karbid, dan nitrid. Contoh matrik CMC adalah gelas anorganik, alumina, keramik gelas, dan *silicon nitride*. Matrik CMC lebih stabil daripada logam dan tahan pada temperatur tinggi, tetapi tidak cocok untuk produksi

masal karena biaya mahal dan tidak berlaku untuk semua aplikasi. Aplikasi CMC, yaitu *chemical processing*, *wate inneration*, *power generation*, alas cermin laser, bantalan, perapat dan lem.

Klasifikasi komposit berdasarkan jenis penguatnya dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a) *Particulate composite*, penguatnya berbentuk partikel
- b) *Fibre composite*, penguatnya berbentuk serat
- c) *Structural composite*, cara penggabungan material komposit



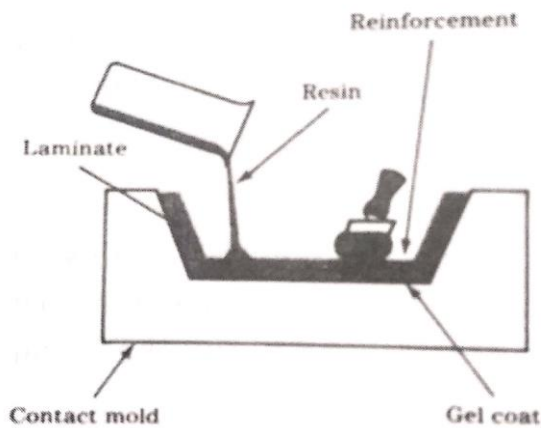
Gambar 15. Komposit berdasarkan penguatnya berturut-turut (a)Partikel, (b) Fiber, (c)Struktur

(Nayiroh, 2013)

## H. Metode Hand Lay Up

Metode *Hand Lay-up* merupakan bagian dari *Open-Mould Processes* (Proses Pencetakan Terbuka). Proses pembuatan ini merupakan yang paling sederhana karena pelapisan serat dilakukan secara manual dan hanya menuntut satu sisi saja yang memiliki permukaan halus (Gibson, 1994).

Metode *Hand Lay-Up* memiliki keuntungan biaya lebih murah karena peralatan yang digunakan sedikit, kemudian kemudahan dalam bentuk dan desain produk. Kelemahannya ketebalan komposit yang dihasilkan tidak konsisten, distribusi pengikat tidak merata, dan lebih boros bensin (Triyono, 2019).



Gambar 16. Pembuatan Komposit Metode Hand-Lay Up  
(Dantes, 2017)

## I. Serat Ampas Tebu

Serat adalah sebuah zat yang tipis, panjang dan mudah dibengkokkan. Dengan perbandingan lebar serat perseratus kali panjang seratnya. Tersusun dari molekul-molekul seperti *selulose*, *protein*, *thermoplastics* atau mineral.

Serat ampas tebu tergolong pada serat alam dimana molekulnya terbentuk secara alami yaitu berasal dari serat batang pada tumbuhan. Tebu sendiri merupakan tanaman tergolong jenis rumput-rumputan, terdapat dalam kelas *Monocotyledonae*, ordo *Glumiflorae*, keluarga *Gramineae* dengan nama ilmiah *Saccharum officinarum* L. Di dalam jurnal Sastrowijoyo (1998) dituliskan terdapat lima spesies tebu, yaitu *Saccharum spontaneum* (glagah), *Saccharum sinensis* (tebu Cina), *Saccharum barberi* (tebu India), *Saccharum robustum* (tebu Irian) dan *Saccharum officinarum* (tebu kunyah).

Menurut Andaka (2011) Tebu menjadi bahan baku utama dalam pembuatan gula. Tebu hanya dapat tumbuh di daerah beriklim tropis sesuai dengan iklim Indonesia. Oleh karena itu tebu bukan hal yang asing lagi bagi kita,

bahkan banyak dibudidayakan terutama di Pulau Jawa dan Sumatera. Lama waktu tanaman tebu hingga bisa dipanen kurang lebih 1 tahun.

Ditinjau dari morfologi, tebu memiliki batang berbentuk konis atau kerucut berpancung, dengan penampang batang melintang agak pipih, permukaan batang tebu keras karena memiliki sel-sel kersik, warna batang hijau kekuningan dan berubah menjadi ungu gelap ketika sudah matang, kemudian terdapat lapisan lilin pada batang yang tidak terlalu tebal, susunan antar ruas berbuku, ruas buku 3-4 baris mata akar berbentuk ruas konis terbalik. Kemudian daun berwarna hijau kekuningan, dengan lebar 4-6 cm, memiliki tulang daun melengkung sampai  $\frac{1}{2}$  panjang daun. Tebu juga memiliki susunan serat yang rapat sehingga memperkuat tanaman. Serat tersebut didapat dari ampas tebu yang sudah diekstraksi cairannya sehingga ampas tebu kering dan dihasilkan serat yang dapat dilihat jelas.

Ampas tebu atau disebut juga bagas, memiliki sifat fisik yaitu berwarna kekuning – kuningan, memiliki serat, lunak dan relatif membutuhkan tempat yang luas untuk penyimpanan dalam jumlah berat tertentu. Ampas tebu terdiri atas komponen-komponen penyusunnya antara lain air sekitar 44,5%, serat yang berupa zat padat 52,0% yang didalamnya terkandung selulosa, poliosa seperti hemiselulosa, lignoselulosa dan lignin, Kemudian brix atau jumlah zat yang dapat larut termasuk gula sebesar 3,5%. Susunan hemiselulosa, lignoselulosa dan lignin dalam ampas tebu hampir sama dengan susunan yang ada dalam tanaman monokotil berkayu lunak (Apriliani, 2010).

Keberadaan tebu yang cukup mudah ditemukan di Indonesia, salah satunya dikarenakan masih banyak industri yang memanfaatkan tebu sebagai bahan utama produksinya. Dari pabrik dihasilkan ampas tebu sekitar 35% – 40% dari berat tebu

yang digiling (Penebar Swadaya, 1992). Menurut Mui (1996) ampas tebu dari produksi gula jumlahnya 30% dari total tebu yang diolah, Kemudian menurut Gandana (1982) persentasi yang diperoleh hampir sama yaitu terdapat 31,34% ampas tebu yang dihasilkan dari produksi gula dari tebu yang digiling.

Hasil limbah ampas tebu dari industri gula atau pembuatan minuman dari air tebu belum termanfaatkan secara optimal sehingga membawa masalah bagi industri gula maupun lingkungan karena dihasilkan setiap waktu dan jumlahnya terus meningkat sementara ampas tebu tersebut hanya untuk dibuang atau sebagai limbah industri (Santosa dkk., 2003).

Dalam industri pengolah tebu menjadi gula, dihasilkan ampas tebu yang mencapai 90 % dari setiap pengolahan. Selama ini sudah dilakukan pemanfaatan ampas tebu sebagai bahan baku pembuatan *particle board*, pupuk organik dan pakan ternak akan tetapi bersifat terbatas dan memiliki nilai ekonomi rendah. Pemanfaatan serat ampas tebu sebagai serat penguat material komposit akan mempunyai arti sangat penting dan menjadi solusi bagi pemanfaatan limbah industri khususnya industri pembuatan gula di Indonesia sehingga dari segi ekonomi dan pemanfaatan hasil olahannya dapat teroptimalkan (Yudo dkk, 2008).

Ada berbagai teknik *pretreatment* yang tersedia untuk menyetel serat sesuai dengan kebutuhan penelitian. Contohnya termasuk pengobatan merserisasi atau basa, kopolimerisasi cangkok, dan pengobatan plasma. Diantaranya, perlakuan alkali atau merserisasi menjadi tujuan penelitian ini, karena proses ini mengurangi diameter serat. Ini adalah metode umum untuk menghasilkan serat berkualitas tinggi. Merserisasi meningkatkan kekasaran permukaan serat dengan menghilangkan beberapa zat penting seperti lignin, pektin, dan hemiselulosa dari

serat. Meskipun penghilangan zat ini menurunkan kinerja penyerapan akustik material (Mamtaz, 2016).

## **J. Plastik Polypropylene (PP)**

Plastik dibagi menjadi dua, yaitu :

1. *Thermoplastic*, adalah plastik yang memiliki sifat (reversible) dapat kembali ke bentuk semula, dapat dilelehkan berulang kali (recycle) dengan bantuan panas dan akan mengeras bila didinginkan, Dapat melunak bila terkena panas dan berifat keras ketika didinginkan di suhu ruangan. Contoh plastik *thermoplastic* antara lain : *polyester*, *polypropylene* (PP), *polieter sulfon* (PS), *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS), *nylon*, *Polyetilena tereftalat* (PET), *Stirena Akrilonitril* (SAN), *Polybutilen Tereftalat* (PBT), *Polyacetal* (POM), *Poly Carbonat* (PC), *Politetra Fluoro Etilena* (PTFE), dan *Polieter eterketon* (PEEK).
2. *Thermoset*, memiliki sifat kebalikan dari *thermoplastic* yaitu (irreversibel) tidak dapat kembali ke bentuk semula, bila bahan telah keras maka tidak dapat dilunakkan kembali. Pemanasan kembali hanya akan membentuk arang dan terurai. Pengaplikasiannya sering digunakan sebagai tutup ketel dan jenis-jenis melamin. Produksi thermoset tidak begitu diminati karena sulit pengolahannya dan memiliki volume sekitar 10% dari volume termoplastik. Contoh dari thermoset yaitu *Epoksida*, *Bismaleimida* (BMI), *Poli-imida* (PI), *Poly Urethene* (PU), *Urea Formaldehyde* (UF), *Melamine Formaldehyde* (MF), epoksi, dll.

Plastik PP pertama kali dirangkai pada tahun 1951 oleh Paul Hogan dan Robert Banks setelah itu disempurnakan oleh Natta dan Rehn, ilmuwan asal Italia

tahun 1954. Kemudian plastik PP pada tahun 1957 diproduksi untuk komersial di seluruh Eropa. Polypropylene tergolong dalam plastik jenis *thermoplast*, dengan proses polimerisasi gas propilena menghasilkan polimer kristalin. Berasal dari Polimer propilen yang termasuk jenis plastikmolefin, Polipropilen sering juga disebut Bexophane, Dynafilm, Luparen, Escon, Olefane dan Profax. Pada umumnya terdapat tiga tipe polipropilen yaitu: homopolimer, kopolimer acak dan impak kopolimer atau kopolimer blok (Renilaili,2019).

Menurut data yang ditampilkan oleh website *creative mechanism*, plastik jenis PP digunakan sebanyak 30% dalam industri kemasan, 13% pada manufaktur peralatan, 13% pada listrik, 10% untuk peranti rumah tangga, 10% pada industri otomotif, 5% pasar, dan 5% bahan bangunan (Salina dkk., 2017).

*Spesific gravity* atau berat jenis dari propilena termasuk rendah jika dibandingkan dengan jenis plastik lain (Mujiarto, 2005). Dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan *Specific Gravity* Dari Berbagai Material Plastik (Mujiarto, 2005)

| Resin           | Spesific Gravity |
|-----------------|------------------|
| PP              | 0,85 – 0,90      |
| LDPE            | 0,91 – 0,93      |
| HDPE            | 0,93 – 0,96      |
| Polistirena     | 1,05 – 1,08      |
| ABS             | 0,99 – 1,10      |
| PVC             | 1,15 – 1,65      |
| Asetil Selulosa | 1,23 – 1,34      |
| Nylon           | 1,09 – 1,14      |
| Poli karbonat   | 1,20             |
| Poli Asetat     | 1,38             |

Walaupun memiliki berat jenis yang rendah dibanding plastik lainnya tetapi plastik PP membutuhkan suhu yang tinggi untuk meleleh yaitu titik lelehnya

antara 190°C. Polypropylene memiliki ketahanan pukul (*impact strength*) yang rendah tetapi ketahanan terhadap bahan kimia (*Chemical Resistance*) yang tinggi (Mujiarto, 2005).

#### Keuntungan dan kekurangan Plastik Polypropylene (PP)

##### a. Keuntungan

- 1) Mudah didapat, diolah dan relatif murah.
- 2) Pada umumnya memiliki permukaan licin.
- 3) Kekuatan lentur tinggi.
- 4) Tidak mudah lapuk karena air serta berbagai macam asam dan basa .
- 5) Memiliki kekuatan benturan yang baik.
- 6) Isolator listrik.

##### b. Kekurangan

- 1) Tidak tahan terhadap suhu tinggi.
- 2) Mudah rusak bila terkena degradasi UV.
- 3) Tidak tahan terhadap pelarut terklorinasi dan aromatik .
- 4) Sifat ikatan tidak terlalu baik
- 5) Mudah terbakar
- 6) Rentan terhadap oksidasi (Salina dkk,2017).

#### **K. Sludge Kertas**

*Sludge* kertas adalah limbah sisa dari produksi industri pulp dan kertas yang biasanya berbentuk padat, berwarna hitam atau abu-abu, dengan komposisi sebesar 90% padatan dan 10% air yang merupakan endapan dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). *Sludge* yang diperoleh dari IPAL ini mengandung banyak bahan organik serat dan bahan anorganik lain. Karakteristik

air limbah dan sistem pengolahan secara kimia, fisika dan biologi sangat mempengaruhi jumlah dan karakteristik lumpur IPAL (Khusna,2012).

Industri yang menyumbang *sludge* terbesar adalah industri pulp dan kertas. Untuk industri pulp dan kertas terpadu dihasilkan 1-3% limbah *sludge* dari berat produk, sedangkan untuk industri kertas yang menggunakan virgin pulp limbah *sludge* yang dihasilkan sekitar 0,6-0,7% dari berat produk dan Industri kertas bekas sekitar 0.8-1.2% dari berat produk (Purwati dkk., 2006). Dalam data angka industri kertas dan pulp di dunia menghasilkan 178 juta ton pulp, 278 juta ton kertas dan karton, dan menghabiskan 670 juta ton kayu. Kayu log yang di pasok mengalami kenaikan kira-kira seluas 1 hingga 2 juta hektar setiap tahun, Mencapai pertumbuhan 2–3,5% per tahun untuk 10 tahun kedepan. Jika diakumulasikan jumlah limbah pulp dan jumlah limbah kertas yang dihasilkan berturut-turut mencapai 1,78–5,34 juta ton dan 1,67–1,94 juta ton setiap tahunnya (Hakim dkk, 2011).

Limbah *sludge* digolongkan menjadi limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) dan limbah non-B3. Di Indonesia untuk peraturan pemanfaatan limbah industri berpedoman pada Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 02 Tahun 2008 tentang “Pemanfaatan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun “ Pasal 2, 3 dan 11 pada peraturan tersebut menjelaskan, Pemanfaatan limbah B3 dapat dilakukan dengan cara *reuse*, *recycle* dan *recovery* dengan mengutamakan perlindungan terhadap kesehatan dan keselamatan manusia serta perlindungan kelestarian lingkungan hidup dengan menerapkan prinsip kehati-hatian (Hardiani ,2009).

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **A. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengujian diatas dapat disimpulkan:

1. Hubungan koefisien absorpsi bunyi terhadap tebal panel, yaitu semakin tebal panel maka nilai koefisien absorpsi yang dihasilkan makin tinggi. Dikarenakan makin banyak komposisi serat ampas tebu pada sampel menyebabkan bahan menjadi semakin berpori sehingga gelombang bunyi terserap. Sementara hubungan koefisien refleksi bunyi dengan ketebalan panel berbanding terbalik, dikarenakan semakin tebal sampel maka gelombang bunyi yang dipantulkan makin sedikit. Kemudian juga dipengaruhi oleh tekstur permukaan sampel yang tidak licin dan halus.
2. Hubungan koefisien absorpsi bunyi dengan frekuensi komposit tidak konstan pada tiap frekuensi, yang mana terjadi kenaikan dan penurunan di frekuensi tertentu. Hal ini disebabkan karena masing-masing benda memiliki frekuensi alamiah tersendiri, sehingga bisa mengalami interferensi di frekuensi tertentu.
3. Panel komposit serat ampas tebu dengan matriks limbah plastik *polypropylene* dan pengisi *sludge* kertas ini mulai dari ketebalan 12 mm, 15 mm dan 18 mm memiliki sifat akustik yang memenuhi standar ISO 11654 yaitu dengan nilai koefisien absorpsi melebihi 0,15.

## **B. Saran**

Pengujian menggunakan metoda tabung impedansi dengan satu mikrofon hanya dapat mengukur koefisien absorpsi bunyi dan koefisien refleksi bunyi, sementara untuk transmisi bunyi tidak dapat diukur. Diharapkan untuk kelengkapan data kedepannya dapat dilakukan pengujian akustik menggunakan metoda tabung impedansi dengan dua mikrofon. Atau bisa juga mencobakan pengujian akustik dengan metoda lain seperti ruang dengung. Agar hasil pengukuran yang sudah didapat bisa didukung menggunakan metode lain.

## DAFTAR PUSTAKA

- Andaka, G. 2011. Hidrolisis Ampas Tebu Menjadi Furfural Dengan Katalisator Asam Sulfat. *Jurnal Teknologi*, 4(2), 180-188.
- Apriliani, A. 2010. *Pemanfaatan Arang Ampas Tebu Sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr, Cu, Dan Pb Dalam Air Limbah*, Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah.
- ASTMC384-04. (2016). Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials by Impedance Tube Methode. USA. ASTM Internasional.
- Azwar., dan Saifuddin.(2007). *Metode Penelitian*, Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Sumatera Barat. 2020, “Produksi Tanaman Perkebunan Rakyat (Ton), 2020”, *sumbar.bps.go.id*, 2021.
- Bahri, S., Manik, T.N., dan Suryajaya. 2016, Pengukuran Sifat Akustik Material Dengan Metode Tabung Impedansi Berbasis Platform Arduino, *Jurnal Fisika FLUX*, 13(2), 148 - 154.
- Baranek, L. 1993. *Acoustis Measurement*, Newyork: Jhon Wiley & Sons Inc.
- Beets, P., Nieuwenhuis, O.G., Noorden, E.V., Apeldoorn, A.P., and Vriesman, J. C. (1983). *Bouwfysica, 4th Edition*(Terjemahan E. Diratmadja,.). Jakarta Pusat : Erlangga. Buku Asli Diterbitkan 1982.
- Bruël dan Kjær. 1955, *Standing Wave Apparatus Type 4002*, Copenhagen.
- Chandra, R., 2018, “Manisnya Gula Tebu, Penawar Nestapa Ribuan Jiwa”, *JawaPos.com*, 26 Desember 2018.
- Daniel, A.R. 2004, Absorption Coefficients and Impedance, Science and Mathematics Department, Kettering University, Flint, MI, 48504.
- Dantes, K. R. 2017. *Composites Manufacturing and Testing*. Depok: PT Raja Grafindo Persada.
- Doelle, E.L. 1986. *Akustik Lingkungan*, Jakarta: Erlangga.
- Fajriyanto dan Feris Firdaus.(2008) Panel Dinding Bangunan Ramah Lingkungan Dari Komposit Limbah Pabrik Kertas (Sludge), Sabut Kelapa Dan Sampah Plastik: Pengaruh Komposisi Bahan Dan Beban Pengempaan Terhadap

Kuat Lentur (Bending) Prosiding Seminar Nasional Teknoin Bidang Teknik Mesin ISBN: 978-979-3980-15-7

Fraenkel, Jack., R, Norman, E., and Wallen. (2012). *How to Design and Evaluate Research in Education 8th Edition*, Boston: McGraw-Hill Higher Education.

Gandana, S. G., 1982, “Pengawasan Giling Cara Hawaii pada Kondisi di Indonesia”, *Majalah Perusahaan Gula*, Th. XIV No. 2 Juni 1982.

Giancoli, Douglas C. 1998. *Fisika Jilid 1*. Jakarta: Erlangga

Gibson, R. F. 1994. *Principles Of Composite Material*. New York: McGraw-Hill Inc.

Hakim, L., Herawati, E., dan Wistara, I.N.J., 2011, Papan Serat Berkerapatan Sedang Berbahan Baku Sludge Terasetilasi Dari Industri Kertas. *Makara Teknologi*. 15(2), 123-130.

Hardiani, H., dan Sugesty, S. 2009, Pemanfaatan Limbah Sludge Industri Kertas Sigaret Untuk Bahan Baku Bata Beton. *BS*, 44(2) ,86-98.

Harland., and Darci J. 2011. *STEM; Student Research Handbook*. Virginia: NSTA Press.

Hassan, N.N.M, and Rus, A.Z.M, 2013, Influence of Thickness and Fabric for sound Absorption of Biopolymer Composite. *Applied Mechanics and Materials*, Vol 393, 102-107

Hayat, W., Syakbaniah, Yenni Darvina. 2013, Pengaruh Kerapatan Terhadap Koefisien Absorpsi Bunyi Papan Partikel Serat Daun Nenas (Ananas Comosus L Merr), *PILLAR OF PHYSICS*, 1, 44-51.

Hidayani, T., R,2018, “Analisis Sifat Fisika Dari Komposit Panel Dinding Dengan Matriks Limbah Plastik Propilena Dan Pengisi Sabut Kelapa-Sludge Kertas”, Prosiding Seminar Nasional Kulit, Karet dan Plastik ke-7, (29 agustus 2018, Yogyakarta), Politeknik ATI Padang, 2018, 118-126.

Ikhsan, K. 2016. “Karakteristik Koefisien Absorpsi Bunyi Dan Impedansi Akustik Dari Material Berongga Plafon Pvc Menggunakan Metode Tabung Impedansi”, *Tesis*, 56 Hal., Universitas Andalas, Padang, Indonesia, September 2016.

Indriani, Y. Hety dan Emi Sumiarsih. 1992. *Alpukat, Penanaman Jenis Komersial dan Aspek Pemasaran*. Jakarta: Swadaya

Kartikaratri, Y.M., Subagio, A., dan Widiyandari, H. 2012, Pembuatan Komposit Serat Serabut Kelapa dan Resin Fenol Formadehide sebagai material peredam akustik, *Berkala Fisika*, 15(3), 87-90.

Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405/Menkes/Sk/Xi/2002

Khuriati, A., Komaruddin, E., Nur, M. 2006, Disain Peredam Suara Berbahan Dasar Sabut Kelapa Dan Pengukuran Koefisien Penyerapan Bunyinya, *Berkala Fisika*, 9(1), 15-25.

Khusna, H. 2012. “ Analisis Kandungan Kimia Dan Pemanfaatan Sludge Industri Kertas Sebagai Bahan Pembuatan Batako”, *Skripsi*, 73 Hal., Universitas Negeri Semarang, Semarang, Indonesia, Desember 2012.

Kikuchia, T.B., Tania, Y., Takaic, Y., Gotoc, A., Hamada, H . 2014, Mechanical Properties Of Jute Composite By Spray Up Fabrication Method. *Energy Procedia*, 56, 289 – 297.

Lee, Y., and Changwhan Joo. 2003, Sound Absorption Properties of Recycled Polyester Fibrous Assembly Absorbers. *AUTEX Research Journal*, 3(2).

Li, J. 2007, A Study on the Relationship between the Thickness Of Nonwoven and Its Sound Absorption Capability, *Modern Applied Science*, Vol 1 No 4, 74-76.

Liana, M.P. 2015. ”Analisis Perbandingan Komposisi Material Akustik Serbuk Kulit Kerang Hijau (Pernaviridis) Serta Agentfoam Untuk Peningkatan Insulasi Dan Daya Absorpsi Bunyi”, *Skripsi*, 106 Hal., Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia, Juni 2015.

Lintong, F. (2009). Gangguan Pendengaran Akibat Bising. *Jurnal Biomedik*, 1(2), 81-86.  
Diakses dari <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/biomedik/article/viewFile/815/633>.

Mamtaz, H., Fouladi, M.H., Atabi., and Namasivayam, S.N., 2016, Acoustic Absorption of Natural Fiber Composites., *Hindawi Publishing Corporation Journal of Engineering*, 1- 11.

Mangunwijaya, Y.B. 1980. *Pasal-Pasal Penghantar Fisika Bangunan*, Jakarta: PT Gramedia.

Maryanti, B.A., Sonief, A., dan Wahyudi, S., 2011, Pengaruh Alkalisasi Komposit Serat Kelapa-Poliester Terhadap Kekuatan Tarik, *Jurnal Rekayasa Mesin*, 2(2), 123-129.

Maulia, I.G. 2020, “Konsep Dasar Gelombang Mekanik”, *Zenius.net*, 28 Desember 2020.

Mediastika, C.E. 2005. *Akustika Bangunan: Prinsip-prinsip dan Penerapannya di Indonesia*, Yogyakarta: Erlangga.

- Mikell PG., 1996, Composite Material Fundamental of Modern Manufacturing Material, Processes, And System, Prentice Hall.
- Mui, N.T. 1996. Effect of Management Practices on Yield and Quality of Sugar Cane and on Soil Fertility, *Goat and Rabbit Research Centre*.
- Mujiarto, I. 2005. Sifat Dan Karakteristik Material Plastik Dan Bahan Aditif, *Traksi*, 3(2), 65-73.
- Nayiroh, N. 2013. *Teknologi Material Komposit*, Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Naeini, R. L., Tamrin, S. B. M., Hashim, Z., & Mazraeh, A. (2014). Environmental Noise and the Association with Occupational Stress among Palm Oil Mill Workers. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, Vol. 5, No.12, 54–64. <http://doi.org/10.14299/ijser.2014.12.004>.
- Pain, H.J, 2005, The Physics of Vibrations and Waves, England: John wiley & Sons
- Penebar Swadaya. 1992. *Pembudidayaan Tebu di Lahan Sawah dan Tegalan*, Jakarta: Penerbit Penebar Swadaya.
- Peng, L., Song, B., Wang, J., and Wang, D, 2015, Mechanic and Acoustic Properties of the Sound-Absorbing Material Made from Natural Fiber and Polyester, *Hindawi Publishing Corporation*,
- Prasetio, L., Hien, T.K., Setiawan, S. 1992, Mengerti Fisika: Gelombang, Yogyakarta: ANDI OFFSET.
- Purnawan, F.D., Imanto, M., Anggraini, D.I. 2019. Dampak Kebisingan Pada Pekerja Pabrik Perkebunan, *Majority*, 8 (1), 66-70.
- Purwati, S., Soetopo, R.S., dan Setiawan, Y. 2006, Potensi dan Alternatif Pemanfaatan Limbah Padat Industri Pulp dan Kertas, *Berita Selulosa*, 41(2), 67-69.
- Puspitarini, Y., Musthofa, F., dan Yulianto, A.S. 2014, Koefisien Serap Bunyi Ampas Tebu Sebagai Bahan Peredam Suara, *Jurnal Fisika Unnes*, 4(2), 96–100.
- Rahmasita, M.E ., Farid, M ., dan Ardhyanta, H., 2017, Analisa Morfologi Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Bahan Penguat Komposit Absorpsi Suara, *Jurnal Teknik Its*, 6(2).
- Rahmawati, V., Fitrianiingsih, Y., Pramadita, S. 2017. Pengaruh kebisingan pada komunikasi pekerja PT. X, kecamatan manis mata, kabupaten ketapang,

- Kalimantan timur. *Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura*. 2(1):255-341.
- Renilaili. 2019. Metode Pyrolisis Upaya Untuk Mengkonversi Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Cair Alternatif, *Integrasi Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 4(1), 9-16.
- Ridhola, F., dan Elvaswer. 2015, Pengukuran Koefisien Absorpsi Material Akustik dari Serat Alam Ampas Tebu Sebagai Pengendali Kebisingan, *Jurnal Ilmu Fisika (JIF)*, 7(1), 1-6.
- Risandi, A., dan Elvaswer. 2017, Koefisien Absorpsi Bunyi dan Impedansi Akustik dari Panel Serat Kulit Jeruk dengan Menggunakan Metode Tabung, *Jurnal Fisika UNAND*, 6(4), 331-335.
- Rudi, 2019, “Produksi Gula Merah di Nagari Lasi”, *tvrisumbar.co.id*, 23 Oktober 2019.
- S.Fatima, A.R. Mohanty. 2011. *Acoustical And Fire –Reterdant Properties Of Jute Composite Materials*, Kharagpur: Departement of Mechanical Engineering, Indian institute of technology
- Salina, I., Cristina, J., dan Ginting, Y., 2017, Pengolahan Sampah Plastik Jenis Pp (Polypropylene) Sebagai Material Pada Tas Laundry , *e-Proceeding of Art & Design*, 4(3), 873-887.
- Santosa, S.J., Jumina dan Sri, S. 2003. *Sintesis Membran Bio Urai Selulosa Asetat dan Absorben Super Karboksimetil selulosa dari Selulosa Ampas Tebu Limbah Pabrik Gula*, Jogjakarta : FMIPA UGM.
- Sastrowijoyo, 1998, Klasifikasi Tebu, (<http://arluiki.wordpress.com/2008/10/14/tebu-sugarcane/>, diakses tanggal 8 Desember 2009).
- Shabrina, N. 2016. *Effects Of Fiber Length On Sound Absorbing Coefficient And The Morfological Structure Of Rami And Betung Bamboo Fibers With Gypsum Matrix Composite For Automotive Application*, Surabaya: Department of Material and Metallurgical Engineering Faculty of Industrial Technology Sepuluh Nopember Institute of Technology.
- Sharma, A., Maheshwari, S., and Khanna,P. 2021. Surface Composite Fabrication by Friction Stir Processing: A Review, *EDP Sciences*, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130901150>
- Shinde, S., Momin, T., Karkaria, V., and Karandikar, P. 2021. Polypropylene As An Innovative Substitute For Jar Material Of Horizontal Axis, Multi-Jar Ball Milling Machine To Grind Electrode Materials For Energy Storage. *EDP Science, Devices*, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130>.
- STD-ISO-11654. (1997). Acoustics – Sound absorbers for use in buildings – Rating of sound absorption. English: The International Organization For Standardization.

- Su, W., Qian, X., Li, X, and Liu,S. 2011. Influence of Thickness and Density of Nonwoven Sound-absorbing Material on the Sound-absorption Capability, *Advanced Materials Research*, Vols 197-198, 440-443.
- Sumardiyono, Wijayanti, R., Hartono, Sutomo, A.H. 2019. Kebisingan Lingkungan Kerja: Kerentanan Kesehatan Pada Pekerja Industri Tekstil, *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 11(4), 269-275. DOI: 10.20473/jkl.v11i4.2019.267-275.
- Surdijani, Dian, dkk. 2006. *Smart Ilmu Pengetahuan Alam*. Bandung: Grafindo Media Pratama.
- Templeton, D., and Saunders, D. 1987. *Accoustic Design*. Architectural Press: University of California.
- Tipler, Paul A.1998. *Fisika Untuk Sains dan Teknologi Edisi Ketiga Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Triyono. 2019. “Perancangan dan Pembuatan Cetakan Komposit Untuk Metode Vacuum Infusion Menggunakan Penekan Elastomer”, *Skripsi*, 42 Hal, FTI UIN, Yogyakarta, Indonesia, Januari 2019.
- Ulfah,F , Syakbaniah ,dan Darvina., Y. 2015. Pengaruh Variasi Komposisi Serat Tandan Kosong Sawit (Tks) Dan Serbuk Kayu Terhadap Sifat Fisis Dan Sifat Mekanis Papan Partikel. *PILLAR OF PHYSICS*, 5, 113-120.
- Widianto, E., Vinolia., dan Sahputra, Y.E., 2021, “Masyarakat Jai Penjaga Hutan, Hindari Kerusakan dan Bencana”, *mongabay.co.id*, 21 Maret 2021.
- Wirajaya, A. 2007. *Karakteristik Komposit Sandwich Serat Alami Sebagai Absorber Suara*. Tesis Program Magister, Sekolah Pasca Sarjana, Bandung: ITB.
- Yudo, H., dan Jatmiko, S. 2008, Analisa Teknis Kekuatan Mekanis Material Komposit Berpenguat Serat Ampas Tebu (Baggase) Ditinjau Dari Kekuatan Tarik Dan Impak , *KAPAL*, 5(2), 95-101.
- Yusuf, A., Maulanie, E., Singgih, dan Lukman. 2011. Pemanfaatan Limbah Sludge Kertas PT.Adiprima Suraprinta dalam Pembuatan Batako, *Jurnal APLIKASI*, 9(1), 1-8.
- Zakky, 2021, “11+ Ciri-Ciri Gelombang Bunyi Beserta Karakteristik dan Penjelasanannya”, *Seluncur.id*, 2021.