

**PERANCANGAN KOMPOSIT BERBAHAN DASAR
AMPAS TEBU DAN ABU SEKAM PADI SEBAGAI
PANEL AKUSTIK**



**ADHITYA PUTRA PRASETYO
I0317003**

**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2021**

ABSTRACT

Adhitya Putra Prasetyo, NIM: I0317003. DESIGN OF COMPOSITE BASED ON BAGGASE AND RICE HUSK ASH AS ACOUSTIC PANEL. Thesis. Surakarta: Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Sebelas Maret University, January 2022

The rapid development of the recording industry contributed a lot to the development. A good recording room must be designed with a spatial system with the right level of damping / insulation conditions. In general, recording studios use acoustic panels to muffle sound. The raw materials for acoustic panels generally come from synthetic materials such as fiberglass, vinyl acetate, butyl rubber, urethane foam, and others. However, the use of synthetic materials has a negative impact on the environment. The solution to this problem is to use natural fibers to be used as sound-dampening composites. Bagasse is a natural fiber that has the potential to be used as a sound absorption composite due to the contains of carbon which can be used as a sound insulator. The addition of rice husk ash to the composite will cause an increase in the number and size of the pores that affect the increase of sound absorption. This study uses the treatment factors for the composition of bagasse with rice husk ash, compaction, and *cavity* were used. The thermal sound absorption test was carried out according to the ASTM E1050-98 standard using the two-microphone impedance tube method. The bending test was carried out according to the ASTM D-1037 standard. This study uses the full factorial method, to determine the significance value of each factor using ANOVA. The results of the composite study of bagasse and rice husk ash have a *decibel drop* value of 4.305 dB.

Keyword: Acoustic panels, sound absorption composites, bagasse, rice husk ash, ANOVA, *decibel drop*

x + 79 pages; 30 tables ; 20 images; 10 appendix
References: 42 (1965-2020)

ABSTRAK

Adhitya Putra Prasetyo, NIM: I0317003. PERANCANGAN KOMPOSIT BERBAHAN DASAR AMPAS TEBU DAN ABU SEKAM PADI SEBAGAI PANEL AKUSTIK. Skripsi. Surakarta: Program Studi Sarjana Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Januari 2022

Pesatnya perkembangan industri rekaman banyak memberi andil dalam pembangunan. Ruang rekaman yang baik harus dirancang dengan sistem tata ruang dengan kondisi tingkat peredaman/insulasi yang tepat. Secara umum studio rekaman menggunakan panel akustik untuk meredam suara. Bahan baku panel akustik yang terdapat dipasaran umumnya berasal dari bahan sintetik seperti fiberglass, vinyl acetate, butyl rubber, foam urethane, dan lain-lain. Namun, penggunaan bahan sintetik memiliki dampak negatif terhadap lingkungan. Solusi dari permasalahan ini adalah dengan memanfaatkan serat alam untuk dijadikan komposit peredam suara. Ampas tebu merupakan serat alam yang memiliki potensi untuk dijadikan komposit serap bunyi karena mengandung karbon yang dapat digunakan sebagai isolator suara. Penambahan abu sekam padi pada komposit akan menyebabkan peningkatan jumlah dan ukuran pori-pori yang mempengaruhi peningkatan penyerapan suara. Penelitian ini menggunakan faktor perlakuan komposisi ampas tebu dengan abu sekam padi, kompaksi, dan *cavity*. Pengujian serap bunyi dilakukan sesuai standar ASTM E1050-98 dengan menggunakan metode tabung impedansi dua mikropon. Pengujian *bending* dilakukan sesuai standar ASTM D-1037. Penelitian ini menggunakan metode *full factorial*, untuk menentukan nilai signifikansi masing-masing faktor menggunakan ANOVA. Hasil penelitian komposit ampas tebu dan abu sekam padi memiliki nilai *decibel drop* sebesar 4.305 dB.

Kata Kunci: Panel akustik, komposit serap bunyi, ampas tebu, abu sekam padi, ANOVA, *decibel drop*

x + 79 halaman; 30 tabel ; 20 gambar; 10 lampiran

Daftar Pustaka: 42 (1965-2020)

DAFTAR ISI

ABSTRACT	i
ABSTRAK.....	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
1.6 Asumsi Masalah	5
1.7 Sistematika Penulisan.....	6
BAB II LANDASAN TEORI.....	1
2.1 Komposit	1
2.1.1 Jenis-Jenis Komposit	2
2.1.2 Bahan Penyusun Komposit.....	4
2.2 Material Penyusun Komposit	5
2.2.1 Ampas Tebu.....	5
2.2.2 Abu Sekam Padi	6
2.2.3 Ketan Putih	7
2.3 Bunyi	8

2.3.1	Sifat-Sifat Bunyi	8
2.3.2	Material Penyerap Bunyi	8
2.3.3	Koefisien Absorpsi Bunyi	9
2.3.4	Pengukuran Koefisien Absorpsi Bunyi	9
2.4	Metode Tabung Impedansi Dua Mikrofon (<i>Two Microphones Impedance Tube Method</i>).....	10
2.5	Pengujian <i>Bending</i>	12
2.6	Konsep Perancangan Eksperimen	13
2.6.1	Definisi	13
2.6.2	Tujuan Desain Eksperimen.....	15
2.6.3	Prinsip Dasar Dalam Perancangan.....	16
2.6.4	Eksperimen Faktorial (<i>Faktorial Experiment</i>).....	17
2.6.5	Pengujian Asumsi-Asumsi Anova.....	19
2.6.6	Uji Anova (Analysis of Variance)	21
2.6.7	Uji Pembandingan Ganda.....	21
BAB III METODE PENELITIAN		1
3.1	Tahap Identifikasi Masalah	3
3.2	Tahap Deskripsi Masalah	4
3.3	Tahap Pelaksanaan Penelitian	5
3.3.1	Persiapan Alat dan Bahan.....	5
3.3.2	Pembuatan Spesimen	7
3.3.3	Pengujian Spesimen.....	8
3.4	Tahap Pengolahan Data.....	9
3.5	Pemilihan Desain Panel Akustik Komposit Berdasarkan Nilai <i>Decibel drop</i> Paling Maksimal	10

3.5.1 Uji Bending.....	10
3.5.2 Pembuatan Prototype	11
3.6 Tahap Analisis dan Interpretasi Hasil.....	12
3.7 Kesimpulan dan Saran.....	12
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	1
4.1 PENGUMPULAN DATA.....	1
4.1.1 Spesimen Uji Serap Bunyi.....	1
4.1.2 Data Hasil Eksperimen	2
4.2 PENGOLAHAN DATA.....	2
4.2.1 <i>Noise Reduction Coefficient</i> (NRC)	2
4.2.2 <i>Decibel drop</i>	Error! Bookmark not defined.
4.2.3 Uji Normalitas	4
4.2.4 Uji Homogenitas.....	7
4.2.3 Uji ANOVA <i>Decibel drop</i>	10
4.2.4 Pengujian Pembandingan Ganda.....	15
4.3 UJI <i>BENDING</i>	25
4.4 <i>PROTOTYPE</i>	26
4.5 PERCOBAAN PANEL AKUSTIK	26
4.5.1 Peralatan dan Bahan Yang Digunakan	27
4.5.2 Langkah Percobaan.....	28
4.5.3 Data Percobaan	29
BAB V ANALISIS HASIL PENELITIAN.....	1
5.1 Hasil Pengujian Serap Bising	1

5.1.1 Analisis Faktor Komposisi Ampas Tebu dan Abu Sekam Padi terhadap Nilai <i>Decibel drop</i>	1
5.1.2 Analisis Faktor Kompaksi Terhadap Nilai <i>Decibel drop</i>	2
5.1.3 Analisis Faktor <i>Cavity</i> Terhadap Nilai <i>Decibel drop</i>	3
5.1.4 Analisis interaksi Faktor Komposisi dan Faktor Kompaksi	4
5.1.5 Analisis interaksi Faktor Komposisi dan Faktor <i>Cavity</i>	4
5.1.6 Analisis interaksi Faktor Kompaksi dan Faktor <i>Cavity</i>	5
5.1.7 Analisis interaksi Faktor Komposisi, Kompaksi dan Faktor <i>Cavity</i>	6
5.2 Hasil Pengujian <i>Bending</i>	6
5.3 Hasil Pengujian Prototype Panel Akustik Komposit Ampas tebu dan Abu Sekam Padi	7
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	1
6.1 Kesimpulan	1
6.2 Saran	1
DAFTAR PUSTAKA	1
LAMPIRAN	1

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Struktur Ampas Tebu	II-6
Tabel 2.2 Komposisi Abu Sekam Padi.....	II-7
Tabel 2.3 Skema umum data sampel eskperimen faktorial emnggunakan 3 faktor dan dengan n observasi tiap sel.....	II-18
Tabel 2.4 Anova eksperimen faktorial 3 faktor desain acak sempurna.....	II-19
Tabel 4.1 Hasil perhitungan <i>Noise Reduction Coefficient</i> (NRC).....	IV-3
Tabel 4.2 Hasil perhitungan <i>decibel drop</i>	IV-4
Tabel 4.3 Hasil uji normalitas data nilai koefisien serap bunyi	IV-7
Tabel 4.4 Hasil perhitungan homogenitas data <i>decibel drop</i>	IV-8
Tabel 4.5 Hasil perhitungan berdasarkan interaksi faktor komposisi dan kompaksi	IV-13
Tabel 4.6 Hasil perhitungan ANOVA nilai koefisien serap bunyi.....	IV-14
Tabel 4.7 Hasil perhitungan rata-rata nilai <i>decibel drop</i> faktor komposisi	IV-16
Tabel 4.8 Hasil perhitungan LSR faktor komposisi	IV-16
Tabel 4.9 Hasil perhitungan selisih setiap perlakuan faktor komposisi	IV-16
Tabel 4.10 Hasil perhitungan rata-rata nilai <i>decibel drop</i> faktor kompaksi	IV-17
Tabel 4.11 Hasil perhitungan LSR pada faktor kompaksi	IV-17
Tabel 4.12 Hasil perhitungan selisih setiap perlakuan faktor kompaksi	IV-17
Tabel 4.13 Hasil perhitungan rata-rata nilai <i>decibel drop</i> faktor <i>cavity</i>	IV-18
Tabel 4.14 Hasil perhitungan LSR pada faktor <i>cavity</i>	IV-18
Tabel 4.15 Hasil perhitungan selisih setiap perlakuan faktor <i>cavity</i>	IV-19
Tabel 4.16 Hasil perhitungan rata-rata nilai <i>decibel drop</i> faktor komposisi dan kompaksi	IV-19
Tabel 4.17 Hasil perhitungan LSR pada faktor komposisi dan kompaksi	IV-20
Tabel 4.18 Hasil perhitungan selisih setiap perlakuan faktor komposisi dan kompaksi	IV-20
Tabel 4.19 Hasil perhitungan rata-rata nilai <i>decibel drop</i> faktor komposisi dan <i>cavity</i>	IV-21

Tabel 4.20 Hasil perhitungan LSR pada faktor komposisi dan <i>cavity</i>	IV-21
Tabel 4.21 Hasil perhitungan selisih setiap perlakuan faktor komposisi dan <i>cavity</i>	IV-21
Tabel 4.22 Hasil perhitungan rata-rata nilai <i>decibel drop</i> faktor kompaksi dan <i>cavity</i>	IV-22
Tabel 4.23 Hasil perhitungan LSR pada faktor kompaksi dan <i>cavity</i>	IV-22
Tabel 4.24 Hasil perhitungan selisih setiap perlakuan faktor kompaksi dan <i>cavity</i>	IV-23
Tabel 4.25 Hasil perhitungan rata-rata nilai <i>decibel drop</i> factor komposisi kompaksi dan <i>cavity</i>	IV-24
Tabel 4.26 Hasil Uji <i>Bending</i>	IV-25

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>Setting</i> metode tabung impedansi dua mikropon dengan sampel yang telah diberi lapisan <i>backing plate</i>	II-10
Gambar 2.2. Set up metode dua rongga.....	II-11
Gambar 2.3 Uji Keteguhan Lentur	II-12
Gambar 3.1 Flowchart Metodologi Penelitian	III-1
Gambar 4.1 Spesimen uji serap bunyi	IV-1
Gambar 4.2 Spesimen Uji Bending	IV-25
Gambar 4.3 Prototype Panel Akustik dari Komposit Abu Sekam Padi dan Ampas Tebu.....	IV-26
Gambar 4.4 Panel Akustik Dengan Komposit Sekam Padi dan Ampas Tebu ..	IV-27
Gambar 4.5 <i>Sound level meter</i>	IV-28
Gambar 4.6 Kotak Pengujian.....	IV-28
Gambar 4.7 Pengujian nilai <i>decibel drop</i> tanpa menggunakan panel komposit	IV-29
Gambar 4.8 Pengujian nilai <i>decibel drop</i> menggunakan panel komposit	IV-29
Gambar 4.9 Diagram hasil pengukuran instensitas bunyi	IV-30
Gambar 5.1 Grafik nilai <i>decibel drop</i> berdasarkan faktor komposisi ampas tebu dan abu sekam padi	V-1
Gambar 5.2 Grafik nilai <i>decibel drop</i> berdasarkan faktor kompaksi	V-2
Gambar 5.3 Grafik nilai <i>decibel drop</i> berdasarkan faktor <i>cavity</i>	V-3
Gambar 5.4 Grafik nilai <i>decibel drop</i> berdasarkan faktor perbandingan komposisi dan kompaksi	V-4
Gambar 5.5 Grafik nilai <i>decibel drop</i> berdasarkan faktor perbandingan komposisi dan <i>cavity</i>	V-5
Gambar 5.6 Grafik nilai <i>decibel drop</i> berdasarkan faktor kompaksi dan <i>cavity</i>	V-5
Gambar 5.7 Grafik nilai <i>decibel drop</i> faktor komposisi abu sekam padi dan ampas tebu, kompaksi, dan <i>cavity</i>	V-6

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Tabel nilai koefisien serap bunyi.....	L-1
Lampiran 2 : Tabel Kolmogorov-Smirnov	L-2
Lampiran 2 : Tabel Chi Kuadrat	L-3
Lampiran 4 : Tabel Distribusi $F_{0,05}$	L-4
Lampiran 5 : Tabel Uji SNK.....	L-5
Lampiran 6 : Hasil perhitungan LSR seluruh faktor	L-6
Lampiran 7: Hasil perhitungan selisih setiap perlakuan pada seluruh faktor	L-6
Lampiran 8 : Kotak Pengujian Prototype	L-7
Lampiran 9 : Pengujian Prototype nilai decibel drop tanpa panel komposit	L-8
Lampiran 10 : Pengujian Prototype nilai decibel drop dengan panel komposit	L-8

BAB I

PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan beberapa hal pokok mengenai penelitian ini, yaitu latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika pembahasan.

1.1 Latar Belakang

Pesatnya perkembangan industri rekaman banyak memberi andil dalam pembangunan. Untuk menghasilkan produk yang berkualitas memicu terjadinya persaingan yang cukup ketat sehingga dalam hal ini studio rekaman dituntut untuk dapat menghasilkan produk yang berkualitas (Kristian Paath, 2011). Ruang rekaman yang baik harus dirancang dengan sistem tata ruang dengan kondisi tingkat peredaman/insulasi yang tepat, khususnya dari segi penerapan elemen akustik sehingga tidak terdapat patulan suara yang menyebabkan gaung juga adanya *background noise* yang mengganggu kebersihan dan kejernihan suara yang akan diterima. Akibat pantulan bunyi adalah rusaknya *stereo imaging* suara dan ketidaknyamanan pendengar dalam menyimak dialog ataupun musik (Wastu & Yuniar, 2020).

Upaya yang dilakukan untuk meminimalisir pantulan suara tersebut adalah dengan mendesain sekat atau lapisan peredam yang dapat melingkupi sumber suara sehingga efektif untuk mereduksi pantulan suara. Peredam suara ini biasanya berupa panel akustik yang dapat diaplikasikan menjadi plafon, dinding, dan lantai. Material yang telah lama digunakan sebagai peredam suara jenis ini adalah *glasswool* dan *rockwool* (Khuriati, 2006). Peredaman suara tidak hanya berfungsi untuk menahan suara ke luar ruangan (*insulation*) sehingga suara tidak bocor keluar, melainkan juga berfungsi untuk menambah kualitas (*acoustical*) kenyamanan pendengaran terhadap gema, dengung, dan bising yang dihasilkan oleh suara dari dalam ruangan (Kristian, 2019).

Kemampuan sebuah peredam atau benda dalam mengurangi atau meredam suatu bunyi diukur oleh *decibel drop*. *Decibel drop* memiliki satuan yang sama dengan intensitas bunyi yaitu *decibel* (dB). Semakin tinggi nilai *decibel drop* semakin baik

pula panel akustik dalma meredam bunyi, dan juga sebaliknya.(Thermaxxjackets, 2021)

Bahan baku peredam suara yang terdapat dipasaran umumnya berasal dari bahan sintetik seperti *fiberglass*, *vinyl acetate*, *butyl rubber*, *foam urethane*, dan lain-lain. Material sintetik ini memiliki sifat akustik (kemampuan meredam suara) yang cukup baik, namun sebagian besar material tersebut masih berupa produk impor dan limbah buangnya akan menjadi beban cemaran berat bagi lingkungan(Islam et al., 2018) karena limbahnya tidak dapat terurai secara alami dan dapat mengganggu hingga beberapa generasi yang akan datang (Muhajir et al., 2016). Akses masyarakat pada panel semacam ini cukup rendah, disebabkan tingginya harga jual dan tidak meratanya ketersediaan di pasar (Mediastika, 2008). Untuk mengatasi hal tersebut, penelitian pembuatan material peredam suara berbahan dasar serat alam mulai dikembangkan (Khotimah et al., 2015). Serat alam tersedia di alam dan merupakan sumber daya yang dapat diperbaharui serta ramah lingkungan (Eriningsih et al., 2014). Perkembangan ini didukung dengan kondisi alam indonesia yang kaya dan berlimpah akan bahan-bahan serat alam.

Salah satu bahan serat alam yang dapat digunakan sebagai material peredam suara adalah serat ampas tebu. Serat ampas tebu (*baggase*) merupakan limbah organik yang banyak dihasilkan di pabrik-pabrik pengolahan gula tebu di Indonesia. Serat ini memiliki nilai ekonomis yang cukup tinggi selain merupakan hasil limbah pabrik gula tebu, serat ini juga mudah didapat, murah, tidak membahayakan kesehatan, dapat terdegradasi secara alami (*biodegradability*)(Yudo & Jatmiko, 2008). Pada musim giling 2006, data yang diperoleh dari Ikatan Ahli Gula Indonesia (IKAGI) menunjukkan bahwa jumlah tebu yang digiling oleh 57 pabrik gula di Indonesia mencapai sekitar 30 juta ton, sehingga ampas tebu yang dihasilkan diperkirakan mencapai 9.640.000 ton (Puspitarini et al., 2013).

Karbon adalah zat utama dari kebanyakan sampah pertanian. Karbon berperan penting dalam material penyerap bunyi karena sangat cocok untuk mengubah energi gelombang menjadi energi panas (Seddeq, 2009). Parameter yang dibutuhkan dari material karbon ini adalah struktur pori dan luas permukaannya. Besarnya pori-pori

merupakan batas dari molekul yang dapat diserap. Luas permukaan merupakan batas dari jumlah material yang dapat diserap, dengan syarat ukuran molekul yang sesuai. Ampas tebu memiliki kandungan karbon dan silica berturut-turut sekitar 90% dan 10% (Zahid et al., 2013).

Selain ampas tebu, abu sekam juga dapat menjadi bahan alternatif yang dapat digunakan sebagai bahan peredam suara. Abu sekam atau yang biasa kita sebut abu gosok merupakan limbah yang berasal dari padi. Padi merupakan salah satu hasil utama pertanian, disamping mampu mencukupi kebutuhan pangan, produksi padi juga menghasilkan limbah berupa sekam padi. Pemanfaatan sekam padi masih terbatas sebagai bahan bakar pembuatan batu bata dan pada pembuatan abu gosok. Pembakaran sekam padi akan menghasilkan abu sekam padi (Isran, dkk., 2018). Berdasarkan penelitian Enymia (dalam Isran, dkk., 2018) abu sekam padi mengandung kadar silika cukup tinggi (87- 97%). Mengingat tingginya kandungan silika dalam abu sekam padi maka dilakukan suatu upaya untuk memanfaatkan abu sekam padi sebagai bahan dasar pembuatan material berbasis silika yaitu silika gel. Sifat isolasi suara dari limbah abu sekam padi yang ditambahkan batu bata bakar lebih unggul dari batu bata biasa. Pengurangan suara yang dihasilkan berkisar 10 dB antara 4.5.5 kHz dan 8 kHz. Peningkatan jumlah dan ukuran pori-pori setelah memasukkan limbah abu sekam padi, berpengaruh pada peningkatan penyerapan suara. Penyerapan suara atau insulasi suara yang tinggi untuk bata yang tergabung dalam abu sekam padi, dengan kepadatan rendah, dapat disebabkan oleh porositas yang tinggi, yang merupakan salah satu parameter utama dalam penyerapan suara. Peningkatan penyerapan atau isolasi suara dengan penurunan kepadatan (atau peningkatan porositas) dari bahan telah diamati sebelumnya (De Silva & Perera, 2018). Komposit semen karet adalah penyerap suara dan energi getaran yang efektif. Juga tambahan abu sekam meningkatkan penyerap suara dan energi getaran (Momtazi & Zanoosh, 2011).

Faktor yang digunakan dalam penelitian ini salah satunya adalah komposisi antara ampas tebu dan abu sekam padi. Ampas tebu dan abu sekam padi memiliki massa jenis sebesar 320 kg/m^3 dan 270 kg/m^3 yang berarti massa jenis ampas tebu lebih besar dibanding abu sekam padi. Dadang Setiawan, dkk (2020) meneliti komposit

karbon dengan massa jenis pada komposit karbon sandwich core styrofoam 1 lapisan atas, 2 lapisan atas, 3 lapisan atas secara berturut-turut $0,38 \text{ g/cm}^2$, $0,40 \text{ g/cm}^2$, $0,43 \text{ g/cm}^2$ didapatkan hasil uji bending yang didapat secara berurutan sebesar 289 kg/cm^2 , 330 kg/cm^2 , dan 393 kg/cm^2 . Berdasarkan hal tersebut didapatkan bahwa massa jenis yang lebih besar dapat menghasilkan nilai uji bending yang lebih baik. Oleh karena itu, didalam penelitian ini menggunakan bahan ampas tebu yang lebih banyak dibandingkan dengan abu sekam padi agar menghasilkan panel serap bunyi yang memiliki ketahanan dan kekuatan yang lebih baik.

Material komposit terdiri dari serat (*filler*) dan pengikat serat atau matriks. Maka dari itu, pada pembuatan komposit diperlukan perekat yang berfungsi sebagai pengikat serat yang nantinya menjadi satu kesatuan struktur, melindungi serat dari kerusakan akibat kondisi lingkungan, mendistribusikan beban ke serat dan memberi sifat kekakuan, ketahanan, dan tahan listrik (Mines et al., 1994). Perekat alami yang dapat dimanfaatkan untuk dijadikan sebagai matriks yaitu tepung ketan putih. Pati beras ketan putih mengandung amilosa sebesar 1% dan amilopektin sebesar 99% (Belitz et al., 2008). Kelebihan dari amilopektin yaitu memiliki daya perekat tinggi, suhu gelatinisasi lebih rendah, tidak mudah pecah atau rusak pada suhu rendah dan tidak mudah menggumpal pada suhu normal (Collison, dkk., 1986).

Penambahan lapisan papan yang berlubang juga dapat menjadi alternatif untuk meningkatkan kemampuan menyerap suara. Penambahan lubang (*cavity*) menambah porositas material sehingga menambah penyerapan gelombang bunyi dengan frekuensi rendah (Hosseini Fouladi et al., 2010). *Cavity* pada panel redam suara yang telah dilakukan yaitu 15, 20, dan 25 mm (Setyanto, dkk., 2020). Pengurangan tekanan pemadatan yang diterapkan menghasilkan peningkatan panjang karakteristik *viscous K*, peningkatan porositas dan penurunan resistivitas aliran udara material, oleh karena itu koefisien penyerapan suara yang lebih baik (Ben Mansour, dkk., 2017). Variasi pemadatan yang telah dilakukan yaitu 3:4, 4:4, 5:4 (Setyanto, dkk., 2013).

Faktor yang digunakan pada penelitian ini meliputi komposisi abu sekam padi dengan ampas tebu, kompaksi, dan *cavity*. Penelitian yang dilakukan ini bertujuan untuk memanfaatkan serat alam yang ada diantaranya abu sekam padi dan ampas tebu

sebagai bahan komposit berkarakteristik redam bunyi. Diharapkan komposit *hybrid* ini nantinya dapat diaplikasikan dalam pembuatan panel akustik yang ramah lingkungan.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan, maka permasalahan dalam penelitian ini yaitu bagaimana merancang komposit *hybrid* berbahan dasar ampas tebu dan abu sekam padi dengan mempertimbangkan faktor komposisi, kompaksi dan *cavity* menjadi produk panel akustik dengan nilai *decible drop* yang baik?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini yaitu untuk merancang komposit *hybrid* berbahan dasar ampas tebu dan abu sekam padi dengan mempertimbangkan faktor komposisi, kompaksi dan *cavity* menjadi produk panel akustik dengan nilai *decible drop* yang baik

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu untuk menghasilkan panel akustik dengan bahan komposit *hybrid* yang lebih ramah lingkungan yang dapat menjadi alternatif pengganti panel akustik berbahan serat sintetis.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Proses pengepressan menggunakan *hotpress*
2. Penelitian menggunakan *full factorial design*

1.6 Asumsi Masalah

Asumsi masalah pada penelitian ini adalah sebagai yaitu selama proses pencetakan spesimen uji dengan *hotpress* berlangsung suhu yang diberikan sebesar 40°C untuk semua komposit.

1.7 Sistematika Penulisan

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, asumsi penelitian dan sistematika penulisan. Dalam bab ini dimaksudkan menjelaskan latar belakang alasan dilakukannya penelitian berdasarkan kenyataan lapangan, sehingga dapat diidentifikasi yang akhirnya akan diperoleh tujuan dan manfaat penelitian.

BAB II : LANDASAN TEORI

Bab ini menjelaskan tentang landasan konseptual, teori, dan informasi yang diambil dari literatur yang ada dan sesuai dengan pokok masalah yang diteliti.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan mengenai langkah-langkah melakukan penelitian dan penyelesaian masalah sesuai dengan permasalahan yang diangkat.

BAB IV : PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini menyajikan uraian pengumpulan dan pengolahan data yang didapat dari penelitian.

BAB V : ANALISIS DAN INTERPRETASI HASIL

Bab ini memuat analisis dari hasil pengolahan data yang telah dilakukan.

BAB VI : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi mengenai target pencapaian dari tujuan penelitian dan menyimpulkan pembahasan masalah. Serta berisi saran bagi penelitian selanjutnya

BAB II

LANDASAN TEORI

Bab ini membahas mengenai studi kasus penelitian, konsep, dan teori yang digunakan dalam penelitian sebagai landasan dan dasar pemikiran untuk menganalisis permasalahan yang ada.

2.1 Komposit

Kata komposit (composite) berasal dari kata "*to compose*" yang berarti menyusun atau menggabung. Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material, dimana sifat mekanik dari material pembentuknya berbeda-beda (Robert M., 1975), karena bahan komposit merupakan bahan gabungan secara makro, maka bahan komposit dapat didefinisikan sebagai suatu sistem material yang tersusun dari campuran/kombinasi dua atau lebih unsur-unsur utama yang secara makro berbeda di dalam bentuk dan atau komposisi material yang pada dasarnya tidak dapat dipisahkan (Schwartz, 1984)

Pada umumnya material komposit terdiri dari dua unsur, yaitu serat (*fiber*) dan bahan pengikat serat-serat tersebut yang disebut matrik. Komposit juga dapat dibentuk dari kombinasi dua atau lebih material, baik logam, organik ataupun anorganik. Kombinasi material yang mungkin di dalam komposit tidak terbatas, namun unsur pokok dari bentuknya terbatas. Unsur pokok dalam komposit adalah serat, partikel, lamina atau lapisan, *flake*, *filler*, dan matrik. Matrik adalah unsur pokok tubuh komposit yang menjadi bagian penutup dan pengikat struktur komposit. Serat, partikel, lamina (lapisan), *flake*, *filler* dan matrik merupakan unsur pokok struktur karena unsur tersebut menentukan struktur internal komposit (Schwartz, 1984). Berdasarkan uraian tersebut di atas, maka aspek yang penting dalam menjelaskan sifat-sifat mekanis dari komposit tersebut adalah optimasi dari ikatan *interfacial* antara *fiber* dan matrik yang digunakan (Schwartz, 1984).

Kelebihan komposit dibandingkan dengan material lainnya adalah dapat meningkatkan kualitas material sesuai yang diharapkan. (Robert M., 1975)

menjelaskan bahwa beberapa sifat material dapat diperbaiki melalui pembentukan material menjadi material komposit. Sifat- sifat tersebut antara lain:

- a. Kekuatan (*strength*)
- b. Kekerasan (*stiffness*)
- c. Ketahanan terhadap korosi (*corrosion resistance*)
- d. Tidak mudah rusak (*wear resistance*)
- e. Daya tarik (*attractiveness*)
- f. Berat (*weight*)
- g. Usia *fatigue* (*fatigue life*)
- h. *Temperature-dependent behavior*
- i. Hambat panas (*thermal insulation*)
- j. Konduktivitas thermal (*thermal conductivity*)
- k. Serap bising (*acoustical insulation*)

2.1.1 Jenis-Jenis Komposit

Komposit dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuk material yang dipilih atau berdasarkan sifat alami material yang dipilih (Berthelot, 1999):

a. Berdasarkan bentuk material yang dipilih

Berdasarkan bentuk material yang dipilih, komposit dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu:

1. Fibrous Composites

Fibrous Composites merupakan material komposit yang terdiri atas serat (fiber) di dalam suatu matrik. Serat penguat dapat berbentuk kontinyu ataupun tidak kontinyu. Susunan dan arah serat dapat digunakan untuk memodifikasi sifat-sifat mekanik material komposit.

2. Particle Composites

Particle Composites merupakan komposit yang terbuat dari serbuk atau partikel. Partikel biasanya digunakan untuk memperbaiki property material secara particular seperti: kekakuan, sifat thermal, ketahanan terhadap abrasi, mengurangi pengerutan

dan sebagainya. Pemilihan matrik yang digunakan tergantung pada property yang diinginkan.

b. Berdasarkan sifat alam material yang dipilih

Berdasarkan sifat alami material yang dipilih, komposit dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu:

1. *Organic matrix Composites (resin, fillers)*
 - a. *mineral fiber* : glass, karbon
 - b. *organic fiber* : kevlar, poliamid
 - c. *metallic fiber* : boron, aluminium
2. *Metallic matrix Composites*
 - a. *mineral fiber* : karbon, silikon karbida
 - b. *metallic fiber* : boron
 - c. *metallo mineral fiber* : boron yang diperkuat dengan silikon karbida
3. *Mineral matrix Composites*
 - a. *metallic fibers* : boron
 - b. *metallic particles* : semen
 - c. *mineral particles* : karbida, nitrida

Menurut Kaw (2006), secara garis besar ada 3 macam jenis komposit berdasarkan penguat yang digunakannya, yaitu:

1. *Fibrous Composites* (Komposit Serat)

Merupakan jenis komposit yang hanya terdiri dari satu lamina atau satu lapisan yang menggunakan penguat berupa serat/fiber. Fiber yang digunakan bisa berupa glass fibers, carbon fibers, aramid fibers (poly aramide), dan sebagainya. Fiber ini bisa disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman.

2. *Laminated Composites* (Komposit Laminat)

Merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat sendiri.

3. Particulate Composites (Komposit Partikel)

Merupakan komposit yang menggunakan partikel/serbuk sebagai penguatnyadan terdistribusi secara merata dalam matriknya

Sedangkan berdasarkan bentuk material pembentuknya, (Schwartz, 1984) mengklasifikasikan komposit menjadi lima kelas, yaitu :

- a. Komposit serat (*Fiber composite*)
- b. Komposit serpihan (*flake composite*)
- c. Komposit butir (*particulate composite*)
- d. Komposit isian (*filled composite*)
- e. Komposit lapisan (*laminar composite*)

2.1.2 Bahan Penyusun Komposit

Pada umumnya material komposit terdiri dari dua unsur, yaitu serat (*fiber*) dan bahan pengikat serat-serat tersebut yang disebut matrik.

a. Serat

Serat berperan sebagai penyangga kekuatan dari struktur komposit, beban yang awalnya diterima oleh matrik kemudian diteruskan ke serat oleh karena itu serat harus mempunyai kekuatan tarik dan elastisitas yang lebih tinggi daripada matrik. Serat secara umum terdiri dari dua jenis yaitu serat alam dan serat sintetis. Serat alam adalah serat yang dapat langsung diperoleh dari alam. Biasanya berupa serat yang dapat langsung diperoleh dari tumbuh-tumbuhan dan binatang. Serat ini telah banyak digunakan oleh manusia diantaranya adalah kapas, wol, sutera, pelepah pisang, sabut kelapa, ijuk, bambu, nanas dan kenaf atau goni. Keunggulan serat alam sebagai filler komposit dibandingkan dengan serat sintetis sudah dapat diterima dan mendapat perhatian khusus dari para ahli material di dunia. Keunggulan tersebut antara lain densitas rendah, harga lebih murah, ramah lingkungan, dan tidak beracun. Serat alam memiliki kelemahan yaitu ukuran serat yang tidak seragam, kekuatan serat sangat dipengaruhi oleh usia. Serat sintetis adalah serat yang dibuat dari bahan-bahan anorganik dengan komposisi kimia tertentu. Serat sintetis mempunyai beberapa kelebihan yaitu sifat dan ukurannya yang relatif seragam, kekuatan serat dapat

diupayakan sama sepanjang serat. Serat sintetis yang telah banyak digunakan antara lain serat gelas, serat karbon, kevlar, nylon, dan lain-lain (Schwartz, 1984).

b. Matrik

Matrik, sebagai pengisi ruang komposit, memegang peranan penting dalam mentransfer tegangan, melindungi serat dari lingkungan dan menjaga permukaan serat dari pengikisan. Matrik harus memiliki kompatibilitas yang baik dengan serat (Moncrief, 1975). Gibson (1994) menyatakan bahwa matrik dalam struktur komposit bisa berasal dari bahan polimer, logam, maupun keramik. Matrik secara umum berfungsi untuk mengikat serat menjadi satu struktur komposit. Matrik memiliki fungsi:

1. Mengikat serat menjadi satu kesatuan struktur
2. Melindungi serat dari kerusakan akibat kondisi lingkungan
3. Mentransfer dan mendistribusikan beban ke *filler*
4. Menyumbangkan beberapa sifat seperti: kekakuan, ketangguhan, dan tahanan listrik

2.2 Material Penyusun Komposit

Pada penelitian ini, material pada komposit yang akan dikembangkan yaitu abu sekam padi dan ampas tebu sebagai bahan penguat dan tepung ketan putih sebagai perekat atau matriks.

2.2.1 Ampas Tebu

Ampas tebu adalah hasil samping dari proses penghancuran dan ekstrak (pemerahan) cairan tebu. Istilah *baggase* dipakai oleh Persatuan Teknisi Gula Internasional untuk residu hasil perasan tebu. Pada umumnya, pabrik gula memanfaatkan ampas tebu sebagai bahan bakar bagi pabrik yang bersangkutan, ampas tebu tersebut digunakan setelah digunakan setelah digunakan setelah dilakukan pengeringan. Selain untuk bahan bakar, ampas tebu juga banyak digunakan sebagai bahan baku industri kertas, papan partikel, makanan ternak, dan lain-lain (Shin et al., 2002). Penemuan terbaru telah dilakukan PT. Rajawali Nusantara Indonesia yaitu

memanfaatkan ampas tebu sebagai kanvas rem yang saat ini dalam taraf pengujian akhir dan siap diluncurkan ke pasar (Budiono, 2008).

Menurut Husein (2002) kandungan air dalam ampas tebu sekitar 48-52%, dan rata-rata 3,3% kandungan gula, sedangkan serat yang terdapat dalam ampas tebu rata-rata 47,7%. Tabel x.x dibawah ini menjelaskan komposisi atau struktur dari amaps tebu.

Tabel 2.2 Struktur Ampas Tebu

Nama Bahan	Jumlah (%)
Cellulose	28-43
Hemicellulosa	14-23
Pentosans	20-33
Lignin	13-22

Sumber : Malau, 2009

Menurut Setyawan dkk (2013) silika gel yang dihasilkannya memiliki luas permukaan yang tingi serta kemurnian yang tinggi pula dengan kandungan silika mencapai 90%. Silika dapat dimanfaatkan untuk bahan komposit berkarakteristik penghambat panas serta tahan lama dan kuat. Silika merupakan bahan keramik yang berdifat sebagai isolator. Selain itu serat selulose pada ampas tebu juga mengandung *void* yang dapat memeberikan sifat isolator. Sifat ringan yang dimiliki ampas tebu juga cocok dimanfaatkna sebagai bahan komposit.

2.2.2 Abu Sekam Padi

Abu Sekam padi pada umumnya saat ini digunakan sebagai bahan bakar atau bahan tambahan dalam industri, atau bahkan dibuang begitu saja. Abu sekam padi diperoleh dari proses pembakaran sekam padi dengan menggunakan suhu yang berkisar 500-700 °C yang mengandung banyak silika amorf. Berkiut tabel komposisi abu sekam padi adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2 Komposisi Abu Sekam Padi (Patandung, 2011)

Komposisi	Jumlah (%)
SiO ₂	86,96 – 97,30
K ₂ O	0,58 – 2,50
Na ₂ O	0,00 – 1,75
CaO	0,20 – 1,50
MgO	0,12 – 1,96
Fe ₂ O ₃	0,00 – 0,54
P ₂ O ₅	0,20 – 2,84
SO ₃	0,10 – 1,13
Cl	0,00 – 0,42

2.2.3 Ketan Putih

Ketan (atau beras ketan) mempunyai karakteristik antara lain tidak transparan, berbau khas, seluruh atau hampir aseluruh patinya merupakan amilopektin. Ketan sepenuhnya hampir didominasi oleh amilopektin sehingga bersifat sangat lekat. Tepung ketan merupakan tepung yang terbuat dari beras ketan yang dihaluskan/ditumbuk/digiling. Tepung ketan putih teksturnya mirip tepung beras, tetapi bila diraba tepung ketan terasa lebih berat melekat.

Beras ketan merupakan salah satu varietas *oryza sativa.L* golongan *glutinous rice*. Beras ketan memiliki kandungan pati yang tinggi, dengan kadar amilosa 1-2% dengan kadar amilopektin 98-99%, semakin tinggi kandungan amilopektinnya semakin lekat sifat beras tersebut (Winarno, 2002).

Tepung beras ketan mengandung zat gizi yang cukup tinggi yaitu karbohidrat 80%, lemak 4%, dan air 10%. Pati beras ketan putih mengandung amilosa sebesar 1% dan amilopektin sebesar 99% (Belitz et al., 2008). Kadar amilopektin tinggi mengakibatkan tepung beras ketan putih sangat mudah mengalami gelatinisasi bila ditambahkan dengan air dan memperolahkan perlakuan pemanasan (Seknun, 2012). Hal ini terjadi karena adanya pengikatan hydrogen dan molekul-molekul tepung beras ketan putih bersifat kental (Suprpto, 2006).

2.3 Bunyi

Kata “bunyi” memiliki dua definisi: (1) Secara fisis, bunyi adalah penyimpangan tekanan, pergeseran partikel dalam medium akustik seperti udara. Ini adalah bunyi obyektif. (2) Secara fisiologis, bunyi adalah sensasi pendengaran yang disebabkan penyimpangan fisis yang digambarkan di atas. Ini adalah bunyi subyektif. Bunyi dapat dinyatakan sebagai sensasi pendengaran yang lewat telinga dan timbul karena penyimpangan tekanan udara. Penyimpangan ini biasanya disebabkan oleh beberapa nada yang bergetar, misalnya garpu tala yang dipukul. (Doelle, 1965).

2.3.1 Sifat-Sifat Bunyi

Bunyi memiliki beberapa sifat dan besaran fisis. Sifat-sifat bunyi antara lain: dapat dipantulkan, dapat berinterferensi, dan dapat dibelokkan. Bunyi dapat menimbulkan pengaruh pada lingkungan sekitarnya seperti adanya pelayangan bunyi dan efek doppler. Bunyi merupakan salah satu jenis gelombang sehingga memiliki besaran-besaran gelombang seperti kecepatan, frekuensi, panjang gelombang, dan periode. Selain itu bunyi juga memiliki besaran lain seperti tekanan bunyi, intensitas bunyi, dan daya akustik.

2.3.2 Material Penyerap Bunyi

Bahan lembut, berpori dan kain dan manusia, menyerap sebagian besar gelombang bunyi yang menumbuk mereka. Bahan-bahan seperti ini disebut sebagai bahan penyerap bunyi. Penyerapan bunyi adalah perubahan energi bunyi menjadi suatu bentuk lain, biasanya panas, ketika melewati suatu bahan atau ketika menumbuk suatu permukaan. Jumlah panas yang dihasilkan pada perubahan energi ini adalah sangat kecil, sedang kecepatan perambatan gelombang bunyi tidak dipengaruhi oleh penyerapan. (Doelle, 1965)

Material penyerap bunyi pada umumnya dibagi ke dalam tiga jenis, yaitu bahan berpori, panel absorber (penyerap panel), dan resonator rongga (atau Helmholtz). Pengelompokan ini didasarkan pada proses perubahan energi suara yang menumbuk permukaan bahan menjadi energi panas (Sabri, 2005). Pada bahan berpori, energi bunyi diubah menjadi energi panas melalui gesekan dengan molekul udara. Contoh material ini adalah serat kacang (rock wall), serat kayu, dan papan serat (fiber board). Pada panel

absorber, energi bunyi diubah menjadi energi getaran. Material panel absorber ini bekerja dengan baik pada frekuensi rendah, misalnya kaca, pintu, dan panel kayu. Resonator berongga mengurangi energi bunyi melalui gesekan dan interrefleksi pada lubang dalam yang bekerja pada frekuensi rendah. Contohnya antara lain sound block, resonator panel berlubang, dan resonator celah. (Sriwigiyatno, 2006).

2.3.3 Koefisien Absorpsi Bunyi

Efisiensi penyerapan bunyi suatu bahan pada frekuensi tertentu dinyatakan oleh koefisien absorpsi bunyi. Koefisien absorpsi bunyi suatu permukaan adalah bagian permukaan bunyi datang yang diserap, atau tidak dipantulkan oleh permukaan. Koefisien ini dinyatakan dalam huruf Greek α . (Doelle, 1993). Koefisien absorpsi bunyi (α) dinyatakan dalam bilangan antara 0 dan 1. Nilai koefisien absorpsi 0 menyatakan tidak ada energi bunyi yang diserap dan nilai koefisien serapan 1 menyatakan serapan yang sempurna. (Sriwigiyatno, 2006). Reaksi serap terjadi akibat turut bergetarnya material terhadap gelombang suara yang sampai pada permukaan material tersebut. Getaran suara yang sampai dipermukaan turut menggetarkan partikel dan pori-pori udara pada material tersebut. Sebagian dari getaran tersebut terpantul Kembali ke ruangan, sebagian berubah menjadi panas dan sebagian lagi diteruskan ke bidang lain dari material tersebut. (Gunawan, 2008).

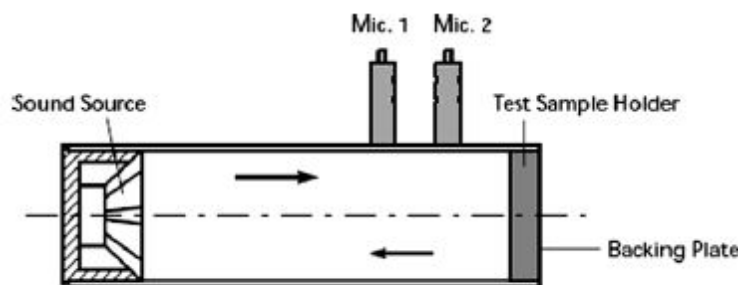
2.3.4 Pengukuran Koefisien Absorpsi Bunyi

Penelitian mengenai pengukuran koefisien absorpsi bunyi pada bahan alam telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Sabri (2005) meneliti kinerja akustik dari serat kelapa dan rami untuk menggantikan serat sintetis seperti rockwool dan glasswool yang selama ini telah digunakan sebagai bahan penyerap suara secara meluas. Nilai koefisien absorpsi bunyi maksimum untuk serat kelapa diperoleh pada frekuensi 4000 Hz yaitu sebesar 90%, sedangkan untuk serat rami diperoleh pada frekuensi 5000 Hz sebesar 77%.

Himawan (2007) melakukan penelitian karakteristik akustik sampah kota dengan variasi komposisi antara bahan dasar sampah organik dan anorganik. Pada frekuensi rendah, semakin besar kandungan material anorganik maka koefisien absorpsinya juga semakin meningkat. Pada frekuensi tinggi, material 100 % organik mempunyai

koefisien absorpsi bunyi yang tertinggi, di mana semakin besar frekuensinya koefisien absorpsinya juga semakin naik.

Fukuhara (2005) melakukan penelitian pada daun teh segar yang ditentukan secara non-destruktif dengan pendekatan analisis transmisi ultrasonik. Hasil penelitiannya menunjukkan dengan meningkatnya ketebalan, maka panjang gelombang dan kecepatan fasenya meningkat sedangkan rasio damping dan viskositas dinamikanya menurun.



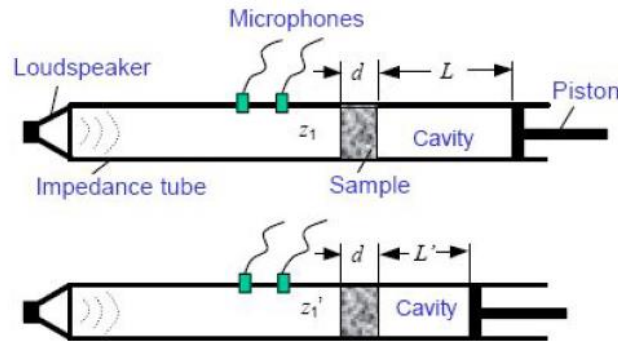
Gambar 2.1. Setting metode tabung impedansi dua mikropon dengan sampel yang telah diberi lapisan *backing plate*. (Ersoy, S., H. Küçük, 2009)

Selain Fukuhara, penelitian karakteristik akustik dengan variasi ketebalan pernah pula dilakukan pada aluminium busa (Jae-Eung et.al, 1998) dan sampah industri daun teh (Ersoy, S., H. Küçük, 2009). Aluminium busa memiliki kemampuan menyerap bunyi terbaik pada frekuensi 400-1200 Hz pada ketebalan 24 mm. Pada penelitian Ersoy dan Küçük, ada hal yang menarik yaitu nilai koefisien absorpsi bunyi meningkat antara 100% hingga 300% dengan diberikan lapisan *backing plate* pada bahan uji. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa 10 mm sampah daun teh dengan *backing plate* memiliki koefisien absorpsi bunyi yang hampir sama dengan 6 lapisan kain tekstil tenun dan 20 mm sampah daun teh dengan *backing plate* dapat menyerap bunyi dengan baik pada rentang frekuensi 500-3200 Hz.

2.4 Metode Tabung Impedansi Dua Mikrofon (*Two Microphones Impedance Tube Method*)

Metode Tabung Impedansi Dua Mikrofon (*Two Microphones Impedance Tube Method*) adalah salah satu metode untuk mengukur karakteristik material penyerap

bunyi yang relatif mudah diterapkan dibandingkan metode yang lain karena hanya menggunakan satu konfigurasi.



Gambar 2.2. Set up metode dua rongga.

(Ersoy, S., H. Kucuk, 2009)

Pada Gambar 2.2. di atas, impedansi permukaan z_1 dan z_1' dari sampel dengan tebal d diukur dengan dua rongga udara yang mempunyai panjang L dan L' . Panjang rongga dapat diubah dengan menggerakkan piston sepanjang tabung impedansi. Bilangan gelombang kompleks dan Karakteristik impedansi kompleks dapat diturunkan dari teori gelombang bidang. (Tao et. al, 2003). Selanjutnya, dengan menggunakan pendekatan *transfer matrix*, maka koefisien refleksi dan koefisien absorpsi bunyi dapat ditentukan.

Secara fisis fungsi pindah (*transfer function*) merupakan gambaran respon sistem terhadap masukan tertentu, dapat dinyatakan dalam bentuk perbandingan transformasi Fourier tekanan akustik pada dua lokasi mikrofon (mikrofon yang paling dekat dengan bahan uji atau mikrofon yang paling dekat dengan sumber bunyi). (Sriwigiyatno, 2006). Fungsi pindah dinyatakan sebagai (ASTM E 1050-90, 1998) :

$$\bar{H} = \frac{G_{12}}{G_{11}} = |\bar{H}|e^{j\bar{\phi}} = \bar{H}_r + j\bar{H}_i \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana \bar{H} adalah fungsi pindah hasil pengukuran dari sinyal dua mikrofon, G_{12} adalah *cross spectrum* dari sinyal tekanan akustik pada mikrofon di lokasi 1 dan 2, G_{11} adalah *auto spectrum* dari tekanan akustik pada mikrofon di lokasi 1 dan 2, \bar{H}_r adalah fungsi pindah bagian real dan \bar{H}_i adalah fungsi pindah bagian imajiner.

Konsep fungsi pindah sangat bermanfaat dalam menentukan koefisien refleksi mengingat koefisien refleksi tidak dapat diukur secara langsung. Apabila nilai koefisien refleksi dapat diketahui maka karakteristik akustik lainnya dapat diketahui. Dengan memanfaatkan fungsi pindah, koefisien refleksi dapat ditentukan sebagai berikut:

$$R = \frac{H_i - e^{-jks}}{e^{jks} - H_1} e^{j2k(l+s)} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dari persamaan di atas, R adalah koefisien refleksi kompleks, H_1 adalah fungsi pindah, k adalah bilangan gelombang, l adalah jarak sampel ke mikrofon terdekat, s adalah jarak antara kedua mikrofon. Fungsi e^{-jks} dan e^{jks} masing-masing disebut fungsi pindah gelombang datang H_i dan fungsi pindah gelombang refleksi \bar{H}_r .

dan koefisien absorpsi bunyi α adalah

$$\alpha = 1 - |R|^2 \dots\dots\dots (2.3)$$

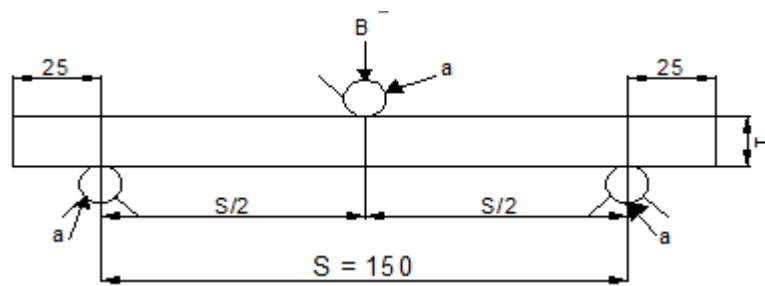
2.5 Pengujian *Bending*

Pengujian suatu bahan dimaksudkan untuk memperoleh kepastian mengenai sifat dan kekuatan bahan tersebut. Kekuatan *bending* atau kekuatan lengkung adalah kekuatan beban terbesar yang dapat diterima akibat pembebanan luar tanpa mengalami deformasi yang besar atau kegagalan. Akibat dari pengujian *bending* yaitu bagian atas spesimen akan mengalami tekanan, dan bagian bawah akan mengalami tegangan tarik. Kegagalan yang terjadi akibat pengujian *bending* adalah komposit mengalami patah pada bagian bawah yang disebabkan karena tidak mampu menahan tegangan tarik yang diterima. Kekuatan *bending* suatu material dapat ditentukan sesuai persamaan di bawah ini (SNI 01-4449,2009) :

$$MOR = \frac{3BS}{2LT^2} \dots\dots\dots (2.x)$$

Keterangan:

- MOR : modulus of rupture (MPa)
- B : besarnya beban maksimum (N)
- S : jarak sangga (cm)
- L : lebar contoh uji papan serat (cm)
- T : tebal contoh uji papan serat (cm)



Gambar 2.3 Uji Keteguhan Lentur

Sumber: SNI, 2006

Keterangan :

- B : beban (kgf)
- S : jarak sangga (mm)
- a : diameter
- T : tebal papan serat

2.6 Konsep Perancangan Eksperimen

Bagian ini menjelaskan mengenai konsep perancangan eksperimen yang akan dilakukan dalam penelitian ini. Konsep perancangan eksperimen ini meliputi definisi, tujuan, prinsip, eksperimen faktorial, dan pengujian asumsi-asumsi ANOVA.

2.6.1 Definisi

Desain eksperimen merupakan Langkah lengkap yang perlu diambil jauh sebelum eksperimen dilakukan supaya data yang diperoleh membawa kepada analisis obyektif dan kesimpulan yang berlaku untuk persoalan yang sedang dibahas (Sudjana, 1997).

Beberapa istilah yang perlu diketahui dalam desain eksperimen (Sudjana, 1997; Montgomery, 1997) antara lain sebagai berikut:

- a. Unit eksperimen (*experimental unit*)

Objek eksperimen dimana nilai-nilai variable respon diukur

- b. Variable respon (*effect*)

Dependent variable atau ukuran perfomansi, yaitu output yang akan diukur dalam eksperimen

- c. Faktor

Independent variable atau variable bebas, yaitu input yang nilainya akan diubah dalam eksperimen

d. Taraf (*level*)

Nilai-nilai atau klasifikasi dari sebuah faktor. Taraf (*levels*) faktor dinyatakan dengan bilangan 1,2,3, dan seterusnya.

e. Perlakuan (*treatment*)

Merupakan sekumpulan kondisi eksperimen yang akan digunakan terhadap unit eksperimen dalam ruang lingkup desain yang dipilih. Perlakuan merupakan kombinasi level-level dari seluruh faktor yang akan diuji dalam eksperimen.

f. Replikasi

Pengulangan eksperimen dasar yang bertujuan untuk menghasilkan taksiran yang lebih akurat terhadap efek rata-rata faktor ataupun terhadap kekeliruan eksperimen.

g. Blok/Faktor Pembatas (*restrictions*)

Disebut juga variable kontrol (dalam Statistik Multivariat). Faktor-faktor yang mungkin ikut mempengaruhi variable respon tetapi tidak ingin diuji pengaruhnya oleh eksperimenter karena tidak termasuk dalam tujuan studi.

h. Pengacakan (randomisasi)

Merupakan cara mengacak unit-unit eksperimen untuk dialokasikan pada eksperimen. Metode randomisasi yang dipakai dan cara mengkombinasikan level-level faktor yang berbeda menentukan jenis desain eksperimen yang akan terbentuk.

i. Kekeliruan eksperimen

Kegagalan dari dua unit eksperimen identic yang dikenai perlakuan untuk memberi hasil yang sama.

Langkah-langkah dalam setiap proyek eksperimen secara garis besar terdiri dari tiga tahapan, yaitu *planning phase*, *design phase*, dan *analysis phase* (Hicks, 1993).

a. *Planning Phase*

Tahapan dalam *planning phase*:

1) Membuat *problem statement* dengan jelas

- 2) Menentukan variable bebas (*independent variables*), yaitu efek yang akan diukur, disebut juga sebagai kriteria atau ukuran performansi
- 3) Menentukan *dependent variables*
- 4) Menentukan level-level yang akan diuji, menentukan sifat, yaitu:
 - a. kualitatif atau kuantitatif?
 - b. *Fixed* atau random?
- 5) Menentukan cara bagaimana level-level dari beberapa faktor akan dikombinasikan (khusus untuk eksperimen dua faktor atau lebih)

b. Design Phase

Tahapan dalam *design phase* adalah sebagai berikut:

- 1) Menentukan jumlah observasi yang diambil
- 2) Menentukan urutan eksperimen (urutan pengambilan data)
- 3) Menentukan metode randomisasi
- 4) Menentukan model matematik yang mnejelaskan variable respon
- 5) Menentukan hipotesis yang akan diuji

c. Analysis Phase

Tahapan dalam *analysis phase* adalah sebagai berikut:

- 1) Pengumpulan dan pengolahan data
- 2) Menghitung nilai-nilai statistik yang diuji
- 3) Mengintrepretasikan hasil eksperimen

2.6.2 Tujuan Desain Eksperimen

Tujuan dari desain ekperimen yaitu untuk memeperoleh atau mengumpulkan informasi sebanyak-banyaknya yang diperlukan dan berguna dalam melaksanakan penelitian persoalan yang sedang dibahas. Meskipun demikian, dalam rangka mendapatkan semua informasi yang berguna, sebiaknya desain dibuat sesederhana mungkin dan penelitian dilakukan seefisien mungkin mengingat waktu, biaya, dna bahan yang akan digunakan. Hal ini juga penting mengingat kenyataan bahwa desain yang sederhana mudah dilaksanakan dan data yang diperoleh berdasarkan desain yang demikian cepat dilakukan analisis, disamping itu juga bersifat ekonomis. Jadi, jelas

sebaiknya bahwa desain eksperimen dilakukan untuk mencari informasi semaksimal mungkin dengan biaya yang minimum.

2.6.3 Prinsip Dasar Dalam Perancangan

Prinsip-prinsip dasar yang lazim digunakan dan dikenal sangat penting untuk dimengerti. Tujuannya yaitu untuk memahami desain eksperimen itu sendiri. Prinsip dasar eksperimen yaitu antara lain:

1. Replikasi

Apabila suatu perlakuan muncul lebih dari satu kali dalam suatu percobaan, maka dikatakan percobaan itu mempunyai pengulangan. Dengan demikian pengertian pengulangan dalam konteks ini yaitu pengulangan dari perlakuan dasar. Fungsi dari pengulangan itu sendiri adalah:

- a. Memberikan suatu dugaan dari galat percobaan.
- b. Meningkatkan suatu percobaan melalui pengurangan simpang baku dari nilai tengah perlakuan.
- c. Memperluas perlakuan penarikan kesimpulan dari suatu percobaan.
- d. Mengendalikan ragam alat (*error variance*).
- e. Menghasilkan tafsiran yang lebih akurat untuk kekeliruan eksperimen.
- f. Memungkinkan para eksperimenter memperoleh tafsiran yang lebih baik mengenai efek rata-rata suatu faktor.

2. Pengacakan

Pengacakan memiliki fungsi untuk menjamin kesahihan (*validity*) atau pendugaan tak bias dari galat percobaan dan nilai tengah perlakuan serta perbedaan diantara keduanya. Melalui pengacakan, maka uji-uji statistika menjadi lebih valid dimana salah satu asumsi dalam analisis data bahwa galat bersifat bebas, dapat dipenuhi. Terkadang, konsep pengacakan diperkenalkan sebagai suatu cara untuk menghilangkan bias. Dengan demikian, konsep pengacakan memiliki peranan penting dalam perancangan percobaan yang valid.

3. Kontrol lokal

Kontrol lokal merupakan sebagian dari keseluruhan prinsip desain eksperimen yang harus dilaksanakan. Biasanya merupakan Langkah-langkah ataupun usaha-usaha berbentuk penyimpangan, pemblokkan, dan pengelompokan unit-unit eksperimen yang digunakan dalam desain jika replikasi dan pengacakan pada dasarnya akan memungkinkan berlakunya uji keberartian. Maka kontrol lokal menyebabkan desain eksperimen lebih efisien yaitu menghasilkan prosedur pengujian dengan kuasa yang lebih tinggi. Kontrol lokal dapat dikerjakan menggunakan:

- a. Perancangan percobaan.
- b. Penggunaan pengamatan pengiring (*concomitant observation*) atau perubahan pengiringan (*concomitant variable*).
- c. Pemilihan ukuran satuan-satuan percobaan.

Dengan pengelompokan dapat diartikan sebagai penempatan kumpulan unit eksperimen yang homogen ke dalam kelompok-kelompok agar kelompok yang berbeda memungkinkan untuk mendapat perlakuan yang berbeda pula.

2.6.4 Eksperimen Faktorial (*Faktorial Experiment*)

Eksperimen faktorial adalah eksperimen dimana semua (hampir seluruhnya) taraf (*level*) sebuah faktor tertentu dikombinasikan dengan semua (hampir seluruhnya) taraf (*level*) faktor lainnya yang terdapat dalam eksperimen (Sudjana, 1997). Eksperimen faktorial digunakan apabila jumlah faktor yang akan diuji lebih dari satu. Dalam eksperimen faktorial, hasil data dipengaruhi oleh lebih dari satu faktor, atau dapat dikatakan terjadi interaksi antar faktor. Secara umum, interaksi didefinisikan sebagai perubahan dalam sebuah faktor mengakibatkan perubahan nilai respon yang berbeda pada tiap taraf untuk faktor yang lain, maka antara kedua faktor terdapat interaksi (Sudjana, 1997). Skema umum data sampel untuk desain eksperimen dapat dilihat pada tabel x.x.

Tabel 2.3 Skema umum data sampel eskperimen faktorial emnggunakan 3 faktor dan dengan n observasi tiap sel

Faktor C	Faktor B	Faktor A				Jumlah
		1	2	...	a	
1	1	Y_{1111}	Y_{2111}	...	Y_{a111}	
		Y_{1111}	Y_{2111}	...	Y_{a111}	
		
		Y_{111n}	Y_{211n}	...	Y_{a11n}	

	b	Y_{1b11}	Y_{2b11}	Y_{3b11}	Y_{4b11}	
		Y_{1b12}	Y_{2b12}	Y_{3b12}	Y_{4b12}	
		
		Y_{1b1n}	Y_{2b1n}	Y_{3b1n}	Y_{4b1n}	
...	
...	
c	1	Y_{1111}	Y_{2111}	...	Y_{a111}	
		Y_{1111}	Y_{2111}	...	Y_{a111}	
		
		Y_{111n}	Y_{211n}	...	Y_{a11n}	

	b	Y_{1bc1}	Y_{2bc1}		Y_{abc1}	
		Y_{1bc2}	Y_{2bc2}		Y_{abc2}	
		
		Y_{1bcn}	Y_{2bcn}		Y_{abcn}	
Total		$T_{...1}$	$T_{...2}$	$T_{...3}$	$T_{...4}$	

Sumber: Sudjana, 1997

Tabel Anova untuk eksperimen faktorial dengan tiga faktor (a , b , dan c) dengan nilai-nilai perhitungan dalam bentuk diatas adalah sebagaimana yang terdapat pada tabel 2.3. pada kolom terakhir tabel 2.3, untuk menghitung harga F yang digunakan sebagai alat pengujian statistic, maka perlu diketahui model mana yang akan diambil. Model yang dimaksud ditentukan oleh sifat setiap faktor, apakah tetap atau acak. Model tetap menunjukkan di dalam eksperimen hanya terdapat m buah perlakuan. Sedangkan model acak menunjukkan bahwa dilakukan pengambilan m buah perlakuan secara acak dari populasi yang ada.

Tabel 2.4 Anova eksperimen faktorial 3 faktor desain acak sempurna

Sumber Variansi	Derajat Bebas (df)	Jumlah Kuadrat (SS)	Kuadrat Tengah (MS)	<i>F</i>
Faktor <i>A</i>	$a - 1$	SS_A	SS_A/df_A	MS_A/MS_E
Faktor <i>B</i>	$b - 1$	SS_B	SS_B/df_B	MS_B/MS_E
Faktor <i>C</i>	$c - 1$	SS_C	SS_C/df_C	MS_C/MS_E
Interaksi <i>AxB</i>	$(a - 1)(b - 1)$	SS_{AxB}	SS_{AxB}/df_{AxB}	MS_{AxB}/MS_E
Interaksi <i>AxC</i>	$(a - 1)(c - 1)$	SS_{AxC}	SS_{AxC}/df_{AxC}	MS_{AxC}/MS_E
Interaksi <i>BxC</i>	$(b - 1)(c - 1)$	SS_{BxC}	SS_{BxC}/df_{BxC}	MS_{BxC}/MS_E
Interaksi <i>AxBxC</i>	$(a - 1)(b - 1)(c - 1)$	SS_{AxBxC}	SS_{AxBxC}/df_{AxBxC}	MS_{AxBxC}/MS_E
<i>Error</i>	$abc(n-1)$	SS_E	SS_E/df_E	
Total	$Abcn$	SS_{Total}		

Sumber: Hicks, 1993

2.6.5 Pengujian Asumsi-Asumsi Anova

Sebelum menggunakan analisis variansi sebagai alat analisa data eksperimen, terlebih dahulu dilakukan uji asumsi-asumsi anova berupa uji kecukupan data, normalitas, homogenitas, variansi, dan independensi terhadap data hasil eksperimen.

1. Uji Normalitas

Uji normalitas dapat dilakukan dengan uji *Kolmogorov-Smirnov*, untuk data dengan sampel kecil dan sampel besar (Cahyono, 2006). Penggunaan uji *Kolmogorov-Smirnov* akan menghasilkan keputusan dengan tingkat konsistensi yang sama baik pada sampel dengan jumlah 50 maupun yang kurang dari 50 (Oktaviani & Notobroto, Basuki, 2014).

2. Uji Homogenitas

Pengujian homogenitas digunakan untuk mengetahui apakah data pada setiap faktor yang dieksperimenkan bersifat homogen atau tidak. Pengujian homogenitas dapat dilakukan dengan uji *Bartlett*. Uji ini dilakukan untuk data yang berasal lebih dari dua kelompok atau sampel. Tahapan dalam pengujian homogenitas dengan perhitungan manual adalah sebagai berikut:

- 1) Mengelompokkan data yang telah diukur berdasarkan kondisi masing-masing
- 2) Membuat range antara nilai tertinggi dikurangi nilai terendah untuk setiap kondisi
- 3) Menghitung nilai rata-rata untuk semua kondisi

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^{54} R_i}{\sum n}$$

- 4) Menghitung nilai range pembandingan dengan cara mengkalikan \bar{R} dengan faktor pengkali sesuai jumlah sampel tiap kondisi

$$RX = \bar{R} \times Dn$$

Jika nilai $X_i < R_x$, maka data homogen.

Keterangan:

- R_i : range untuk setiap kondisi
 n : jumlah sampel setiap kondisi
 Dn : faktor pengkali untuk n sampel

3. Uji Independensi

Untuk mencapai sifat independent dapat dilakukan dengan pengacakan terhadap observasi. Namun, jika masalah acak ini diragukan maka dapat dilakukan pengujian dengan cara memplot *residual* versus urutan pengambilan observasinya. Hasil plot tersebut akan memperlihatkan ada tidaknya pola tertentu. Jika ada pola tertentu, berarti ada korelasi antar *residual* atau *error* tidak independent. Apabila hal tersebut terjadi, berarti pengacakan urutan eksperimen tidak benar (eksperimen tidak terurut secara acak) (Sanjaya, 2010).

2.6.6 Uji Anova (Analysis of Variance)

Analysis of Variance (ANOVA) merupakan metode untuk menguji hubungan antara satu variabel dependen dengan satu atau lebih variabel independen. Hubungan antara satu variabel dependen dengan satu variabel independen disebut *One Way ANOVA*. Dalam kasus satu variabel dependen dan dua atau tiga variabel independen sering disebut *Two Ways ANOVA* dan *Three Ways ANOVA*.

Pengujian ANOVA digunakan untuk mengetahui pengaruh utama (*main effect*) dan pengaruh interaksi (*interaction effect*) dari variabel independen (atau biasa disebut faktor) terhadap variabel dependen. Pengaruh utama adalah pengaruh langsung variabel independen terhadap variabel dependen. Sedangkan pengaruh interaksi adalah pengaruh bersama atau *joint effect* dua atau lebih variabel independen terhadap variabel dependen.

2.6.7 Uji Pembandingan Ganda

Uji ini dilakukan apabila terdapat perbedaan yang signifikan antar level faktor, blok, atau interaksi faktor-faktor. Uji pembandingan ganda bertujuan untuk menjawab manakah dari rata-rata taraf perlakuan yang berbeda atau untuk melihat pada level mana terdapat perbedaan dari suatu faktor yang dinyatakan berpengaruh signifikan oleh uji Anova (Sudjana, 1997).

Metode uji yang biasa digunakan adalah *contras orthogonal*, uji rentang *Student Newman-Keuls*, uji *Dunnett*, dan uji *Scheffe*. Uji *Student Newman-Keuls* (SNK) lebih tepat digunakan dibandingkan uji *Dunnett* dan uji *Scheffe*, karena melihat pada level mana terdapat perbedaan dari suatu faktor yang dinyatakan berpengaruh signifikan oleh uji ANOVA. Pemilihan *Scheffe* tidak tepat untuk melihat pada level mana terdapat perbedaan terhadap suatu faktor, karena uji *Scheffe* lebih diutamakan untuk membandingkan antara dua kelompok perlakuan (Sudjana, 1997). Sedangkan uji *Dunnett* hanya digunakan untuk membandingkan suatu control dengan perlakuan lainnya (Mahayanti, 2004). Prosedur pengujian *Student Newman-Keuls* (SNK) adalah sebagai berikut (Hicks, 1993):

1. Susun mean-mean dari kecil ke besar

2. Ambil nilai MS_{error} dan df_{error} dari tabel ANOVA
3. Hitung error standar untuk mean level

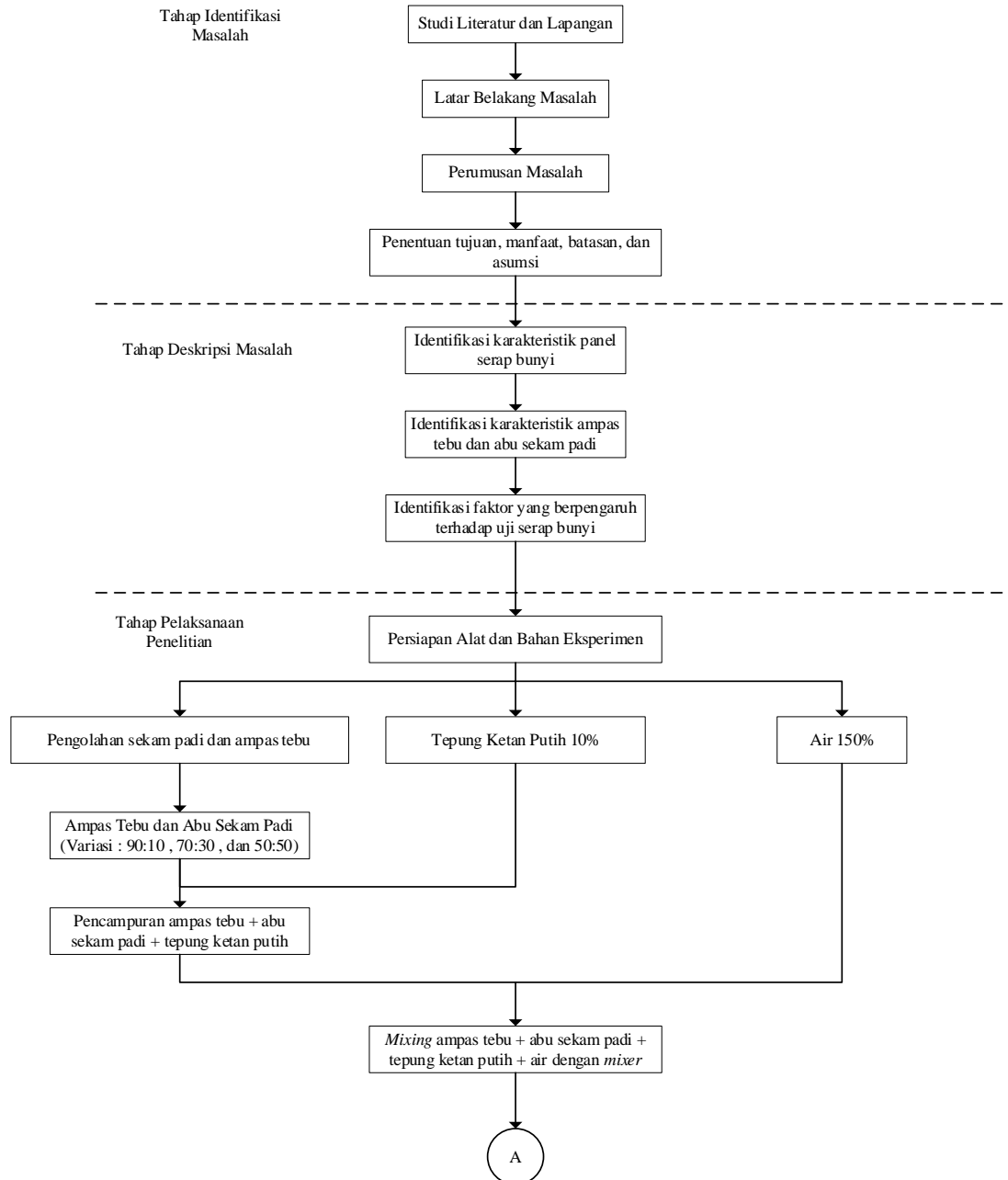
$$s_{\bar{Y}.j} = \sqrt{\frac{MS_{error}}{k}} \dots\dots\dots (2.13)$$

4. Tetapkan nilai α dan hitung *significant ranges* dari tabel *Studentized Range Tabel* dengan $n_2=df_{error}$ dan $p=2,3,\dots,k$, sehingga diperoleh *significant range* (SR)
5. Kalikan setiap nilai *significant range* (SR) dengan nilai $s_{\bar{Y}.j}$ (error standar) sehingga diperoleh *least significant ranges* (LSR).

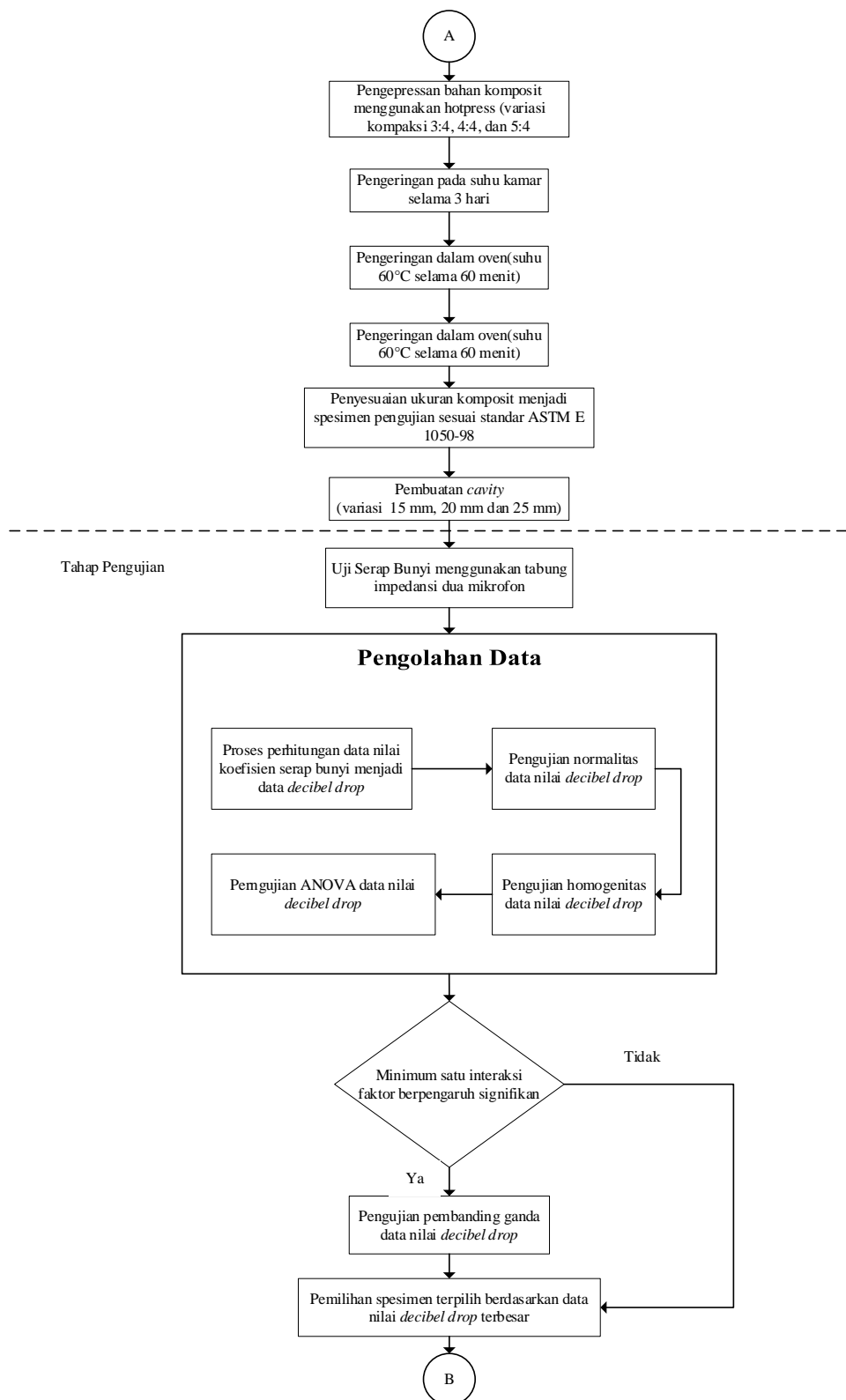
Hitung beda mean antar dua level (akan terbentuk ${}^kK_2 = k(k-1)/2$ pasangan), dimulai dari mean terbesar dengan mean terkecil. Bandingkan beda mean terbesar dan mean terkecil dengan LSR untuk $p=k$, Bandingkan beda *second largest* dan *next smallest* dengan LSR untuk $p=k-1$, begitu seterusnya hingga diperoleh kK_2 perbandingan.

BAB III METODE PENELITIAN

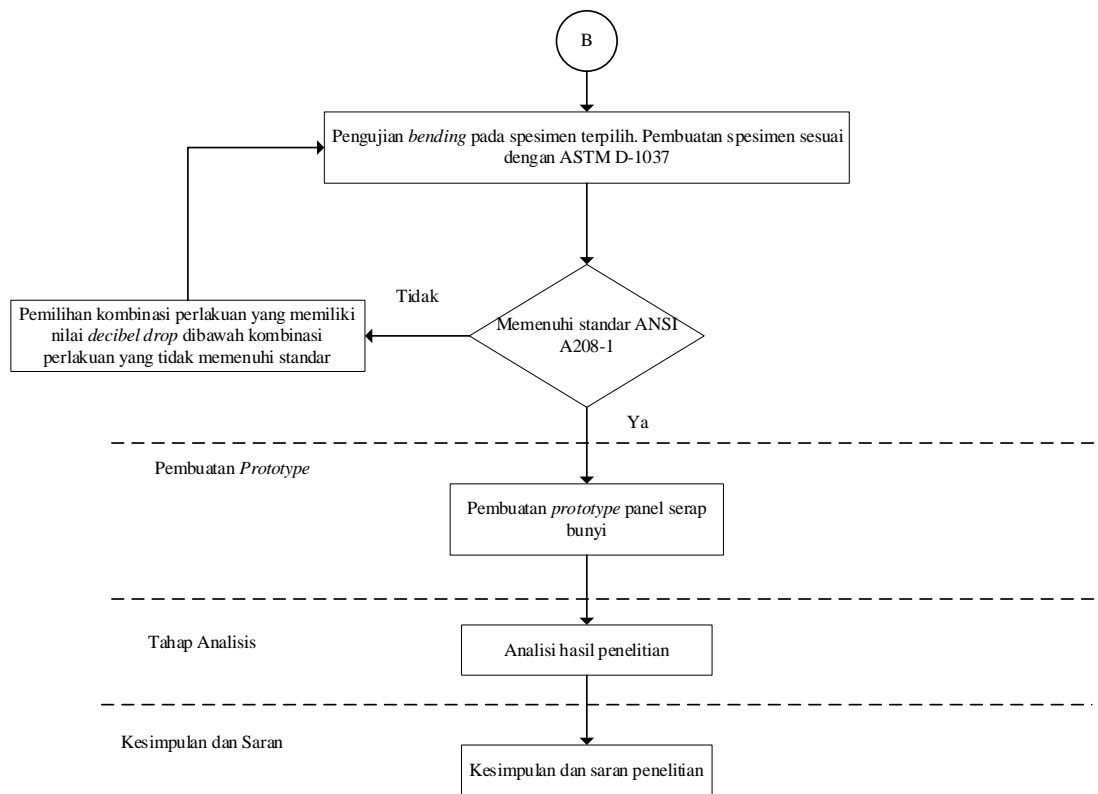
Bab ini menjelaskan mengenai tahapan penyelesaian masalah yang dilakukan saat penelitian. *Flowchart* penelitian dapat dijelaskan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 *Flowchart* Metodologi Penelitian



Gambar 3.1 Flowchart Metodologi Penelitian (lanjutan)



Gambar 3.1 *Flowchart* Metodologi Penelitian (lanjutan)

3.1 Tahap Identifikasi Masalah

Tahap identifikasi masalah adalah tahap pertama dari sebuah penelitian yang bertujuan untuk menetapkan tahap tahap penelitin serta tujuan akhir dari sebuah penelitian untuk menyelesaikan permasalahan. Tahap identifikasi masalah terdiri dari beberapa sub subbab di bawah ini sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Pada tahap studi literatur merupakan tahap mencari referensi permasalahan-permasalahan yang ada berikut solusinya dan mempelajari kedua hal tersebut untuk diimplementasikan pada penelitian ini, sehingga jelas apa saja yang harus dilakukan agar permasalahan tersebut dapat terpecahkan. Studi literatur dapat dilakukan dengan cara membaca paper atau jurnal yang berhubungan dengan permasalahan yang akan dipecahkan.

2. Penentuan Latar Belakang Masalah dan Perumusan Masalah

Tahap ini dilakukan penentuan latar belakang dan perumusan masalah yang merupakan gambaran dari penyelesaian masalah yang akan diteliti. Perumusan masalah berdasarkan identifikasi masalah yang telah dilakukan untuk memfokuskan perhatian pada penyelesaian masalah. Permasalahan pada penelitian ini adalah membuat panel serap bunyi yang memiliki harga terjangkau dan ramah lingkungan(*biodegradable*).

3. Penetapan Tujuan, Batasan, Manfaat dan Asumsi Penelitian

Tahap penentuan tujuan masalah digunakan untuk memberikan jawaban sementara dari pernyataan yang sudah dilakukan dalam perumusan masalah. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang komposit hybrid berbahan dasar ampas tebu dan abu sekam padi dengan mempertimbangkan faktor komposisi, kompaksi dan *cavity* menjadi produk panel akustik dengan nilai decible drop yang baik. Penentuan manfaat penelitian dilakukan untuk menghasilkan panel akustik dengan bahan komposit hybrid yang lebih ramah lingkungan yang dapat menjadi alternatif pengganti panel akustik berbahan serat sintetis. Penentuan batasan merupakan upaya membatasi ruang lingkup masalah yang terlalu luas sehingga penelitian lebih fokus untuk dilakukan. Penentuan asumsi untuk memberikan pengandaiaan pada faktor yang digunakan pada penelitian.

3.2 Tahap Deskripsi Masalah

Tahapan deskripsi masalah bertujuan untuk melakukan penjelasan yang lebih detail terhadap identifikasi masalah yang dihadapi. Tahap deskripsi masalah terdiri dari beberapa subbab sebagai berikut:

1. Identifikasi karakteristik dari panel serap bunyi

Karakteristik produk panel serap bunyi dibutuhkan sebagai peredam suara yang mengganggu kejernihan suara. Karakteristik produk panel serap bunyi yang dibutuhkan adalah yang berpori dan memiliki ketahanan fisis yang baik. Panel serap bunyi sebagai peredam suara sebaiknya memiliki nilai *decibel drop* yang tinggi.

2. Identifikasi ampas tebu dan abu sekam padi

Pada tahap ini dilakukan pengidentifikasian bahan ampas tebu dan abu sekam padi sebagai bahan panel serap bunyi yang akan dibuat dengan berdasarkan literatur yang sudah ada.

3. Identifikasi faktor berpengaruh terhadap *decibel drop* pada panel serap bunyi

Pada tahap ini dilakukan penentuan variabel yang berpengaruh terhadap nilai *decibel drop* pada panel serap bunyi dengan berdasarkan literature yang sudah ada. Penentuan variable berpengaruh terhadap *decibel drop* pada panel serap bunyi bertujuan untuk merancang eksperimen menggunakan *full factorial design*.

3.3 Tahap Pelaksanaan Penelitian

Tahap ini dilakukan pelaksanaan penelitian meliputi persiapan alat dan bahan serta pembuatan dan pengujian spesimen.

3.3.1 Persiapan Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam pembuatan spesimen adalah

Tabel 3.1 Alat Penunjang Penelitian

No.	Nama Alat	Keterangan
1.	<i>Hotpress</i>	Alat ini berfungsi sebagai alat penekan bahan hingga didapatkan ukuran yang diinginkan. Selain itu juga alat ini berfungsi untuk mengurangi kadar air yang ada dalam proses pembuatan spesimen berlangsung.
2.	Ember	Alat ini digunakan sebagai wadah yang dapat menampung bahan yang diperlukan, dalam keadaan belum tercampur maupun telah tercampur.
3.	Timbangan	Alat ini digunakan sebagai alat ukur berat dari masing-masing bahan hingga dicapai nilai yang diinginkan.

4.	Mixer	Alat ini digunakan sebagai alat aduk bahan-bahan yang telah dimasukkan kedalam ember.
5.	<i>Impedance Tube</i> Bruel and Kjaer type 4206 standart ASTM E1050-98	Alat ini digunakan sebagai alat ukur koefisien serap bunyi yang nantinya akan mengukur koefisien dari masing-masing spesimen. Alat ini terdiri atas tabung impedansi B&K 4206, dua mikrofon B&K tipe 4206, separangkat B&K PULSE Multi-analyzer System tipe 2825, komputer dengan Soft Pulse System, generator B&K tipe 3160, dan amplifier B&K tipe 2718.
6.	Molding	Alat ini digunakan sebagai cetakan untuk menghasilkan spesimen yang memiliki diameter seragam.
7.	<i>Crusher</i>	Alat ini digunakan sebagai penghancur bahan utama agar didapatkan ukuran partikel yang sesuai dengan kebutuhan.
8.	Ayakan <i>Mesh</i> 40	Alat ini digunakan sebagai penyaring partikel agar didapatkan partikel yang telah sesuai dengan ketentuan.
9.	Gerinda	Alat ini digunakan untuk menyesuaikan ukuran spesimen agar sesuai dengan ASTM E1050-98
10.	Bench Drill	Alat ini digunakan sebagaiudukan <i>hole saw</i> yang nantinya akan digunakan untuk membuat <i>cavity</i> .
11.	<i>Hole Saw</i>	Alat ini digunakan untuk membuat <i>cavity</i> pada spesimen.

b. Bahan

Bahan penunjang penelitian adalah sebagai berikut.

i. Sekam padi

- ii. Ampas tebu
- iii. Tepung ketan putih
- iv. Air

3.3.2 Pembuatan Spesimen

Langkah-langkah pembuatan spesimen adalah sebagai berikut:

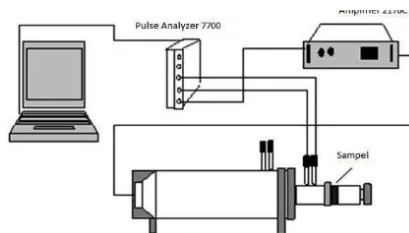
Eksperimen akan *me-running* 27 buah *treatment* dengan 5 replikasi untuk setiap *treatment*. Berikut adalah contoh alur pembuatan spesimen uji (komposisi abu sekam dan ampas tebu 90 : 10, kompaksi 3:4 , dan *cavity* 15 mm).

1. Pengolahan ampas tebu dilakukan dengan proses penghancuran(*crushing*) menggunakan mesin *crusher*. Proses penghancuran dilakukan hingga ampas tebu menjadi ukuran mesh 40.
2. Pengolahan sekam padi dilakukan dengan proses pembakaran. Proses pembakaran memerlukan waktu 1-3 jam hingga sekam padi berubah menjadi abu.
3. Menimbang berat ampas tebu dan abu sekam padi berdasarkan perbandingan komposisi 90 : 10 dengan menghitung masing-masing berat dengan volume spesimen yang diinginkan (tabung berdiameter 10 cm dan tinggi 2,5 cm)
4. Menimbang ketan putih sebanyak 10% dari berat ampas tebu dan abu sekam padi.
5. Menimbang air sebanyak 150% dari berat ampas tebu dan abu sekam padi.
6. Mencampur ampas tebu, abu sekam padi dan tepung ketan putih. Proses ini dilakukan guna mencampur ratakan bahan dasar komposit.
7. Menambahkan air ke dalam campuran. Air berguna untuk memasak ketan putih dalam proses pengepressan.
8. Campuran bahan dimasukkan ke dalam cetakan alat press.
9. Pengepressan menggunakan *hotpress*. Proses ini dilakukan guna memadatkan dan memanaskan campuran untuk merekatkan serat dari ampas tebu dan abu sekam padi menjadi komposit serap bunyi. Kompaksi yang digunakan 3:4.
10. Spesimen dibiarkan pada suhu kamar selama 3 hari agar kandungan air menguap secara alami.

11. Dilakukan *post cure* terhadap spesimen dengan pemanasan di dalam oven pada suhu 60°C selama 60 menit untuk mendapatkan ikatan sempurna komposisi bahan dan mengurangi kadar air.
12. Membuat komposit menjadi spesimen pengujian sesuai standar ASTM E 1050-98. Pada proses ini komposit dipotong sesuai ukuran dimensi spesimen yang dibutuhkan pada ASTM E 1050-98.
13. Membuat *cavity* pada spesimen dengan diameter 15 mm.

3.3.3 Pengujian Spesimen

Pada tahap ini dilakukan pengujian serap bunyi untuk mengetahui nilai koefisien serap bunyi dari masing-masing *treatment* yang berbeda. Pengujian dilakukan di Laboratorium *The Iwany Acoustic Research Group* (iARG) Program Studi Fisika Universitas Sebelas. Prosedur uji serap bunyi dilakukan berdasarkan standar ASTM E1050-98 dengan menggunakan peralatan berupa tanpa impedansi 2 mikrofon. Diagram rangkain alatnya ditunjukkan pada gambar 3.2 berikut ini:



Gambar 3.2 Diagram rangkaian alat ukur koefisien serap bunyi

Langkah-langkah uji serap bunyi menggunakan tabung impedansi 2 mikrofon adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan spesimen uji berbentuk lingkaran dengan diameter 10 cm dan ketebalan 2,5 cm.
2. Melepaskan pengunci pada tabung impedansi kemudian memasukkan spesimen ke dalam tabung dan mengunci tabung.
3. Melakukan penyetingan frekuensi gelombang bunyi yang digunakan menggunakan *software Pulse Labshop* melalui komputer.
4. Melakukan pengujian menggunakan *software Pulse Labshop* melalui komputer dan data grafik penyerapan bunyi akan tertampil pada computer.

3.4 Tahap Pengolahan Data

Tahap pengolahan data dilakukan setelah menentukan teknik desain eksperimen yang digunakan dalam penelitian. Pengolahan data dimulai dengan konversi nilai uji karakteristik data, uji ANOVA, dan uji pembandingan ganda.

1. Perhitungan Nilai *Decibel drop*

Proses perhitungan data koefisien bunyi menjadi data *decibel drop*. Proses ini dilakukan untuk menghitung data uji dari percobaan berupa data koefisien serap bunyi untuk dilakukan perhitungan menjadi data *decibel drop* dengan satuan *decibel*. Frekuensi yang diubah menjadi *decibel drop* yaitu 150 Hz, 300 Hz, 600 Hz dan 1200 Hz. Frekuensi tersebut ditetapkan dalam penelitian ini berdasarkan beberapa alasan:

- 150 Hz, mempengaruhi ketebalan dari sebuah instrumen yang biasanya akan menambah suara terdengar lebih bulat dan frekuensi disekitar 200 Hz menentukan keutuhan dari suara lokal
- 300 Hz, memberikan aksen untuk menambah kejernihan suara, terutama pada suara-suara vokal wanita sehingga dapat membuat suara menjadi lebih tebal dan jelas.
- 600 Hz, untuk instrument gitar, piano, dan vokal, *gain* dan *midrange frequency* ini lebih sering diturunkan. Menurunkan *gain* di frekuensi 600 Hz untuk *track* gitar akustik dapat membuatnya terdengar lebih jernih.
- 1200 Hz, sama halnya dengan nada-nada rendah dari *track rhythm guitar* yang juga dapat terdengar lebih memiliki kejernihan suara jika *track rhythm* tersebut berada di frekuensi 1200 Hz.

2. Pengujian Data Hasil Perhitungan *Decibel drop*

Pengujian data hasil perhitungan *decibel drop* dilakukan agar metode dalam penelitian dapat diyakini memberikan hasil/analisis yang valid. Adapun pengujian data yang harus dilakukan sebelum pengujian ANOVA, yaitu:

a. Uji Normalitas

Pengujian normalitas menggunakan data *decibel drop*. Perhitungan normalitas data *decibel drop* dilakukan guna menilai sebaran data pada sebuah kelompok data atau variable untuk mengetahui data berdistribusi normal atau

tidak normal. Uji normalitas dilakukan menggunakan uji normalitas Kolmogorov-Smirnov.

b. Uji Homogenitas

Perhitungan homogenitas menggunakan data *decible drop*. Perhitungan homogenitas data *decible drop* dilakukan guna menilai mengenai sama tidaknya variansi-variansi dua buah distribusi atau lebih untuk mengetahui data homogen atau tidak homogen. Uji homogenitas dilakukan menggunakan uji homogenitas Bartlet.

3. Uji ANOVA

Pengujian ANOVA menggunakan data *decible drop* untuk mendapatkan nilai signifikansi. Pengujian ANOVA dilakukan menggunakan data *decible drop* untuk mendapatkan nilai signifikansi dari faktor independen maupun faktor yang saling berhubungan. Pengujian ANOVA dapat dilakukan setelah data dinyatakan berdistribusi normal dan homogen.

4. Uji Pembandingan Ganda

Pengujian pembandingan ganda menggunakan data *decibel drop* untuk mendapatkan sejauh mana perbedaan yang terjadi dari masing-masing perlakuan dan juga untuk mengetahui jenis campuran yang terbaik dari nilai *decibel drop*. Pengujian pembandingan ganda dapat dilakukan setelah data dinyatakan signifikan di dalam pengujian ANOVA. Uji pembandingan ganda dilakukan menggunakan uji pembandingan ganda Student Newman Keuls.

3.5 Pemilihan Desain Panel Akustik Komposit Berdasarkan Nilai *Decibel drop*

Paling Maksimal

Pada tahap ini dilakukan pemilihan desain panel akustik dengan mempertimbangkan nilai *decibel drop* maksimal. Desain panel komposit yang dipilih adalah desain yang memiliki nilai *decibel drop* terbesar

3.5.1 Uji Bending

Pengujian ketahanan lentur berdasarkan pemilihan spesimen yang memiliki nilai *decibel drop* terbaik. Pengujian dilakukan di Laboratorium Sistem Kualiatas (LSK) Program Studi Teknik Industri Universitas Sebelas Maret. Pengujian ini dilakukan untuk

menguji sifat mekanik komposit spesimen yang telah dibuat. Pengujian *bending* dilakukan sesuai dengan standar ASTM D-1037. Standart papan partikel yang digunakan adalah ANSI A208-1 Particle Board. Apabila hasil yang didapatkan pada pengujian *bending* tidak memenuhi standart, maka dilakukan pengujian selanjutnya dengan nilai *decibel drop* dibawah nilai yang terbaik, sampai memenuhi standart papan partikel. Langkah-langkah uji *bending* sebagai berikut.

- a. Siapkan 4 spesimen untuk pengujian dengan ukuran 19,6 x 5 x 0,6 cm.
- b. Siapkan mesin *Torsee* untuk pelaksanaan pengujian.
- c. Pasang spesimen yang siap untuk diuji pada 2 titik tumpu dengan akurat dan pastikan indenter berada tepat ditengah-tengah kedua titik tumpu.
- d. Pasang *dial indicator* tepat pada posisi 0 mm yang berguna sebagai penghitung defleksi (1 putaran = 1 mm).
- e. Beban diberikan pada titik dimana indenter berada, lalu catat nilai defleksi dan beban sampai beban mencapai nilai maksimumnya.
- f. Hitung nilai rata-rata ketahanan lentur yang didapatkan setelah pengujian kepada semua spesimen selesai.

3.5.2 Pembuatan Prototype

Pada tahap ini dilakukan pembuatan prototype komposit papan partikel dari nilai *decibel drop* yang terpilih dan dilakukan perancangan panel serap bunyi, Tahap pembuatan *prototype* dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. *Prototype* papan komposit

Setelah didapatkan nilai *decibel drop* terbaik, kemudian dilakukan pembuatan komposit papan partikel dengan ukuran 20 x 20 x 2,5 cm sebanyak 18 buah yang nantinya akan digunakan sebagai bagian penyusun pada *prototype* panel serap bunyi.

2. Perancangan *prototype* panel serap bunyi

Pada *prototype* panel serap bunyi dibuat dengan ukuran 80 x 80 x 2,5 cm dan dilapisi dengan kain beludru seperti panel serap bunyi yang digunakan di studio band. *Prototype* ini akan diuji kemampuannya dalam meredam suara dari frekuensi 150 Hz, 300 Hz, 600 Hz dan 1200 Hz.

3. Percobaan

Pada tahap ini dilakukan percobaan pada prototype panel serap bunyi yang telah dibuat. Percobaan dilakukan pada kondisi bebas, maka prototype panel serap bunyi di letakkan diantara sumber suara dan sound level meter, dari percobaan ini akan diketahui berapa kemampuan prototype panel serap bunyi mampu meredam suara.

3.6 Tahap Analisis dan Interpretasi Hasil

Pada tahap ini akan dilakukan analisis dan interpretasi hasil penelitian dari pengujian spesimen komposit abu sekam padi dan ampas tebu. Informasi yang diperoleh dari hasil penelitian akan diinterpretasikan secara lebih luas agar dapat dikembangkan sebagai rekomendasi komposisi material spesimen terbaik berdasarkan nilai penyerapan suara yang terbaik

3.7 Kesimpulan dan Saran

Tahap ini merupakan tahap akhir dari penelitian. Tahapan ini berisi tentang kesimpulan yang didapatkan dari kegiatan selama penelitian. Selain itu juga terdapat saran untuk penelitian yang telah dilakukan serta saran yang merupakan masukan dari penulis untuk penelitian selanjutn

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini menguraikan proses pengumpulan data, pengolahan data hasil eksperimen dan uji bending komposit *hybrid* abu sekam padi dan ampas tebu.

4.1 PENGUMPULAN DATA

Pengumpulan data meliputi semua data yang diperoleh dari seluruh proses yang dilakukan dalam penelitian. Data diperoleh dari hasil pengujian serap bunyi yang dilakukan di Laboratorium *The Iwany Acoustic Research Group* (iARG) Program Studi Fisika Universitas Sebelas Maret.

4.1.1 Spesimen Uji Serap Bunyi

Spesimen untuk uji serap bunyi dibuat berdasarkan ukuran dalam ASTM E-1050-98 dengan diameter 10 cm. Spesimen uji memiliki beberapa variasi, antara lain:

- Variasi diameter *cavity* yaitu 15 mm, 20 mm, dan 25 mm
- Variasi komposisi ampas tebu : abu sekam padi yaitu 90:10, 70:30 dan 50:50.
- Variasi kompaksi yaitu 3:4, 4:4, dan 5:4. Kompaksi 3:4 berarti rasio pemadatan bahan dalam cetakan setinggi 2 cm dipadatkan hingga ketinggian 1,5 cm.



Gambar 4.1 Spesimen uji serap bunyi

4.1.2 Data Hasil Eksperimen

Data hasil eksperimen merupakan hasil pengukuran nilai koefisien serap bunyi spesimen komposit yang diperoleh dari pengujian dengan menggunakan alat pengukur serap bunyi metode tabung impedansi 2 mikrofon. (Disampaikan pada lampiran 1)

4.2 PENGOLAHAN DATA

Data hasil penelitian diolah untuk mendapatkan nilai koefisien serap bunyi terbaik. Pengolahan data menggunakan metode eksperimen dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu tahap uji normalitas, homogenitas, uji Anova, dan uji pembandingan ganda. Uji pembandingan ganda dilakukan jika terdapat faktor yang berpengaruh di dalam uji Anova.

4.2.1 *Noise Reduction Coefficient* (NRC)

Nilai *Noise Reduction Coefficient* (NRC) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$C = \frac{\alpha_{150} + \alpha_{300} + \alpha_{600} + \alpha_{1200}}{4}$$

Keterangan :

C = *Noise Reduction Coefficient* (NRC)

α_i = nilai koefisien serap bunyi pada frekuensi “i” Hertz

i = 150, 300, 600, dan 1200

Contoh perhitungan *Noise Reduction Coefficient* (NRC) dengan komposisi sekam padi 50% : ampas tebu 50%, (50 : 50), dengan kompaksi 3: 4, dan ukuran *cavity* 15 mm (lampiran 1) untuk pengulangan pertama adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} C &= \frac{\alpha_{150} + \alpha_{300} + \alpha_{600} + \alpha_{1200}}{4} \\ C &= \frac{0.036 + 0.144 + 0.376 + 0.893}{4} \\ C &= 0.362 \end{aligned}$$

Menggunakan cara yang sama, diperoleh NRC komposit sekam padi dan ampas tebu seperti pada tabel 4.2.

Tabel 4.1 Hasil perhitungan *Noise Reduction Coefficient* (NRC)

Komposisi	Kompaksi	Cavity	NRC				
			1	2	3	4	5
50 : 50	3 : 4	15 mm	0.362	0.365	0.362	0.364	0.362
		20 mm	0.286	0.290	0.295	0.287	0.292
		25 mm	0.306	0.302	0.309	0.308	0.310
	4 : 4	15 mm	0.333	0.331	0.341	0.340	0.339
		20 mm	0.276	0.277	0.284	0.277	0.274
		25 mm	0.276	0.282	0.281	0.280	0.281
	5 : 4	15 mm	0.303	0.308	0.305	0.307	0.308
		20 mm	0.266	0.273	0.268	0.272	0.270
		25 mm	0.247	0.245	0.247	0.251	0.245
70 : 30	3 : 4	15 mm	0.390	0.392	0.390	0.392	0.392
		20 mm	0.320	0.313	0.310	0.314	0.311
		25 mm	0.280	0.294	0.283	0.284	0.287
	4 : 4	15 mm	0.380	0.380	0.385	0.390	0.384
		20 mm	0.333	0.333	0.344	0.339	0.335
		25 mm	0.318	0.309	0.320	0.316	0.323
	5 : 4	15 mm	0.386	0.395	0.389	0.390	0.388
		20 mm	0.347	0.355	0.351	0.352	0.352
		25 mm	0.356	0.359	0.365	0.359	0.361
90 : 10	3 : 4	15 mm	0.383	0.388	0.384	0.388	0.391
		20 mm	0.383	0.379	0.384	0.385	0.382
		25 mm	0.355	0.357	0.354	0.361	0.365
	4 : 4	15 mm	0.317	0.319	0.322	0.319	0.320
		20 mm	0.291	0.293	0.296	0.298	0.285
		25 mm	0.282	0.286	0.285	0.291	0.284
	5 : 4	15 mm	0.250	0.252	0.248	0.245	0.248
		20 mm	0.199	0.204	0.206	0.197	0.194
		25 mm	0.210	0.218	0.216	0.211	0.215

4.2.2 Decibel drop

Dari nilai NRC dapat diperoleh nilai *decibel drop* dengan menggunakan persamaan berikut:

$$d = -20 \log_{10}(1 - C)$$

Keterangan :

d = *decibel drop*

C = *Noise Reduction Coefficient* (NRC)

Contoh perhitungan *decibel drop* dengan komposisi sekam padi 50% : ampas tebu 50%, dengan kompaksi 3: 4, dan ukuran *cavity* 15 mm pengulangan pertama adalah sebagai berikut :

$$d = -20 \log_{10}(1 - C)$$

$$d = -20 \log_{10}(1 - 0.362)$$

$$d = 3.91$$

Menggunakan cara yang sama, diperoleh nilai *decibel drop* komposit sekam padi dan ampas tebu seperti pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil perhitungan *decibel drop*

Komposisi	Kompaks	Cavity	Decibel Drop				
			1	2	3	4	5
50 : 50	3 : 4	15 mm	3.91	3.94	3.90	3.93	3.90
		20 mm	2.92	2.98	3.03	2.94	3.00
		25 mm	3.17	3.12	3.21	3.20	3.22
	4 : 4	15 mm	3.51	3.49	3.62	3.61	3.60
		20 mm	2.80	2.82	2.90	2.82	2.78
		25 mm	2.81	2.88	2.87	2.86	2.86
	5 : 4	15 mm	3.14	3.19	3.16	3.18	3.20
		20 mm	2.68	2.76	2.71	2.76	2.73
		25 mm	2.46	2.44	2.46	2.51	2.45
70 : 30	3 : 4	15 mm	4.29	4.32	4.29	4.32	4.32
		20 mm	3.35	3.26	3.23	3.27	3.24
		25 mm	2.86	3.02	2.89	2.90	2.94
	4 : 4	15 mm	4.15	4.16	4.22	4.30	4.21
		20 mm	3.52	3.51	3.66	3.60	3.55
		25 mm	3.33	3.21	3.35	3.30	3.39
	5 : 4	15 mm	4.24	4.36	4.29	4.30	4.26
		20 mm	3.70	3.81	3.76	3.77	3.77
		25 mm	3.82	3.86	3.94	3.87	3.88
90 : 10	3 : 4	15 mm	4.19	4.26	4.21	4.27	4.31
		20 mm	4.19	4.14	4.20	4.22	4.18
		25 mm	3.81	3.84	3.80	3.89	3.94
	4 : 4	15 mm	3.31	3.34	3.38	3.34	3.34
		20 mm	2.98	3.02	3.05	3.08	2.92
		25 mm	2.88	2.92	2.91	2.99	2.91
	5 : 4	15 mm	2.50	2.53	2.48	2.45	2.48
		20 mm	1.92	1.98	2.00	1.91	1.88
		25 mm	2.04	2.13	2.11	2.06	2.10

4.2.3 Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan terhadap nilai *decibel drop* (tabel 4.2). Uji normalitas digunakan untuk mengetahui nilai *decibel drop* tiap perlakuan terdistribusi secara

normal. Pengujian normalitas pada pembahasan ini dilakukan dengan menggunakan uji *Kolmogorof-Smirnov*. Hipotesis yang diuji adalah:

- $H_0 = 0$, nilai *decibel drop* berdistribusi normal
- $H_1 = 0$, nilai *decibel drop* tidak berdistribusi normal

Contoh perhitungan uji normalitas data dengan metode *Kolmogorof-Smirnov* untuk spesimen dengan perlakuan komposisi bahan 50 : 50 , kompaksi 3 : 4 dan *cavity* 15 mm sebagai berikut:

1. Mengurutkan nilai *decibel drop* dari yang terkecil.

3.897, 3.907, 3.907, 3.932, 3.945

2. Menghitung rata-rata nilai *decibel drop* (\bar{x}) menggunakan persamaan 4.1 dan standar deviasi (s) menggunakan persamaan 4.2.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (4.1)$$

$$\bar{x} = \frac{3.897 + 3.907 + 3.907 + 3.932 + 3.945}{5}$$

$$\bar{x} = 3.917$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum x_i - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}{n - 1}} \quad (4.2)$$

$$s = \sqrt{\frac{3.897^2 + 3.907^2 + 3.907^2 + 3.932^2 + 3.945^2 - \frac{(383.5)^2}{5}}{5 - 1}}$$

$$s = 0.018$$

3. Mentransformasikan nilai *decibel drop* ke nilai baku (z) menggunakan persamaan 4.3.

$$z_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{s} \quad (4.3)$$

$$z_1 = \frac{(3.897 - 3.917)}{0.018} = -1.424$$

$$z_2 = \frac{(3.907 - 3.917)}{0.018} = -0.522$$

$$z_3 = \frac{(3.907 - 3.917)}{0.018} = -0.522$$

$$z_4 = \frac{(3.932 - 3.917)}{0.018} = 0.849$$

$$z_5 = \frac{(3.945 - 3.917)}{0.014} = 1.509$$

4. Menentukan nilai probabilitas F_t berdasarkan sebaran normal baku sebagai probabilitas pengamatan. Menggunakan tabel standar luas wilayah di bawah kurva normal.

$$F_t(z_1) = 0.1424$$

$$F_t(z_2) = 0.301$$

$$F_t(z_3) = 0.301$$

$$F_t(z_4) = 0.802$$

$$F_t(z_5) = 0.934$$

5. Menentukan nilai probabilitas harapan kumulatif (F_s)

$$F_{s_i} = i/n$$

$$F_{s_1} = 1/5 = 0.2$$

$$F_{s_2} = 2/5 = 0.4$$

$$F_{s_3} = 3/5 = 0.6$$

$$F_{s_4} = 4/5 = 0.8$$

$$F_{s_5} = 5/5 = 1$$

6. Menentukan nilai maksimum dari selisih absolute F_t dan F_s .

$$D_i = |F_{t_i} - F_{s_i}|$$

$$D_1 = |F_{t_1} - F_{s_1}| = |0.1424 - 0.2| = 0.058$$

$$D_2 = |F_{t_2} - F_{s_2}| = |0.301 - 0.4| = 0.099$$

$$D_3 = |F_{t_3} - F_{s_3}| = |0.301 - 0.6| = 0.299$$

$$D_4 = |F_{t_4} - F_{s_5}| = |0.802 - 0.8| = 0.002$$

$$D_5 = |F_{t_5} - F_{s_5}| = |0.934 - 1| = 0.066$$

Nilai maksimum selisih absolut (D) adalah 0.299

7. Membandingkan nilai maksimum dari selisih absout F_t dan F_s (D) dengan nilai L_{tabel} . Hasil uji normalitas data nilai koefisien serap bunyi ditunjukan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil uji normalitas data nilai koefisien serap bunyi

Komposisi	Kompaksi	Cavity	L Hitung	L Tabel	H ₀	Kesimpulan
50 : 50	3 : 4	15 mm	0.30	0.56	Diterima	Normal
		20 mm	0.19	0.56	Diterima	Normal
		25 mm	0.36	0.56	Diterima	Normal
	4 : 4	15 mm	0.25	0.56	Diterima	Normal
		20 mm	0.38	0.56	Diterima	Normal
		25 mm	0.17	0.56	Diterima	Normal
	5 : 4	15 mm	0.15	0.56	Diterima	Normal
		20 mm	0.15	0.56	Diterima	Normal
		25 mm	0.31	0.56	Diterima	Normal
70 : 30	3 : 4	15 mm	0.26	0.56	Diterima	Normal
		20 mm	0.31	0.56	Diterima	Normal
		25 mm	0.25	0.56	Diterima	Normal
	4 : 4	15 mm	0.56	0.56	Diterima	Normal
		20 mm	0.25	0.56	Diterima	Normal
		25 mm	0.16	0.56	Diterima	Normal
	5 : 4	15 mm	0.21	0.56	Diterima	Normal
		20 mm	0.17	0.56	Diterima	Normal
		25 mm	0.16	0.56	Diterima	Normal
90 : 10	3 : 4	15 mm	0.23	0.56	Diterima	Normal
		20 mm	0.16	0.56	Diterima	Normal
		25 mm	0.21	0.56	Diterima	Normal
	4 : 4	15 mm	0.26	0.56	Diterima	Normal
		20 mm	0.15	0.56	Diterima	Normal
		25 mm	0.29	0.56	Diterima	Normal
	5 : 4	15 mm	0.23	0.56	Diterima	Normal
		20 mm	0.24	0.56	Diterima	Normal
		25 mm	0.19	0.56	Diterima	Normal

Dari uji normalitas, didapatkan nilai *decibel drop* dari setiap perlakuan berdistribusi normal.

4.2.4 Uji Homogenitas

Uji homogenitas dilakukan terhadap nilai *decibel drop* (tabel 4.2). Uji homogenitas dilakukan dengan metode *Bartlett*. Hipotesis yang diuji adalah:

- $H_0 = \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2 = \sigma_5^2$, nilai *decibel drop* memiliki variansi yang sama(homogen)

- $H_1 = \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \neq \sigma_3^2 \neq \sigma_4^2 \neq \sigma_5^2$, nilai *decibel drop* tidak memiliki variansi yang sama (tidak homogen)

Perhitungan uji homogenitas data dengan metode *Bartlett* untuk spesimen dengan replikasi 1 sebagai berikut:

1. Menghitung total replikasi 1 nilai *decibel drop* menggunakan persamaan 4.4.

$$\sum_{i=1}^n x = x_1 + x_2 + \dots + x_n \quad (4.4)$$

$$\sum_{i=1}^n x = 3.907 + 2.920 + 3.167 + \dots + 2.042$$

$$\sum_{i=1}^n x = 88.462$$

2. Menghitung total kuadrat replikasi 1 nilai *decibel drop* menggunakan persamaan 4.5.

$$\sum_{i=1}^n x^2 = x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2 \quad (4.5)$$

$$\sum_{i=1}^n x^2 = (3.907)^2 + (2.920)^2 + (3.167)^2 + \dots + (2.042)^2$$

$$\sum_{i=1}^n x^2 = 301.52$$

3. Menghitung Varian (S^2) menggunakan persamaan 4.6.

$$S_i^2 = \frac{n(\sum_i^n x_i^2) - (\sum_i^n x_i)^2}{n(n-1)} \quad (4.6)$$

$$S_i^2 = \frac{27(301.52) - (88.462)^2}{27(27-1)}$$

$$S_i^2 = 0.449$$

4. Mengelompokkan data varians kedalam tabel perhitungan varian, untuk melakukan perhitungan total varian. Hasil perhitungan homogenitas nilai *decibel drop* ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil perhitungan homogenitas data *decibel drop*

Pengulangan	db = (n-1)	Varian (S^2)	db S^2	log S^2	db log S^2
1	26	0.44924	11.6802	-0.3475	-9.04
2	26	0.44153	11.4798	-0.3550	-9.23
3	26	0.44383	11.5397	-0.3528	-9.17
4	26	0.47114	12.2496	-0.3269	-8.50
5	26	0.47173	12.2650	-0.3263	-8.48
Total	130	2.27748	59.2144	-1.7085	-44.4209

5. Menghitung varian gabungan dengan menggunakan persamaan 4.7.

$$S_g^2 = \frac{\sum_{i=1}^n db S_i^2}{\sum_{i=1}^n db} \quad (4.7)$$

$$S_g^2 = \frac{59.211}{130}$$

$$S_g^2 = 0.455$$

$$\log s_g^2 = \log 0.455$$

$$\log s_g^2 = -0.342$$

6. Menghitung nilai satuan Bartlett (B) menggunakan persamaan 4.8.

$$B = \left(\sum_{i=1}^n db \right) (\log s_g^2) \quad (4.8)$$

$$B = 130 * -0.342$$

$$B = -44.397$$

7. Menghitung nilai Chi Kuadrat hitung menggunakan persamaan 4.9.

$$\chi_h^2 = (\ln 10) \{ B - (db \log s_g^2) \} \quad (4.9)$$

$$\chi_h^2 = 2.3 * (-44.397 - (-44.4209))$$

$$\chi_h^2 = 0.0547$$

8. Menentukan nilai Chi Kuadrat tabel (tabel Chi kuadrat, lampiran 2)

$$\chi_t^2(0.05, 5 - 1) = 16.15$$

9. Kesimpulan dari perhitungan uji homogenitas Bartlett

Chi kuadrat hitung lebih kecil dari chi kuadrat tabel maka data yang dihitung adalah data yang homogen.

Dari uji homogenitas, didapatkan nilai koefisien serap bunyi dari setiap kelompok spesimen homogen. Nilai koefisien serap bunyi dinyatakan homogen karena Chi kuadrat hitung lebih kecil dari Chi kuadrat tabel.

4.2.3 Uji ANOVA *Decibel drop*

Uji ANOVA dilakukan untuk mengetahui faktor secara interaksi maupun independent berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*. Uji ANOVA dilakukan setelah data *decibel drop* dinyatakan berdistribusi normal dan homogen. Penelitian ini menggunakan nilai $\alpha = 0.05$ dengan taraf kepercayaan 95%. Hipotesis yang diuji dalam analisis variansi adalah:

1. $H_0 \alpha_A^2 = 0$, faktor komposisi tidak berpengaruh terhadap nilai *decibel drop*
 $H_0 \alpha_A^2 \neq 0$, faktor komposisi berpengaruh terhadap nilai *decibel drop*
2. $H_0 \alpha_B^2 = 0$, faktor kompaksi tidak berpengaruh terhadap nilai *decibel drop*
 $H_0 \alpha_B^2 \neq 0$, faktor kompaksi berpengaruh terhadap nilai *decibel drop*
3. $H_0 \alpha_C^2 = 0$, faktor *cavity* tidak berpengaruh terhadap nilai *decibel drop*
 $H_0 \alpha_C^2 \neq 0$, faktor *cavity* berpengaruh terhadap nilai *decibel drop*
4. $H_0 \alpha_D^2 = 0$, faktor komposisi dan kompaksi tidak berpengaruh terhadap nilai *decibel drop*.
 $H_0 \alpha_D^2 \neq 0$, faktor komposisi dan kompaksi berpengaruh terhadap nilai *decibel drop*
5. $H_0 \alpha_E^2 = 0$, faktor komposisi dan *cavity* tidak berpengaruh terhadap nilai *decibel drop*
 $H_0 \alpha_E^2 \neq 0$, faktor komposisi dan *cavity* berpengaruh terhadap nilai *decibel drop*
6. $H_0 \alpha_F^2 = 0$, faktor kompaksi dan *cavity* tidak berpengaruh terhadap nilai *decibel drop*
 $H_0 \alpha_F^2 \neq 0$, faktor kompaksi dan *cavity* berpengaruh terhadap nilai *decibel drop*
7. $H_0 \alpha_G^2 = 0$, faktor komposisi, kompaksi dan *cavity* tidak berpengaruh terhadap nilai *decibel drop*

$H_0 \alpha_G^2 \neq 0$, faktor komposisi, kompaksi dan *cavity* berpengaruh terhadap nilai *decibel drop*

Model matematik yang dipakai dalam analisis ini, adalah:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + C_k + AB_{ij} + AC_{ik} + BC_{jk} + ABC_{ijk} + \varepsilon_{m(ijk)} \quad (4.10)$$

Keterangan

Y_{ijk} = Menyatakan hasil pengamatan karena pengaruh faktor bersama antara taraf ke i faktor komposisi, taraf ke j faktor kompaksi dan taraf ke k *cavity*

A_i = Pengaruh faktor komposisi ke i, dengan i = 1, 2

B_j = Pengaruh faktor kompaksi ke j, dengan i = 1, 2, 3

C_k = Pengaruh faktor *cavity* ke k, dengan k = 1, 2, 3

AB_{ij} = Pengaruh faktor komposisi ke i dan faktor kompaksi ke j, dengan i = 1, 2 dan j = 1, 2, 3

AC_{ik} = Pengaruh faktor komposisi ke i dan faktor *cavity* ke k, dengan i = 1, 2 dan k = 1, 2, 3

BC_{kj} = Pengaruh faktor kompaksi j dan faktor *cavity* ke k, dengan j = 1, 2, 3 dan k = 1, 2, 3

$\varepsilon_{m(ijk)}$ = Efek sebenarnya dari unit eksperimen ke 1 dalam perlakuan (ijk)

Uji ANOVA dilakukan menggunakan nilai koefisien serap bunyi pada tabel 4.10.

Perhitungan uji Anova pada spesimen faktor komposisi dan kompaksi sebagai berikut:

1. Menghitung jumlah kuadrat nilai pengamatan menggunakan persamaan 4.11.

$$\sum x^2 = \sum_{i=1}^A x_i^2 + \sum_{j=1}^B x_j^2 \dots + \sum_{k=1}^C x_k^2 \quad (4.11)$$

$$\sum x^2 = 3.91^2 + 3.94^2 + \dots + 2.10^2$$

$$\sum x^2 = 1535.143$$

2. Menghitung nilai faktor koreksi (Fk) menggunakan persamaan 4.12.

$$Fk = \frac{[\sum_{i=1}^A x_i + \sum_{j=1}^B x_j + \sum_{k=1}^C x_k]^2}{\sum n} \quad (4.12)$$

$$Fk = \frac{(3.91 + 3.94 + \dots + 2.10)^2}{135}$$

$$Fk = 1475.895$$

3. Menghitung jumlah kuadrat total (SS_{total}) menggunakan persamaan 4.13.

$$SS_{total} = \sum x^2 - Fk \quad (4.13)$$

$$SS_{total} = 1535.143 - 1475.895$$

$$SS_{total} = 59.248$$

4. Menghitung jumlah kuadrat interaksi ($SS_{treatment}$) menggunakan persamaan 4.14.

$$SS_{treatment} = \frac{\sum x^2}{n} - Fk \quad (4.14)$$

$$SS_{treatment} = \frac{7674.609}{5} - 1475.895$$

$$SS_{treatment} = 59.027$$

5. Menghitung jumlah kuadrat galat (SS_{error}) menggunakan persamaan 4.15.

$$SS_{error} = SS_{total} - SS_{treatment} \quad (4.15)$$

$$SS_{error} = 59.248 - 59.027$$

$$SS_{error} = 0.221$$

6. Melakukan pengelompokan data berdasarkan interaksi faktorial. Hasil perhitungan berdasarkan interaksi faktor komposisi dan kompaksi ditunjukkan pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Hasil perhitungan berdasarkan interaksi faktor komposisi dan kompaksi

Komposisi	Kompaksi			Total
	3 : 4	4 : 4	5 : 4	
50 : 50	50.37	46.23	41.83	138.43
70 : 30	52.49	55.45	59.62	167.55
90 : 10	61.45	46.37	32.57	140.39
Total	164.30	148.04	134.02	446.37

7. Menghitung jumlah kuadrat antar faktorial kompaksi (SS_A) menggunakan persamaan 4.16.

$$SS_A = \frac{\sum_{i=1}^A x_i^2}{(njk)} - FK \quad (4.16)$$

$$SS_A = \frac{(138.43^2 + 167.55^2 + 140.39^2)}{(5 * 3 * 3)} - 1475.895$$

$$SS_A = 11.779$$

8. Menghitung jumlah kuadrat antar faktorial komposisi dan kompaksi (SS_{AB}) menggunakan persamaan 4.17.

$$SS_{AB} = \frac{\sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^B x_{ij}^2}{(nk)} - Fk - SS_A - SS_B \quad (4.17)$$

$$SS_{AB} = \frac{(50.37^2 + 46.23^2 + \dots + 32.57^2)}{(5 * 3)} - 1475.895 - 11.779 - 10.2067$$

$$SS_{AB} = 21.745$$

9. Menghitung jumlah kuadrat antar faktorial komposisi, kompaksi dan *cavity* (SS_{ABC}) menggunakan persamaan 4.18.

$$SS_{ABC} = \frac{\sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^B \sum_{k=1}^C x_{ijk}^2}{(n)} - FK - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} \quad (4.18)$$

$$- SS_{AC} - SS_{BC}$$

$$SS_{ABC} = \frac{(19.58^2 + 14.88^2 + \dots + 10.45^2)}{(5)} - 1475.895 - 11.779 - \dots$$

$$- 0.415$$

$$SS_{ABC} = 1.596$$

10. Menghitung *Mean Square* faktorial kompaksi (MS_B) menggunakan persamaan 4.19.

$$MS_B = \frac{SS_B}{Df_B} \quad (4.19)$$

$$MS_B = \frac{10.21}{2}$$

$$MS_B = 5.105$$

11. Menghitung F_{ratio} kompaksi (F_B) menggunakan persamaan 4.20.

$$F_B = \frac{MS_B}{MS_{error}} \quad (4.20)$$

$$F_B = \frac{5.105}{0.002}$$

$$F_B = 2490$$

12. Membandingkan nilai F_{hit} dengan F_{tab}

Keputusan terhadap hipotesis nol didasarkan pada nilai F_{Hit} , yakni hipotesis nol (H_0) ditolak jika $F_{\text{Hit}} > F_{\text{Tab}}$ dan diterima jika $F_{\text{Hit}} < F_{\text{Tab}}$, diperoleh dari tabel distribusi F kumulatif.

Tabel 4.6 Hasil perhitungan ANOVA nilai koefisien serap bunyi

Faktor	df	SS	MS	Fhit	Ftab ($\alpha=0.05$)	Keterangan
Perlakuan	26	1475.90	56.76519			
Komposisi	2	11.78	5.88925	2873.486	3.080386863	Signifikan
Kompaksi	2	10.21	5.103314	2490.012	3.080386863	Signifikan
Cavity	2	12.04	6.021029	2937.784	3.080386863	Signifikan
Komposisi*Kompaksi	4	21.75	5.436283	2663.562	2.455766817	Signifikan
Komposisi*Cavity	4	1.24	0.310764	153.8291	2.455766817	Signifikan
Kompaksi*Cavity	4	0.41	0.103743	45.5692	2.455766817	Signifikan
Seluruh Faktor	8	1.60	0.199547	93.24303	2.025247482	Signifikan
Galat	108	0.22	0.00205			
Total	134	59.25				

Keputusan yang diambil terhadap hasil perhitungan ANOVA pada Tabel 4.14 data nilai *decibel drop* sebagai berikut:

1. Ditinjau dari faktor komposisi (A), nilai F_{Hitung} lebih besar daripada nilai F_{Tabel} , sehingga H_0 tidak diterima. Dapat disimpulkan bahwa faktor komposisi mempengaruhi nilai *decibel drop*.
2. Ditinjau dari faktor kompaksi (B), nilai $F_{\text{Hitung}} > F_{\text{Tabel}}$, sehingga H_0 tidak diterima. Dapat disimpulkan bahwa faktor kompaksi mempengaruhi nilai *decibel drop*.
3. Ditinjau dari faktor *cavity* (C), nilai $F_{\text{Hitung}} > F_{\text{Tabel}}$, sehingga H_0 tidak diterima. Dapat disimpulkan bahwa faktor *cavity* mempengaruhi nilai *decibel drop*.
4. Ditinjau dari faktor komposisi dan kompaksi (AB), nilai $F_{\text{Hitung}} > F_{\text{Tabel}}$, sehingga H_0 tidak diterima. Dapat disimpulkan bahwa faktor komposisi dan kompaksi mempengaruhi nilai *decibel drop*.

5. Ditinjau dari faktor komposisi dan *cavity* (AC), nilai $F_{Hitung} > F_{Tabel}$, sehingga H_0 tidak diterima. Dapat disimpulkan bahwa faktor komposisi dan *cavity* mempengaruhi nilai *decibel drop*.
6. Ditinjau dari faktor kompaksi dan *cavity* (BC), nilai $F_{Hitung} > F_{Tabel}$, sehingga H_0 tidak diterima. Dapat disimpulkan bahwa faktor kompaksi dan *cavity* mempengaruhi nilai *decibel drop*.
7. Ditinjau dari faktor komposisi kompaksi dan *cavity* (ABC), nilai $F_{Hitung} > F_{Tabel}$, sehingga H_0 tidak diterima. Dapat disimpulkan bahwa komposisi kompaksi dan *cavity* mempengaruhi nilai *decibel drop*.

4.2.4 Pengujian Pembandingan Ganda

Sub Subbab ini menjelaskan mengenai uji pembandingan ganda. Uji pembandingan ganda dilakukan untuk mengetahui level yang berpengaruh dari masing masing faktor guna memberikan perbedaan nilai *decibel drop* serta menentukan level terbaik dari masing masing faktor. Uji pembandingan ganda yang digunakan adalah Uji *Student Newman-Keuls* (SNK). Berikut ini adalah hasil dari uji pembandingan ganda dengan metode SNK:

1. Faktor Temperatur

Uji *Student Newman-Keuls* (SNK) terhadap faktor komposisi dilakukan untuk perhitungan hasil uji serap bunyi, dimana hasil eksperimen menunjukkan bahwa faktor komposisi berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*. Berikut ini adalah perhitungan uji SNK:

- a. Menyusun rata-rata nilai *decibel drop* faktor komposisi. Hasil Rata-rata nilai *decibel drop* faktor komposisi ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil perhitungan rata-rata nilai *decibel drop* faktor komposisi

Komposisi	50 : 50 (A1)	70 : 30 (A2)	90 : 10 (A3)
Rata-rata	3.08	3.72	3.12

- b. Nilai $MS_{galat} = 0.002$ dan $df_{galat} = 108$
- c. Nilai *error standar mean level*

$$s = \sqrt{\frac{MS_{error}}{k}} = 0.0261$$

- d. Perhitungan *Least Significant Range* (LSR) diperoleh dengan mengalikan *significant range* dengan *error standar*. Hasil perhitungan LSR ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil perhitungan LSR faktor komposisi

Signifikan	2	3
rate	2.804	3.362
LSR	0.073	0.088

- e. Menghitung beda (selisih) antar perlakuan secara berpasangan dan membandingkan dengan nilai LSR. Jika nilai selisih > LSR menyatakan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara rata-rata interaksi tersebut. Hasil perhitungan selisih setiap perlakuan setiap perlakuan pada faktor komposisi ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil perhitungan selisih setiap perlakuan faktor komposisi

	A1	A3	A2
A1			
A3	0.044		
A2	0.647	0.604	

Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa A1 berbeda signifikan dengan A3 karena selisih rata rata dari A1 dengan A3 lebih besar dari nilai LSR. A2 berbeda signifikan dengan A3 karena selisih rata rata dari A2 dengan A1 lebih besar dari nilai LSR. A2 berbeda signifikan dengan A1 karena selisih rata rata dari A2 dengan A1 lebih besar dari nilai LSR.

2. Faktor Kompaksi

Uji Student Newman-Keuls (SNK) terhadap faktor kompaksi dilakukan untuk perhitungan hasil uji serap bunyi, dimana hasil eksperimen menunjukkan bahwa faktor kompaksi berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*. Berikut ini adalah perhitungan uji SNK:

- a. Menyusun rata-rata faktor kompaksi. Rata-rata nilai *decibel drop* pada faktor kompaksi ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil perhitungan rata-rata nilai *decibel drop* faktor kompaksi

Kompaksi	3 : 4 (B1)	4 : 4 (B2)	5 : 4 (B3)
Rata-rata	3.65	3.29	2.98

- b. Nilai $MS_{\text{galat}} = 0.002$ dan $df_{\text{galat}} = 108$

- c. Nilai *error standar mean level*

$$s = \sqrt{\frac{MS_{\text{error}}}{k}} = 0.0261$$

- d. Perhitungan *Least Significant Range* (LSR) diperoleh dengan mengalikan *significant range* dengan *error standar*. Hasil perhitungan LSR pada faktor kompaksi ditunjukkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Hasil perhitungan LSR pada faktor kompaksi

Signifikan	2	3
rate	2.804	3.362
LSR	0.073	0.088

- e. Menghitung beda (selisih) antar level secara berpasangan dan membandingkan dengan nilai LSR. Jika nilai selisih $>$ LSR menyatakan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara rata-rata interaksi tersebut. Hasil perhitungan selisih setiap perlakuan pada faktor kompaksi ditunjukkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Hasil perhitungan selisih setiap perlakuan faktor kompaksi

	B3	B2	B1
B3			
B2	0.214		
B1	0.575	0.531	

Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa B2 berbeda signifikan dengan B3 karena selisih rata rata dari B2 dengan B3 lebih besar dari nilai LSR. B1 berbeda secara signifikan terhadap B3 serta B2 karena selisih rata rata dari B1 dengan B2 dan B3 lebih kecil dari nilai LSR.

3. Faktor *Cavity*

Uji Student Newman-Keuls (SNK) terhadap faktor *cavity* dilakukan untuk perhitungan hasil serap bunyi, dimana hasil eksperimen menunjukkan bahwa faktor *cavity* berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*. Berikut ini adalah perhitungan uji SNK:

- a. Menyusun rata-rata faktor *cavity*. Rata-rata nilai *decibel drop* pada faktor *cavity* ditunjukkan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Hasil perhitungan rata-rata nilai *decibel drop* faktor *cavity*

Cavity	15mm (C1)	20mm (C2)	25mm (C3)
Rata-rata	3.73	3.14	3.05

- b. Nilai $MS_{\text{galat}} = 0.013$ dan $df_{\text{gaat}} = 108$

- c. Nilai *error standar mean level*

$$s = \sqrt{\frac{MS_{\text{error}}}{k}} = 0.0667$$

- d. Perhitungan *Least Significant Range* (LSR) diperoleh dengan mengalikan *significant range* dengan *error standar*. Perhitungan LSR pada faktor *cavity* ditunjukkan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.14 Hasil perhitungan LSR pada faktor *cavity*

Signifikan rate	2	3
	2.804	3.362
LSR	0.073	0.088

- e. Menghitung beda (selisih) antar perlakuan secara berpasangan dan membandingkan dengan nilai LSR. Jika nilai selisih $>$ LSR menyatakan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara rata-rata interaksi tersebut. Hasil perhitungan selisih setiap perlakuan pada faktor *cavity* ditunjukkan pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Hasil perhitungan selisih setiap perlakuan faktor *cavity*

	C2	C3	C1
C2			
C3	0.062		
C1	0.659	0.616	

Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa C1 berbeda signifikan dengan C2 dan C3 karena selisih rata rata dari C1 dengan C2 serta C3 lebih besar dari nilai LSR. C3 berbeda secara signifikan terhadap C2 karena selisih rata rata dari C1 dengan C2 serta C3 lebih besar dari nilai LSR.

4. Faktor Komposisi dan Kompaksi

Uji Student Newman-Keuls (SNK) terhadap faktor komposisi dan kompaksi dilakukan untuk perhitungan hasil uji serap bunyi, dimana hasil eksperimen menunjukkan bahwa faktor komposisi dan kompaksi berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*. Berikut ini adalah perhitungan untuk keperluan uji SNK:

a. Menyusun rata-rata nilai *decibel drop* berdasarkan faktor komposisi dan kompaksi.

Hasil rata-rata nilai *decibel drop* pada faktor komposisi dan kompaksi Tabel 4.15.

Tabel 4.16 Hasil perhitungan rata-rata nilai *decibel drop* faktor komposisi dan kompaksi

Komposisi	Kompaksi		
	3 : 4 (B1)	4 : 4 (B2)	5 : 4 (B3)
50 : 50 (A1)	3.36	3.08	2.79
70 : 30 (A2)	3.50	3.70	3.97
90 : 10 (A3)	4.10	3.09	2.17

b. Nilai $MS_{\text{galat}} = 0.002$ dan $df_{\text{galat}} = 108$

c. Nilai *error standar mean level*

$$s = \sqrt{\frac{MS_{\text{error}}}{k}} = 0.015$$

d. Perhitungan *Least Significant Range* (LSR) diperoleh dengan mengalikan *significant range* dengan *error standar*. Hasil perhitungan LSR pada faktor komposisi dan kompaksi ditunjukkan pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Hasil perhitungan LSR pada faktor komposisi dan kompaksi

Signifikan rate	2	3	4	5	6	7	8	9
LSR	2.804	3.362	3.674	3.926	4.106	4.252	4.375	4.480
	0.042	0.051	0.055	0.059	0.062	0.064	0.066	0.068

e. Menghitung beda (selisih) antar level secara berpasangan dan membandingkan dengan nilai LSR. Jika nilai selisih > LSR menyatakan bahwa terdapat perbedaan

yang signifikan antara rata-rata interaksi tersebut. Hasil perhitungan selisih setiap perlakuan pada faktor komposisi dan kompaksi ditunjukkan pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Hasil perhitungan selisih setiap perlakuan faktor komposisi dan kompaksi

	A3B3	A1B3	A1B2	A3B2	A1B1	A2B1	A2B2	A2B3	A3B1
A3B3									
A1B3	0.617								
A1B2	0.910	0.293							
A3B2	0.920	0.302	0.009						
A1B1	1.186	0.569	0.276	0.267					
A2B1	1.328	0.710	0.417	0.408	0.141				
A2B2	1.525	0.908	0.615	0.605	0.339	0.197			
A2B3	1.803	1.186	0.893	0.883	0.617	0.475	0.278		
A3B1	1.925	1.308	1.015	1.005	0.739	0.597	0.400	0.122	

Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa kombinasi faktor komposisi dan kompaksi berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*, kecuali A3B2 dengan A1B2 karena selisih rata rata dari masing masing level lebih kecil dari nilai LSR

5. Faktor Komposisi dan *Cavity*

Uji Student Newman-Keuls (SNK) terhadap faktor komposisi dan *cavity* dilakukan untuk perhitungan hasiluji serap bunyi, dimana hasil eksperimen menunjukkan bahwa faktor komposisi dan *cavity* berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*. Berikut ini adalah perhitungan untuk keperluan uji SNK:

- Menyusun rata-rata uji serap bunyi faktor komposisi dan *cavity*. Perhitungan rata-rata nilai *decibel drop* pada faktor komposisi dan *cavity* diurutkan dari kecil ke besar ditunjukkan pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Hasil perhitungan rata-rata nilai *decibel drop* faktor komposisi dan *cavity*

Komposisi	<i>Cavity</i>		
	15mm (C1)	20mm (C2)	25mm (C3)
50 : 50 (A1)	3.55	2.84	2.83
70 : 30 (A2)	4.27	3.53	3.37
90 : 10 (A3)	3.36	3.04	2.96

- Nilai $MS_{\text{galat}} = 0.002$ dan $df_{\text{gaat}} = 108$

- Nilai *error standar mean level*

$$s = \sqrt{\frac{MS_{error}}{k}} = 0.015$$

- d. Perhitungan *Least Significant Range* (LSR) diperoleh dengan mengalikan *significant range* dengan *error standar*. Hasil perhitungan LSR pada faktor komposisi dan *cavity* ditunjukkan pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Hasil perhitungan LSR pada faktor komposisi dan *cavity*

Signifikan rate	2	3	4	5	6	7	8	9
LSR	0.042	0.051	0.055	0.059	0.062	0.064	0.066	0.068

- e. Menghitung beda (selisih) antar level secara berpasangan dan membandingkan dengan nilai LSR. Jika nilai selisih > LSR menyatakan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara rata-rata interaksi tersebut. Hasil perhitungan selisih setiap perlakuan pada faktor temperatur dan lama waktu ditunjukkan pada Tabel 4.20

Tabel 4.21 Hasil perhitungan selisih setiap perlakuan faktor komposisi dan *cavity*

	A1C3	A1C2	A2C3	A3C2	A3C1	A2C3	A2C2	A1C1	A2C1
A1C3									
A1C2	0.009								
A2C3	0.122	0.113							
A3C2	0.211	0.202	0.089						
A3C1	0.525	0.515	0.402	0.313					
A2C3	0.537	0.527	0.414	0.326	0.012				
A2C2	0.692	0.683	0.570	0.481	0.168	0.156			
A1C1	0.718	0.709	0.596	0.507	0.194	0.181	0.026		
A2C1	1.463	1.453	1.340	1.251	0.938	0.926	0.770	0.744	

Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa kombinasi faktor komposisi dan *cavity* berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*, kecuali A1C2 dengan A1C3 dan A2C3 dengan A3C2 karena selisih rata rata dari masing masing level lebih kecil dari nilai LSR

6. Faktor Kompaksi dan *Cavity*

Uji Student Newman-Keuls (SNK) terhadap faktor kompaksi dan *cavity* dilakukan untuk perhitungan hasil uji serap bunyi, dimana hasil eksperimen menunjukkan bahwa

faktor kompaksi dan *cavity* berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*. Berikut ini adalah perhitungan untuk keperluan uji SNK:

- a. Menyusun rata-rata uji serap bunyi faktor kompaksi dan *cavity*. Perhitungan rata-rata nilai *decibel drop* pada faktor kompaksi dan *cavity* diurutkan dari kecil ke besar ditunjukkan pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 Hasil perhitungan rata-rata nilai *decibel drop* faktor kompaksi dan *cavity*

Komposisi	<i>Cavity</i>		
	15mm (C1)	20mm (C2)	25mm (C3)
3 : 4 (B1)	4.16	3.48	3.11
4 : 4 (B2)	3.70	3.13	3.03
5 : 4 (B3)	3.32	2.81	2.81

- b. Nilai $MS_{\text{galat}} = 0.002$ dan $df_{\text{galat}} = 108$

- c. Nilai *error standar mean level*

$$s = \sqrt{\frac{MS_{\text{error}}}{k}} = 0.015$$

- d. Perhitungan *Least Significant Range* (LSR) diperoleh dengan mengalikan *significant range* dengan *error standar*. Hasil perhitungan LSR pada faktor kompaksi dan *cavity* ditunjukkan pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23 Hasil perhitungan LSR pada faktor kompaksi dan *cavity*

Signifikan rate	2	3	4	5	6	7	8	9
LSR	2.804	3.362	3.674	3.926	4.106	4.252	4.375	4.480
	0.042	0.051	0.055	0.059	0.062	0.064	0.066	0.068

- e. Menghitung beda (selisih) antar level secara berpasangan dan membandingkan dengan nilai LSR. Jika nilai selisih > LSR menyatakan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara rata-rata interaksi tersebut. Hasil perhitungan selisih setiap perlakuan pada faktor temperatur dan lama waktu ditunjukkan pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24 Hasil perhitungan selisih setiap perlakuan faktor kompaksi dan *cavity*

	A1C3	A1C2	A2C3	A3C2	A3C1	A2C3	A2C2	A1C1	A2C1
A1C3									
A1C2	0.009								
A2C3	0.122	0.113							
A3C2	0.211	0.202	0.089						
A3C1	0.525	0.515	0.402	0.313					
A2C3	0.537	0.527	0.414	0.326	0.012				
A2C2	0.692	0.683	0.570	0.481	0.168	0.156			
A1C1	0.718	0.709	0.596	0.507	0.194	0.181	0.026		
A2C1	1.463	1.453	1.340	1.251	0.938	0.926	0.770	0.744	

Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa kombinasi faktor kompaksi dan *cavity* berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*, kecuali B3C3 dengan B3C2 dan B2C3 dengan B2C2 karena selisih rata rata dari masing masing level lebih kecil dari nilai LSR

7. Faktor Komposisi, Kompaksi dan *Cavity*

Uji Student Newman-Keuls (SNK) terhadap faktor komposisi, kompaksi dan *cavity* dilakukan untuk perhitungan hasil uji serap bunyi, dimana hasil eksperimen menunjukkan bahwa faktor komposisi dan *cavity* berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*. Berikut ini adalah perhitungan untuk keperluan uji SNK:

a. Menyusun rata-rata uji serap bunyi faktor komposisi, kompaksi dan *cavity*.

Perhitungan rata-rata nilai *decibel drop* pada faktor komposisi, kompaksi dan *cavity* diurutkan dari kecil ke besar ditunjukkan pada Tabel 4.25.

Tabel 4.25 Hasil perhitungan rata-rata nilai *decibel drop factor* komposisi kompaksi dan *cavity*

Komposisi	Kompaksi	Cavity		
		15mm (C1)	20mm (C2)	25mm (C3)
50 : 50 (A1)	3 : 4 (B1)	0.76	0.57	0.60
	4 : 4 (B2)	0.60	0.47	0.48
	5 : 4 (B3)	0.47	0.37	0.36
70 : 30 (A2)	3 : 4 (B1)	0.86	0.63	0.53
	4 : 4 (B2)	0.76	0.59	0.57
	5 : 4 (B3)	0.65	0.55	0.60
90 : 10 (A3)	3 : 4 (B1)	0.64	0.63	0.66
	4 : 4 (B2)	0.52	0.45	0.48
	5 : 4 (B3)	0.39	0.26	0.30

b. Nilai $MS_{\text{galat}} = 0.013$ dan $df_{\text{gaat}} = 108$

c. Nilai *error standar mean level*

$$s = \sqrt{\frac{MS_{\text{error}}}{k}} = 0.0222$$

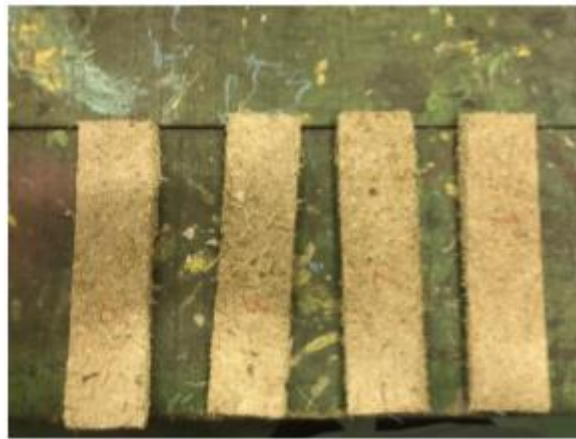
d. Perhitungan *Least Significant Range* (LSR) diperoleh dengan mengalikan *significant range* dengan *error standar*. Hasil perhitungan LSR pada faktor komposisi, kompaksi dan *cavity* ditunjukkan pada lampiran 3

e. Menghitung beda (selisih) antar level secara berpasangan dan membandingkan dengan nilai LSR. Jika nilai selisih > LSR menyatakan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara rata-rata interaksi tersebut. Hasil perhitungan selisih setiap perlakuan pada faktor komposisi, kompaksi dan *cavity* ditunjukkan pada lampiran 4.

Dari hasil perhitungan pada lampiran 4 didapatkan bahwa kombinasi seluruh faktor berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*, kecuali A3B3C1 dengan A1B3C3, A3B2C3 dengan A2B1C3, A1B1C3 dengan A1B3C1, A1B2C1 dengan A3B2C1, A2B2C2 dengan A1B2C1, A2B3C3 dengan A3B1C3, A2B2C1 dengan A3B1C2, A2B1C1 dengan A2B3C1 karena selisih rata rata dari masing masing level lebih kecil dari nilai LSR. Nilai *decibel drop* tertinggi dari interaksi antara faktor A, B dan C adalah sebesar 4.305 dB dimana merupakan hasil dari kombinasi komposisi abu sekam padi 30% dan ampas tebu 70% dengan kompaksi 3 : 4 dan *cavity* 15 mm.

4.3 UJI BENDING

Langkah pengujian selanjutnya yaitu uji *bending* terhadap spesimen serap bunyi. Ukuran spesimen yang diuji sesuai dengan ASTM D-1037 (**Gambar 4.2**). Pengujian dilakukan terhadap spesimen yang memiliki nilai *decibel drop* tertinggi, yang didapatkan dari pengujian pembandingan ganda yaitu spesimen yang terbuat dari 30% ampas tebu dan 70% abu sekam padi, serta yang memiliki perbandingan kompaksi sebesar 3:4 , dan ukuran *cavity* sebesar 15 mm.



Gambar 4.2 Spesimen Uji Bending

Ketika pengujian, spesimen diletakkan di atas mesin lentur dengan tiga titik tumpu. Satu titik tumpu dari atas, dan dua titik tumpu dari bawah spesimen.

Dari pengujian tersebut diperoleh data hasil eksperimen dalam satuan MPa yang merupakan nilai *modulus of rupture* (MOR). (Tabel 4.20). Uji *bending* dilakukan di Laboratorium Sistem Kualitas Teknik Industri UNS.

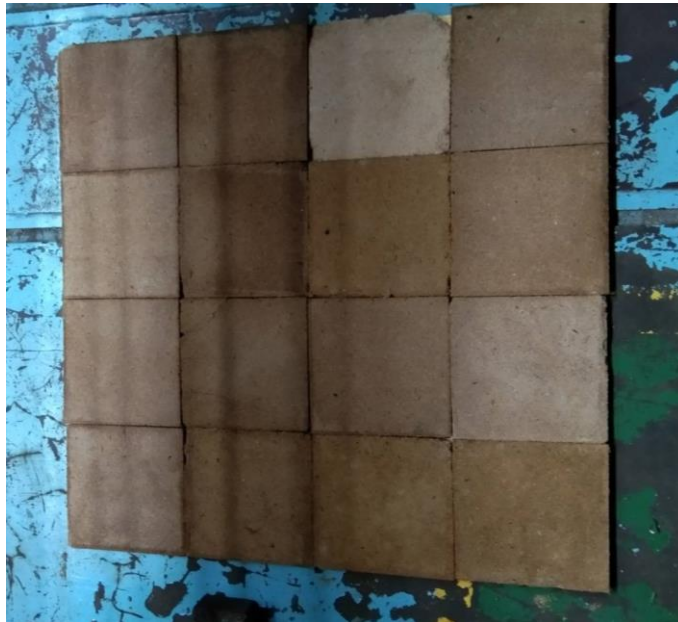
Tabel 4.26 Hasil Uji *Bending*

Pengulangan	Lebar	Tebal	Jarak sangga	Max Force	Bending Strength	Rata-rata
	mm	mm	mm	N	Mpa	Mpa
1	50	6,5	150	33,2	3,54	3,51
2	49	6,5	150	30	3,26	
3	49	6,3	150	29,8	3,45	
4	48	6	150	29	3,78	

Dari Tabel 4.20 didapatkan hasil pengujian *bending* dengan gaya maksimal rata-rata 30,5 N memiliki nilai MOR sebesar 3,51 Mpa. Menurut standar ANSI A208.1-1999, hasil pengujian tersebut dikategorikan dalam kelas LD – 1 yang dapat digunakan sebagai *core* papan partikel.

4.4 PROTOTYPE

Prototype panel akustik dibuat dari spesimen yang telah terbukti dapat digunakan sebagai *core* papan partikel menurut standar ANSI A208.1-1999, dengan ukuran 25 cm x 25 cm (sesuai cetakan yang tersedia), yang disusun menjadi suatu papan panel akustik berukuran 100 cm x 100 cm. (Gambar 4.5).



Gambar 4.3 Prototype Panel Akustik dari Komposit Abu Sekam Padi dan Ampas Tebu

4.5 PERCOBAAN PANEL AKUSTIK

Pada subbab ini akan menjelaskan mengenai percobaan pada panel akustik dengan komposit abu sekam padi dan ampas tebu.

4.5.1 Peralatan dan Bahan Yang Digunakan

Sebelum percobaan dilakukan, ada beberapa alat dan bahan yang harus disiapkan untuk mendukung berlangsungnya percobaan. Berikut alat dan bahan yang digunakan saat percobaan berlangsung :

1. Panel Akustik

Panel akustik merupakan material berbentuk panel peredam ruangan yang dapat mengurangi terjadinya echo (gema) dan reverbration (suara dengung) di dalam sebuah ruangan seperti studio rekaman, home theater, ruang auditorium, ruang rapat dan sebagainya. Pada penelitian ini, panel akustik menggunakan komposit abu sekam padi dan ampas tebu



Gambar 4.4 Panel akustik Dengan Komposit Sekam Padi dan Ampas Tebu

2. *Sound level meter*

Sound level meter merupakan suatu perangkat alat uji yang diciptakan untuk mengukur seberapa tingkat atau level yang berasal dari kebisingan suara.



Gambar 4.5 *Sound level meter*

3. *Speaker*

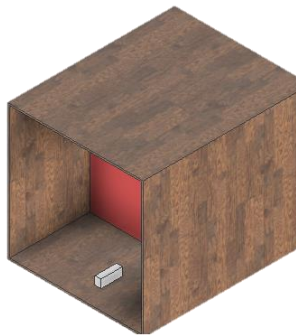
Speaker merupakan perangkat keras output yang berfungsi mengeluarkan hasil pemrosesan oleh CPU berupa audio/suara.

4. *Laptop*

Laptop merupakan perangkat keras yang berguna sebagai input pada speaker dan mengatur frekuensi yang akan dihasilkan oleh speaker dengan menggunakan aplikasi “*Tone Generator*”.

5. *Kotak pengujian*

Kotak pengujian merupakan alat atau tempat yang digunakan dalam proses pengujian prototype yang terbuat dari bahan triplek.



Gambar 4.6 *Kotak pengujian*

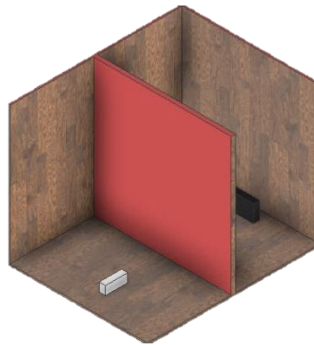
4.5.2 **Langkah Percobaan**

Pada penelitian ini, percobaan dilakukan dengan melihat dan membandingkan penurunan tingkat kebisingan suara sebelum dan sesudah menggunakan panel akustik komposit abu sekam padi dan ampas tebu. Langkah-langkah percobaan panel akustik adalah sebagai berikut :

1. Mengatur frekuensi pada laptop sebesar 150 Hz
2. Mengukur intensitas bunyi pada jarak 70 cm dari *speaker* menggunakan *sound level meter*.
3. Memberi penyekat berupa panel akustik menggunakan komposit abu sekam padi dan ampas tebu pada jarak 40 cm dari *speaker*.
4. Mengukur intensitas bunyi menggunakan *sound level meter* pada jarak 30 cm dari *speaker*.
5. Mengulangi langkah 2 sampai 5 dengan mengubah frekuensi menjadi 300 Hz, 600 Hz dan 1200 Hz.



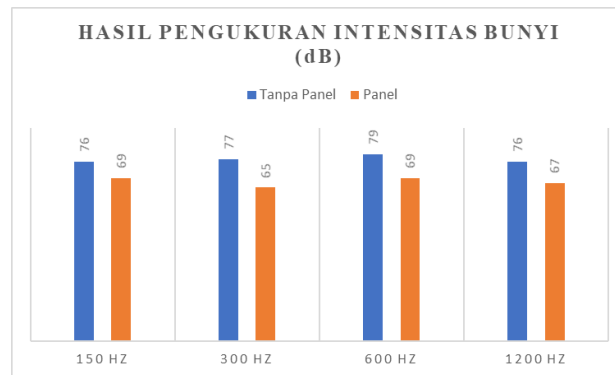
Gambar 4.7 Pengujian nilai *decibel drop* tanpa menggunakan panel komposit



Gambar 4.8 Pengujian nilai *decibel drop* menggunakan panel komposit

4.5.3 Data Percobaan

Setelah dilakukan percobaan pada frekuensi 150 Hz, 300 Hz, 600 Hz, dan 1200 Hz didapatkan intensitas bunyi sebelum ada panel dan setelah ada panel ditunjukkan pada gambar 4.29.



Gambar 4.9 Diagram hasil pengukuran instensitas bunyi

Berdasarkan diagram diatas, dapat diamati bahwa pada percobaan sebelum dan sesudah ada panel intensitas bunyi mengalami penurunan pada frekuensi 150 Hz sebesar 7 dB, frekuensi 300 Hz sebesar 12 dB, frekuensi 600 Hz sebesar 10 dB dan frekuensi 1200 Hz sebesar 9 dB.

BAB V

ANALISIS HASIL PENELITIAN

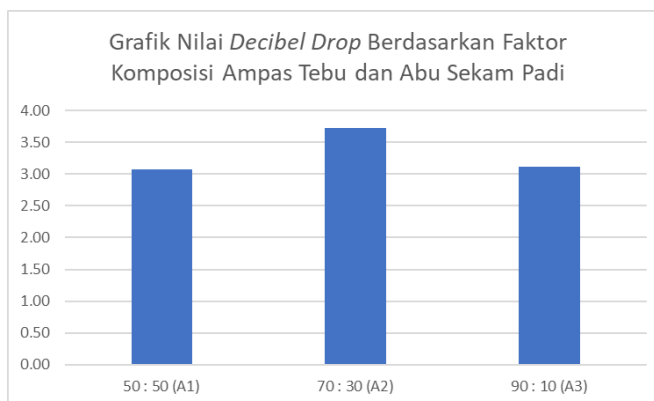
Pada bab ini akan diuraikan mengenai analisis terhadap hasil pengolahan data. Pembahasan mengenai analisis hasil pengujian serap bunyi, analisis uji *bwnding* dan analisis pengujian panel akustik berbahan ampas tebu dan abu sekam padi.

5.1 Hasil Pengujian Serap Bising

Analisis hasil pengujian serap bising yang meliputi analisis pengaruh faktor komposisi ampas tebu dan abu sekam padi, kompaksi, diameter *cavity*, serta interaksi dua faktor maupun tiga faktor terhadap nilai *decibel drop*.

5.1.1 Analisis Faktor Komposisi Ampas Tebu dan Abu Sekam Padi terhadap Nilai *Decibel drop*

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan uji ANOVA yang membuktikan bahwa faktor komposisi ampas tebu dan abu sekam padi berpengaruh terhadap nilai *decibel drop*. Kemudian dilakukan uji pembandingan ganda dengan metode SNK didapatkan bahwa pada komposisi 70% ampas tebu dan 30% abu sekam padi memberikan perbedaan signifikan terhadap nilai *decibel drop*. Hasil rata-rata nilai *decibel drop* dengan faktor komposisi abu sekam padi dan ampas tebu terdapat pada gambar 5.1 berikut ini:



Gambar 5.1 Grafik nilai *decibel drop* berdasarkan faktor komposisi ampas tebu dan abu sekam padi

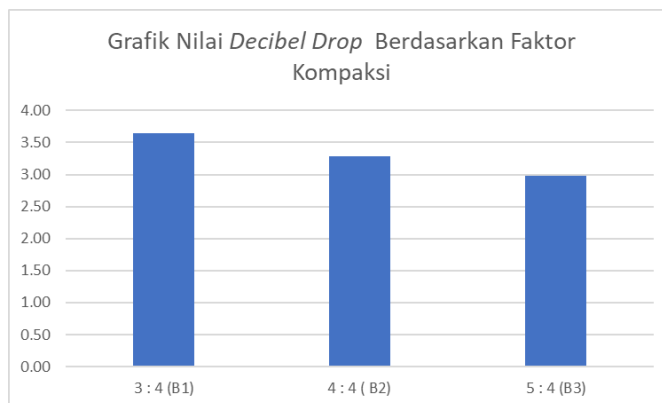
Grafik nilai *decibel drop* pada gambar 5.1 menunjukkan bahwa rata-rata nilai *decibel drop* dengan faktor komposisi ampas tebu 50% dan abu sekam padi 50% , ampas tebu 70% dan abu

sekam padi 30%, serta ampas tebu 90% dan abu sekam padi 10% berturut-turut adalah 3,08 ; 3,72 ; dan 3,12.

Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Peng, L., dkk (2015) yang menyatakan bahwa ketika densitas dan resistivitas aliran udara meningkat, koefisien penyerapan bising rata-rata pertama-tama meningkat dan kemudian menurun. Ketika kerapatan komposit lebih rendah jika dibandingkan dengan densitas idealnya maka akan ada rongga yang lebih banyak dan lebih besar didalam komposit tersebut sehingga menimbulkan lebih sedikit refleksi dan refraksi gelombang akustik sehingga akan memudahkan gelombang akustik untuk merambat melalui material. Sedangkan, Ketika densitas lebih tinggi jika dibandingkan dengan densitas idealnya, maka akan menimbulkan resistivitas aliran yang terlalu tinggi sehingga Sebagian besar energi akustik dipantulkan ke permukaan daripada ditransmisikan sehingga sifat penyerapan bisingnya menurun. Menurut Setyanto dkk (2020) Foto makro menunjukkan bahwa semakin besar persentase abu sekam akan memberikan dampak yang signifikan terhadap peningkatan koefisien penyerapan kebisingan (α) spesimen sel akustik, Penambahan abu sekam padi berguna untuk membentuk rongga baru pada spesimen, yang akan memperbesar rongga penyerapan kebisingan.

5.1.2 Analisis Faktor Kompaksi Terhadap Nilai *Decibel drop*

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil uji ANOVA yang membuktikan bahwa faktor kompaksi berpengaruh terhadap nilai *decibel drop*. Kemudian dilakukan uji pembandingan ganda dengan metode SNK didapatkan bahwa pada kompaksi 3:4 memberikan perbedaan signifikan terhadap nilai *decibel drop*. Hasil rata-rata nilai *decibel drop* pada faktor kompaksi terdapat pada gambar 5.2 berikut ini:



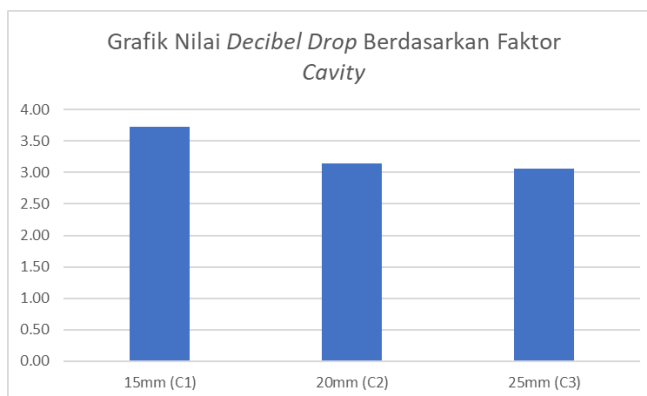
Gambar 5.2 Grafik nilai *decibel drop* berdasarkan faktor kompaksi

Grafik nilai *decibel drop* pada gambar 5.1 menunjukkan bahwa rata-rata nilai *decibel drop* dengan faktor kompaksi 3 : 4 , 4 : 4 , dan 5 : 4 berturut-turut adalah 3,65 ; 3,29 ; dan 2.98.

Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Setyanto dkk (2013) yang menyatakan dalam volume yang sama, tetapi memiliki total berat yang berbeda di dalam cetakan akan mempengaruhi kepadatan partikel, sehingga kompaksi yang lebih kecil memiliki kecendrungan berpori lebih besar dari kompaksi yang lebih besar. Permukaan sel akustik dengan kompaksi yang kecil terlihat begitu lemah, dan itu berpori yang dapat dimasukkan oleh frekuensi suara sehingga akan berdampak pada koefisien penyerapan suara (α) lebih tinggi dari yang lain. Berkurangnya tekanan pemadatan yang diterapkan menghasilkan peningkatan porositas dan penurunan resistivitas aliran udara material, oleh karena itu koefisien serap bunyi yang lebih baik (Ben Mansour , dkk., 2017)

5.1.3 Analisis Faktor *Cavity* Terhadap Nilai *Decibel drop*

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil uji ANOVA yang membuktikan bahwa faktor diameter *cavity* berpengaruh terhadap nilai *decibel drop*. Kemudian dilakukan uji pembandingan ganda dengan metode SNK didapatkan bahwa pada diameter *cavity* 15mm memberikan perbedaan signifikan terhadap nilai *decibel drop*. Hasil rata-rata nilai *decibel drop* dengan kompaksi terdapat pada gambar 5.3 berikut ini:



Gambar 5.3 Grafik nilai *decibel drop* berdasarkan faktor *cavity*

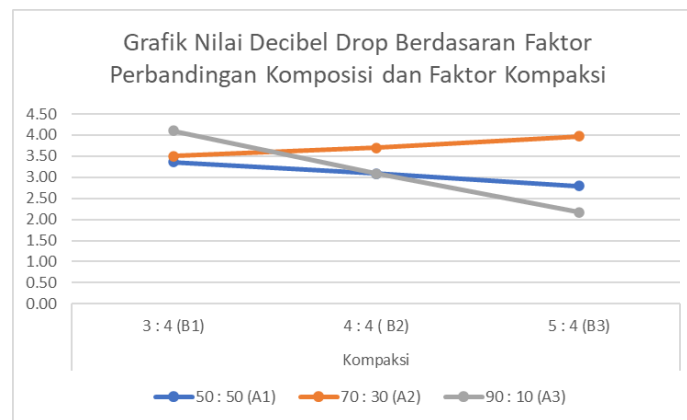
Grafik nilai *decibel drop* pada gambar 5.3 menunjukkan bahwa rata-rata nilai *decibel drop* pada factor diameter *cavity* 15 mm, diameter *cavity* 20 mm, dan diameter *cavity* 25 mm berturut-turut adalah sebesar 3,73 dB, 3,14 dB, dan 3,05 dB.

Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Peng, L., dkk (2015) dan Setyanto dkk (2020) yang menyatakan bahwa semakin kecil diameter atau ukuran *cavity* yang digunakan maka

semakin besar kemampuan benda menyerap bising pada frekuensi rendah. Dan juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Arjunan(2019) yang mengatakan nilai koefisien serap bunyi tertinggi ditunjukkan oleh *cavity* yang memiliki diameter terkecil. Nilai koefisien yang lebih rendah pada diameter yang lebih besar.

5.1.4 Analisis interaksi Faktor Komposisi dan Faktor Kompaksi

Selain pengujian pada masing masing faktor, pengujian juga dilakukan pada interaksi antar faktor uji. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa interaksi faktor komposisi dengan faktor kompaksi berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*. Interaksi antara faktor komposisi dan faktor kompaksi dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut ini:

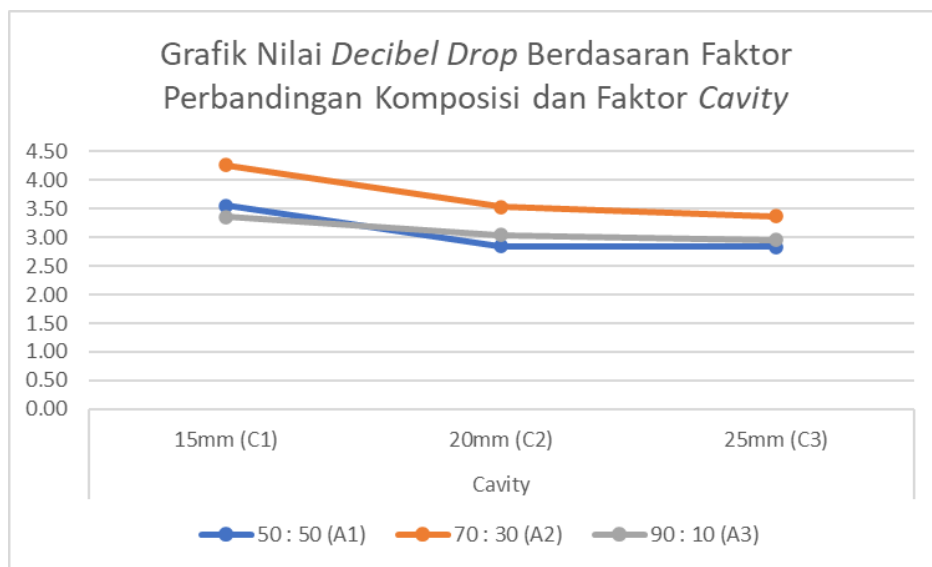


Gambar 5.4 Grafik nilai *decibel drop* berdasarkan faktor perbandingan komposisi dan kompaksi

Berdasarkan gambar 5.4 dapat diketahui bahwa kompaksi 3:4 memiliki nilai *decibel drop* tertinggi diantara kompaksi 4:4 dan kompaksi 5:4. Serta komposisi 70:30 memiliki nilai *decibel drop* tertinggi jika dibandingkan dengan komposisi 50:50 dan 90:10. Nilai *decibel drop* tertinggi didapatkan pada kombinasi komposisi ampas tebu dan abu sekam padi 70:30 dengan faktor kompaksi 3:4 dengan nilai sebesar 4.10 dB. Hal ini telah sesuai dengan uji SNK yang dilakukan.

5.1.5 Analisis interaksi Faktor Komposisi dan Faktor *Cavity*

Pengujian dilakukan pada interaksi antar faktor komposisi dan *cavity*. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa interaksi faktor komposisi dan faktor *cavity* berpengaruh signifikan. Grafik hubungan antara faktor tersebut ditunjukkan dalam gambar 5.5 dibawah ini.

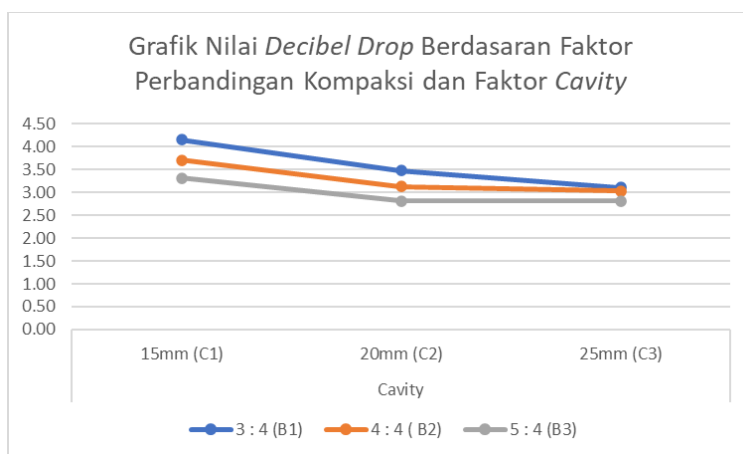


Gambar 5.5 Grafik nilai *decibel drop* berdasarkan faktor perbandingan komposisi dan *cavity*

Berdasarkan gambar 5.5 dapat diketahui bahwa *cavity* 15 cm memiliki nilai *decibel drop* tertinggi diantara *cavity* 20 cm dan 25 cm. Serta komposisi 70:30 memiliki nilai *decibel drop* tertinggi jika dibandingkan dengan komposisi 50:50 dan 90:10. Nilai *decibel drop* tertinggi didapatkan pada kombinasi komposisi ampas tebu dan abu sekam padi 70:30 dengan faktor *cavity* 15 cm dengan nilai sebesar 4.27 dB. Hal ini telah sesuai dengan uji SNK yang dilakukan.

5.1.6 Analisis interaksi Faktor Kompaksi dan Faktor *Cavity*

Pengujian dilakukan pada interaksi antar faktor kompaksi dan *cavity*. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa interaksi faktor komposisi dan faktor *cavity* berpengaruh signifikan. Grafik hubungan antara faktor tersebut ditunjukkan dalam gambar 5.6 dibawah ini.

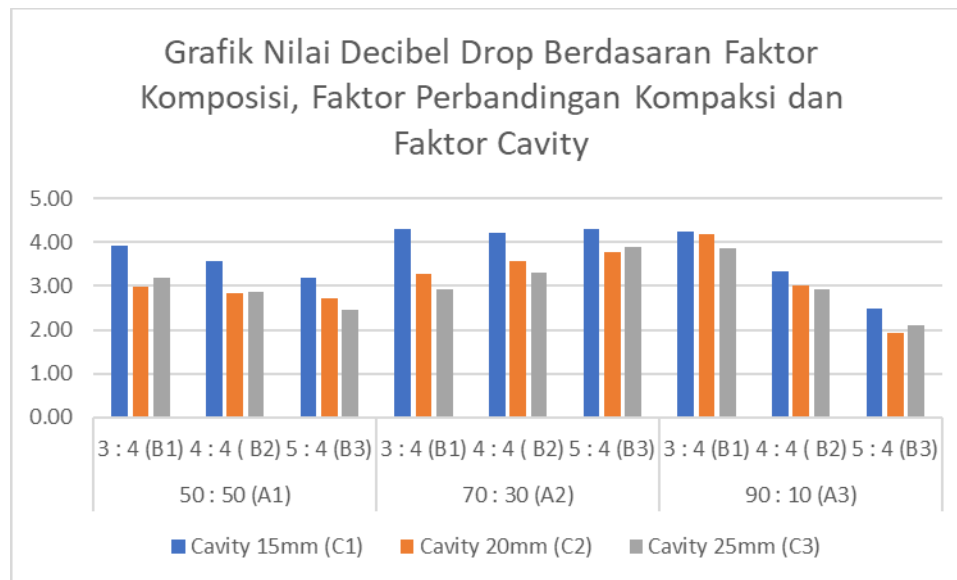


Gambar 5.6 Grafik nilai *decibel drop* berdasarkan faktor kompaksi dan *cavity*

Berdasarkan gambar 5.5 dapat diketahui bahwa *cavity* 15 cm memiliki nilai *decibel drop* tertinggi diantara *cavity* 20 cm dan 25 cm. Serta kompaksi 3:4 memiliki nilai *decibel drop* tertinggi diantara kompaksi 4:4 dan kompaksi 5:4. Nilai *decibel drop* tertinggi didapatkan pada kombinasi kompaksi 3:4 dengan faktor *cavity* 15 cm dengan nilai sebesar 4.16 dB. Hal ini telah sesuai dengan uji SNK yang dilakukan.

5.1.7 Analisis interaksi Faktor Komposisi, Kompaksi dan Faktor *Cavity*

Hasil uji ANOVA pada Tabel 4.7 menunjukkan bahwa interaksi ketiga faktor berpengaruh signifikan terhadap nilai *decibel drop*. Interaksi ketiga faktor dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut ini:



Gambar 5.7 Grafik nilai *decibel drop* faktor komposisi abu sekam padi dan ampas tebu, kompaksi, dan *cavity*

Nilai *decibel drop* tertinggi didapatkan pada kombinasi faktor komposisi ampas tebu dan abu sekam padi 70:30, faktor kompaksi 3:4 dengan faktor *cavity* 15mm dengan nilai sebesar 4,31 dB. Hal ini telah sesuai dengan uji SNK yang dilakukan.

5.2 Hasil Pengujian *Bending*

Pengujian *bending* pada penelitian ini digunakan sebagai informasi kekuatan bending dan *modulus of rupture* yang bisa ditahan oleh material komposit sebagai benda uji yang memiliki nilai *decibel drop* tertinggi. Selain itu, sebagai informasi bahwa komposit ampas tebu dan abu sekam

padi tersebut telah memenuhi standard ANSI 208.1-1999 sebagai panel. Spesimen komposit yang digunakan sebagai benda uji merupakan komposit dengan kombinasi komposisi ampas tebu 70% dan abu sekam padi 30%, menggunakan perbandingan kompaksi 3:4 dan *cavity* berdiameter 15 mm sebagai komposit dengan nilai *decibel drop* tertinggi. Berdasarkan hasil pada tabel 4.26, dengan melakukan pengulangan sebanyak 4 kali dengan rata-rata tebal dan lebar spesimen sebesar 49 mm, didapatkan rerata gaya maksimal 30,5 N, dan rerata nilai MOR sebesar 3,51 MPa. Hasil nilai *modulus of rupture* tersebut dalam standar ANSI A208.1-1999 termasuk ke dalam kelas LD-1 yang memiliki nilai MOR 3,0-5,0 MPa. Jenis tersebut dapat digunakan sebagai core papan partikel.

5.3 Hasil Pengujian Prototype Panel Akustik Komposit Ampas tebu dan Abu Sekam Padi

Hasil dari grafik dapat dianalisa panel akustik memiliki nilai *decibel drop* sebesar 7 dB pada frekuensi 150Hz, sedangkan pada spesimen uji koefisien serap bising memiliki nilai koefisien rata-rata sebesar 0,008 pada frekuensi 150Hz yang apabila di konversi ke nilai *decibel drop* menjadi sebesar 0,069 dB. Selanjutnya, panel akustik memiliki nilai *decibel drop* sebesar 12 dB pada frekuensi 300 Hz, sedangkan pada spesimen uji koefisien serap bising memiliki nilai koefisien rata-rata sebesar 0,203 yang apabila di konversi ke nilai *decibel drop* menjadi sebesar 1,97 dB. Pada panel akustik memiliki nilai *decibel drop* sebesar 10 dB pada frekuensi 600 Hz, sedangkan pada spesimen uji koefisien serap bising memiliki nilai koefisien rata-rata sebesar 0,516 yang apabila di konversi ke nilai *decibel drop* menjadi sebesar 6,303 dB. Pada panel akustik memiliki nilai *decibel drop* sebesar 9 dB pada frekuensi 1200 Hz, sedangkan pada spesimen uji koefisien serap bising memiliki nilai koefisien rata-rata sebesar 0,831 yang apabila di konversi ke nilai *decibel drop* menjadi sebesar 15,44 dB. Didapatkan rata-rata nilai *decibel drop* untuk pengujian tabung impedansi dan prototype sebesar 4.54 dB dan 9.5. Dari keempat hasil yang dikomparasikan, dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan nilai *decibel drop* yang signifikan pada masing-masing frekuensi yang diuji menggunakan panel akustik dan spesimen uji koefisien serap bising.

Panel akustik yang memiliki komposisi ampas tebu dan abu sekam padi 70 : 30, kompaksi 3 : 4 dan *cavity* sebesar 15 mm memiliki nilai *decibel drop* yang selalu meningkat pada tiap frekuensi. Peningkatan nilai *decibel drop* terbesar terjadi pada saat frekuensi 600 Hz dan 1200 Hz serta pada frekuensi tersebut memiliki nilai *decibel drop* terbesar dibandingkan pada frekuensi 150 Hz dan 300 Hz.

Pada hasil pengujian nilai *decibel drop* spesimen uji serap bunyi dan prototype panel akustik berbeda, hal ini disebabkan pada prototype panel akustik dilapisi kain yang menyebabkan nilai *decibel drop* pada *prototype* menjadi lebih besar. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Noviadri , dkk (2020) yang menyatakan penambahan lapisan luar seperti lembaran kain maupun papan membuat kekuatan penyerapan semakin meningkat. Penyebab lain adalah pada proses pembuatan komposit ampas tebu dan abu sekam padi terdapat kesalahan pada proses pencampuran bahan yang tidak tercampur rata, penataan bahan yang telah dicampur pada alat press memiliki ketebalan yang tidak sama pada setiap sisinya, dan tekanan yang diberikan saat proses pengepressan tidak sama pada setiap bagian yang menyebabkan salah satu bagian komposit memadat.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini, membahas mengenai kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan saran untuk penelitian selanjutnya.

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan yaitu dari hasil pengujian diperoleh kombinasi komposit ampas tebu dan abu sekam padi yang memiliki nilai *decibel drop* tertinggi adalah dari kombinasi ampas tebu 70% dan abu sekam padi 30%, dengan ukuran *cavity* berdiameter 15 mm dan kompaksi sebesar 3 : 4 dengan nilai *decibel drop* sebesar 4,31 dB. Komposit ampas tebu dan abu sekam padi dengan kombinasi perlakuan yang memiliki nilai *decibel drop* tertinggi dilakukan uji *bending* didapatkan rerata gaya maksimal 30,5 N dan rerata nilai MOR sebesar 3,51 MPa. Hasil nilai *modulus of rupture* tersebut dalam standar ANSI A208.1-1999 termasuk ke dalam kelas LD-1 yang memiliki nilai MOR 3,0-5,0 MPa.

6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan terkait pengembangan atau penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait perlakuan komposisi ampas tebu dan abu sekam padi, kompaksi, dan *cavity* yang belum dipertimbangkan dalam penelitian ini
2. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan variabel lain yang belum dipertimbangkan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arjunan, A. (2019). Acoustic absorption of passive destructive interference cavities. *Materials Today Communications*, 19(December 2018), 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2018.12.012>
- Belitz, H. D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2008). Food Chemistry 4th. In *Encyclopedia of Microbiology*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.13126-7>
- Ben Mansour, M., Ogam, E., Jelidi, A., Cherif, A. S., & Ben Jabrallah, S. (2017a). Influence of compaction pressure on the mechanical and acoustic properties of compacted earth blocks: An inverse multi-parameter acoustic problem. *Applied Acoustics*, 125, 128–135. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.04.017>
- Ben Mansour, M., Ogam, E., Jelidi, A., Cherif, A. S., & Ben Jabrallah, S. (2017b). Influence of compaction pressure on the mechanical and acoustic properties of compacted earth blocks: An inverse multi-parameter acoustic problem. *Applied Acoustics*, 125, 128–135. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.04.017>
- Berthelot, J. M. (1999). *Dynamics of Composites Material and Structures*. France: The Institute for Advanced Materials and Mechanics (IAMM).
- Cahyono, T. (2006). *Statistik Uji Normalitas*.
- Collison, W. W., Beidler, D., Grimm, L. M., & Thomas, J. A. (1986). *A comparison of protein S-thiolation (protein mixed-disulfide formation) in heart cells treated with t-butyl hydroperoxide or diamide*. 885, 58–67.
- De Silva, G. H. M. J. S., & Perera, B. V. A. (2018). Effect of waste rice husk ash (RHA) on structural, thermal and acoustic properties of fired clay bricks. *Journal of Building Engineering*, 18(September 2017), 252–259. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.03.019>
- Doelle, L. L. (1965). *Acoustics in architectural design (an annotated bibliography on architectural acoustics)*.
- Eriningsih, R., Widodo, M., & Marlina, R. (2014). Pembuatan Dan Karakterisasi Peredam Suara Dari Bahan Baku Serat Alam. *Arena Tekstil*, 29(1), 1–8. <https://doi.org/10.31266/at.v29i1.838>

- Gibson, R. F. (1994). *Principles of Composite Material Mechanics*.
- Hosseini Fouladi, M., Nor, M. J. M., Ayub, M., & Leman, Z. A. (2010). Utilization of coir fiber in multilayer acoustic absorption panel. *Applied Acoustics*, 71(3), 241–249. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2009.09.003>
- Islam, S., Sukardan, M. D., Novarini, E., & Aditya, F. (2018). *Pembuatab Porous Absorber Panel Pengendali Kebisingan Suara Dari Sabut Serabut Kelapa Dan Serat Limbag Pet (Shoody Fiber)*. 47–58.
- Isran, Kadir, A., & Hasanudin, L. (2018). Pembuatan Material Komposit Resin Poliester Yang Dipadukan Limbah Kertas Dan Abu Sekam Padi Sebagai Peredam Akustik. *ENTHALPY-Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*, 3(2), 1–10.
- Khotimah, K., Susilawati, & Soeprianto, H. (2015). Sifat Penyerapan Bunyi Pada Komposit Serat Batang Pisang (SBP) – Polyester. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA (JPPIPA)*, 1(1), 91–101. <https://doi.org/10.1145/3132847.3132886>
- Khuriati, A., Komaruddin, E., & Nur, M. (2006). *Disain Peredam Suara Berbahan Dasar Sabut Kelapa dan Pengukuran Koefisien Penyerapan Bunyinya*. 9(1).
- Kristian Paath, D. (2011). *Perancangan Promosi Okta Studio Rekaman Di Kopo Bandung*. Universitas Komputer Indonesia.
- Kristian, Y. A. (2019). *Analisis Komposit serat Eceng Gondok Woven Roven dengan Fraksi Volume 20%, 25%, 30%, 35% Sebagai Material Peredam Suara* (Vol. 20).
- Mediastika, C. E. (2008). *KUALITAS AKUSTIK PANEL DINDING BERBAHAN BAKU JERAMI*. 36(2), 127–134.
- Mines, R. A. W., Worrall, C. M., & Gibson, A. G. (1994). The static and impact behaviour of polymer composite sandwich beams. *Composites*, 25(2), 95–110. [https://doi.org/10.1016/0010-4361\(94\)90003-5](https://doi.org/10.1016/0010-4361(94)90003-5)
- Momtazi, A. S., & Zanoosh, R. Z. (2011). The effects of polypropylene fibers and rubber particles on mechanical properties of cement composite containing rice husk ash. *Procedia Engineering*, 10, 3608–3615. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.04.594>
- Moncrief. (1975). *Manufacture of Polyesters and Properties*. In 6 (p. 434). Newness Butterworth & Co. Ltd. London.

- Muhajir, K., Susastriawan, A. A. P., Mubarok, A. V., & Pratama, E. (2016). Sistem Pendukung Biogas Sebagai Bahan Bakar Kendaraan Bermotor: Mesin Perajang Limbah Buah. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (Snast)*, November, 523–526.
- Noviandri, P. P., Harjani, C., & Astuti, A. M. K. (2020). ANALISIS KOEFISIEN ABSORPSI DARI MATERIAL PISANG Pendahuluan Inovasi pemanfaatan limbah menjadi memiliki nilai reduksi suara (Noise material komposit limbah kain dan berasal dari bahan limbah dapat dilihat ASTM (American Standard Testing and Material). *Atrium*, 6(2), 141–148.
- Oktaviani, M. A., & Notobroto, Basuki, H. (2014). Implementation of Quality Management on Fishing Industry. *Marine Fisheries : Journal of Marine Fisheries Technology and Management*, 3, 103.
- Puspitarini, Y., S, F. M. A., Yulianto, A., & Fisika. (2013). *KOEFISIEN SERAP BUNYI AMPAS TEBU SEBAGAI BAHAN PEREDAM SUARA*. 96–100.
- Robert M., J. (1975). *Mechanics Of Composite Materials*. McGraw-Hill Inc.
- Sanjaya, G. E. (2010). *Eksperimen komparasi prosthetic tangan berdasarkan pengaruh desain metacarpal dan phalanx phalangeal*. Universitas Sebelas Maret.
- Schwartz, M. (1984). *Composite Materials Handbook*. McGrawl Inc.
- Seddeq, H. S. (2009). Factors Influencing Acoustic Performance of Sound Absorptive Materials. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(4), 4610–4617.
- Seknun, N. (2012). *Pemanfaatan Tepung Buah Lindur (Bruguiera gymnorrhiza) Dalam Pembuatan Dodol Sebagai Upaya Peningkatan Nilai Tambah*. Institut Pertanian Bogor.
- Setiyawan, D., Respati, S. M. B., & Dzulfikar, M. (2020). ANALISA KEKUATAN KOMPOSIT SANDWICH KARBON FIBER DENGAN CORE STYROFOAM SEBAGAI MATERIAL PADA MODEL PESAWAT TANPA AWAK (UJI TARIK & UJI BENDING). 16(1), 1–5.
- Setyanto, R. H., Diharjo, K., Setyono, P., & Miasa, I. M. (2013). Absorber of paper waste and rice husk to reduce noise in car cabin of electrical vehicle. *Proceedings of the 2013 Joint International Conference on Rural Information and*

- Communication Technology and Electric-Vehicle Technology, RICT and ICEV-T 2013*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/rICT-ICeVT.2013.6741533>
- Setyanto, R. H., Diharjo, K., Setyono, P., & Miasa, I. M. (2020). Investigation of the Helmholtz Green Resonator Panel from Rice Husk Waste and Office Paper Reinforced with Coconut Coir Skin as a Noise Absorbing Panel. *International Journal of Recent Engineering Science*, 6(1), 1–4. <https://doi.org/10.14445/23497157/ijres-v6i1p101>
- Shin, J., Chin, W., & Ling, T. (2002). *Characterization and Use of Activated Carbons Prepared from Baggase for Liquid-phase Adsorption*.
- Sudjana. (1997). *Desain dan Analisis Eksperimen*. Tarsito.
- Suprpto, H. (2006). UNIVERSITAS MULAWARMAN Penelitian. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 2, 1.
- Thermaxxjackets. (2021). *Decibel Drop & Noise Reduction Coefficients For Material Combinations*. <https://blog.thermaxxjackets.com>
- Wastu, Y., & Yuniar, E. (2020). *ANALISIS PENGGUNAAN ELEMEN AKUSTIK TERHADAP KUALITAS SUARA PADA RUANG AUDIO VISUAL Universitas Langlangbuana Bandung , 2 Itenas Bandung. XXII*, 79–93.
- Winarno, F. G. (2002). *Kimia Pangan dan Gizi*. Gramedia Pustaka.
- Yudo, H., & 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. <https://doi.org/10.12777/kpl.5.2.95-101>
- Zahid, L., Malek, F., Nornikman, H., Mohd Affendi, N. A., Ali, A., Hussin, N., Ahmad, B. H., & Abd Aziz, M. Z. A. (2013). Development of pyramidal microwave absorber using sugar cane bagasse (SCB). *Progress in Electromagnetics Research*, 137(January), 687–702. <https://doi.org/10.2528/PIER13012602>

LAMPIRAN

Lampiran 1 : Tabel nilai koefisien serap bunyi

Komposisi	Kompaksi	Cavity	Spesimen																			
			1				2				3				4				5			
			Frekuensi				Frekuensi				Frekuensi				Frekuensi				Frekuensi			
			150 Hz	300 Hz	600 Hz	1200 Hz	150 Hz	300 Hz	600 Hz	1200 Hz	150 Hz	300 Hz	600 Hz	1200 Hz	150 Hz	300 Hz	600 Hz	1200 Hz	150 Hz	300 Hz	600 Hz	1200 Hz
50 : 50	3 : 4	15 mm	0.036	0.144	0.376	0.893	0.037	0.133	0.388	0.902	0.043	0.131	0.391	0.884	0.039	0.144	0.377	0.897	0.039	0.151	0.375	0.881
		20 mm	0.028	0.097	0.218	0.799	0.029	0.096	0.221	0.815	0.035	0.103	0.236	0.805	0.031	0.100	0.220	0.799	0.035	0.105	0.223	0.807
		25 mm	0.038	0.106	0.243	0.835	0.041	0.104	0.241	0.821	0.041	0.105	0.247	0.841	0.038	0.116	0.255	0.822	0.038	0.118	0.255	0.829
	4 : 4	15 mm	0.036	0.196	0.355	0.744	0.036	0.202	0.346	0.741	0.038	0.201	0.370	0.754	0.036	0.199	0.366	0.758	0.036	0.203	0.366	0.753
		20 mm	0.038	0.166	0.254	0.646	0.036	0.150	0.269	0.654	0.038	0.166	0.264	0.667	0.037	0.169	0.262	0.642	0.036	0.151	0.246	0.662
		25 mm	0.034	0.161	0.250	0.660	0.035	0.162	0.266	0.666	0.036	0.168	0.254	0.668	0.035	0.156	0.263	0.667	0.034	0.156	0.267	0.665
	5 : 4	15 mm	0.035	0.248	0.334	0.595	0.035	0.258	0.337	0.600	0.038	0.254	0.333	0.594	0.033	0.255	0.333	0.605	0.030	0.258	0.346	0.597
		20 mm	0.047	0.234	0.289	0.492	0.056	0.245	0.285	0.505	0.049	0.227	0.295	0.503	0.056	0.242	0.287	0.502	0.047	0.245	0.292	0.496
		25 mm	0.029	0.216	0.256	0.485	0.033	0.206	0.256	0.485	0.031	0.219	0.253	0.485	0.028	0.215	0.266	0.496	0.028	0.211	0.253	0.490
70 : 30	3 : 4	15 mm	0.008	0.203	0.516	0.831	0.010	0.200	0.518	0.839	0.005	0.211	0.509	0.834	0.019	0.204	0.515	0.829	0.009	0.210	0.509	0.839
		20 mm	0.023	0.104	0.237	0.916	0.024	0.107	0.244	0.876	0.026	0.102	0.232	0.882	0.026	0.104	0.247	0.878	0.026	0.113	0.231	0.874
		25 mm	0.021	0.106	0.215	0.779	0.040	0.108	0.228	0.800	0.032	0.112	0.213	0.776	0.034	0.112	0.217	0.773	0.033	0.107	0.225	0.783
	4 : 4	15 mm	0.025	0.258	0.462	0.775	0.027	0.213	0.507	0.774	0.031	0.234	0.502	0.771	0.022	0.254	0.500	0.785	0.030	0.261	0.458	0.788
		20 mm	0.030	0.190	0.299	0.815	0.025	0.203	0.283	0.819	0.049	0.207	0.301	0.819	0.031	0.203	0.310	0.813	0.049	0.201	0.280	0.810
		25 mm	0.017	0.177	0.295	0.784	0.014	0.164	0.282	0.776	0.022	0.167	0.304	0.786	0.013	0.177	0.288	0.786	0.029	0.180	0.284	0.799
	5 : 4	15 mm	0.041	0.313	0.471	0.719	0.050	0.329	0.475	0.725	0.054	0.325	0.463	0.716	0.048	0.324	0.472	0.717	0.043	0.313	0.471	0.723
		20 mm	0.036	0.276	0.361	0.713	0.050	0.284	0.372	0.715	0.033	0.283	0.370	0.719	0.034	0.281	0.366	0.727	0.044	0.266	0.371	0.728
		25 mm	0.013	0.248	0.374	0.789	0.026	0.244	0.384	0.780	0.024	0.259	0.384	0.793	0.024	0.244	0.377	0.792	0.012	0.266	0.373	0.791
90 : 10	3 : 4	15 mm	0.021	0.301	0.563	0.647	0.023	0.319	0.571	0.638	0.036	0.301	0.564	0.636	0.035	0.318	0.568	0.631	0.035	0.318	0.567	0.645
		20 mm	0.019	0.244	0.473	0.796	0.010	0.239	0.478	0.789	0.027	0.238	0.470	0.799	0.030	0.255	0.472	0.781	0.014	0.248	0.476	0.789
		25 mm	0.016	0.196	0.409	0.799	0.028	0.196	0.401	0.804	0.016	0.188	0.412	0.801	0.033	0.185	0.409	0.817	0.035	0.207	0.411	0.807
	4 : 4	15 mm	0.023	0.249	0.420	0.576	0.037	0.246	0.414	0.578	0.014	0.257	0.436	0.583	0.023	0.251	0.429	0.574	0.026	0.241	0.434	0.577
		20 mm	0.033	0.215	0.343	0.573	0.033	0.206	0.352	0.583	0.037	0.217	0.344	0.587	0.035	0.228	0.352	0.578	0.021	0.208	0.340	0.573
		25 mm	0.022	0.195	0.310	0.603	0.034	0.188	0.310	0.611	0.036	0.181	0.318	0.606	0.033	0.204	0.311	0.616	0.015	0.192	0.314	0.616
	5 : 4	15 mm	0.024	0.196	0.277	0.504	0.019	0.189	0.287	0.515	0.018	0.199	0.274	0.502	0.020	0.189	0.274	0.498	0.034	0.200	0.267	0.492
		20 mm	0.047	0.185	0.213	0.349	0.047	0.198	0.215	0.356	0.048	0.207	0.211	0.358	0.034	0.194	0.201	0.359	0.040	0.181	0.215	0.340
		25 mm	0.027	0.193	0.211	0.407	0.036	0.199	0.220	0.416	0.030	0.209	0.216	0.408	0.036	0.195	0.203	0.412	0.032	0.184	0.224	0.419

Lampiran 2 : Tabel Kolmogorov-Smirnov

Tabel Nilai Kritis Uji Kolmogorov-Smirnov

Tabel Nilai Kritis Uji Kolmogorov-Smirnov

n	$\alpha = 0,20$	$\alpha = 0,10$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,02$	$\alpha = 0,01$
1	0,900	0,950	0,975	0,990	0,995
2	0,684	0,776	0,842	0,900	0,929
3	0,565	0,636	0,708	0,785	0,829
4	0,493	0,565	0,624	0,689	0,734
5	0,447	0,509	0,563	0,627	0,669
6	0,410	0,468	0,519	0,577	0,617
7	0,381	0,436	0,483	0,538	0,576
8	0,359	0,410	0,454	0,507	0,542
9	0,339	0,387	0,430	0,480	0,513
10	0,323	0,369	0,409	0,457	0,486
11	0,308	0,352	0,391	0,437	0,468
12	0,296	0,338	0,375	0,419	0,449
13	0,285	0,325	0,361	0,404	0,432
14	0,275	0,314	0,349	0,390	0,418
15	0,266	0,304	0,338	0,377	0,404
16	0,258	0,295	0,327	0,366	0,392
17	0,250	0,286	0,318	0,355	0,381
18	0,244	0,279	0,309	0,346	0,371
19	0,237	0,271	0,301	0,337	0,361
20	0,232	0,265	0,294	0,329	0,352
21	0,226	0,259	0,287	0,321	0,344
22	0,221	0,253	0,281	0,314	0,337
23	0,216	0,247	0,275	0,307	0,330
24	0,212	0,242	0,269	0,301	0,323
25	0,208	0,238	0,264	0,295	0,317
26	0,204	0,233	0,259	0,290	0,311
27	0,200	0,229	0,254	0,284	0,305
28	0,197	0,225	0,250	0,279	0,300
29	0,193	0,221	0,246	0,275	0,295
30	0,190	0,218	0,242	0,270	0,290
35	0,177	0,202	0,224	0,251	0,269
40	0,165	0,189	0,210	0,235	0,252
45	0,156	0,179	0,198	0,222	0,238
50	0,148	0,170	0,188	0,211	0,226
55	0,142	0,162	0,180	0,201	0,216
60	0,136	0,155	0,172	0,193	0,207
65	0,131	0,149	0,166	0,185	0,199
70	0,126	0,144	0,160	0,179	0,192
75	0,122	0,139	0,154	0,173	0,185
80	0,118	0,135	0,150	0,167	0,179
85	0,114	0,131	0,145	0,162	0,174
90	0,111	0,127	0,141	0,158	0,169
95	0,108	0,124	0,137	0,154	0,165
100	0,106	0,121	0,134	0,150	0,161

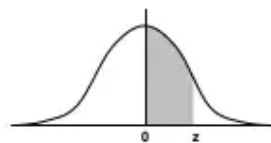
Pendekatan

n	$1,07/\sqrt{n}$	$1,07/\sqrt{n}$	$1,07/\sqrt{n}$	$1,07/\sqrt{n}$	$1,07/\sqrt{n}$
200	0,076	0,086	0,096	0,107	0,115

Lampiran 3 : Tabel Chi Kuadrat

Distribusi Z

Kumulatif sebaran frekuensi normal
(Area di bawah kurva normal baku dari 0 sampai z)



z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.0000	0.0040	0.0080	0.0120	0.0160	0.0199	0.0239	0.0279	0.0319	0.0359
0.1	0.0398	0.0438	0.0478	0.0517	0.0557	0.0596	0.0636	0.0675	0.0714	0.0753
0.2	0.0793	0.0832	0.0871	0.0910	0.0948	0.0987	0.1026	0.1064	0.1103	0.1141
0.3	0.1179	0.1217	0.1255	0.1293	0.1331	0.1368	0.1406	0.1443	0.1480	0.1517
0.4	0.1554	0.1591	0.1628	0.1664	0.1700	0.1736	0.1772	0.1808	0.1844	0.1879
0.5	0.1915	0.1950	0.1985	0.2019	0.2054	0.2088	0.2123	0.2157	0.2190	0.2224
0.6	0.2257	0.2291	0.2324	0.2357	0.2389	0.2422	0.2454	0.2486	0.2517	0.2549
0.7	0.2580	0.2611	0.2642	0.2673	0.2704	0.2734	0.2764	0.2794	0.2823	0.2852
0.8	0.2881	0.2910	0.2939	0.2967	0.2995	0.3023	0.3051	0.3078	0.3106	0.3133
0.9	0.3159	0.3186	0.3212	0.3238	0.3264	0.3289	0.3315	0.3340	0.3365	0.3389
1.0	0.3413	0.3438	0.3461	0.3485	0.3508	0.3531	0.3554	0.3577	0.3599	0.3621
1.1	0.3643	0.3665	0.3686	0.3708	0.3729	0.3749	0.3770	0.3790	0.3810	0.3830
1.2	0.3849	0.3869	0.3888	0.3907	0.3925	0.3944	0.3962	0.3980	0.3997	0.4015
1.3	0.4032	0.4049	0.4066	0.4082	0.4099	0.4115	0.4131	0.4147	0.4162	0.4177
1.4	0.4192	0.4207	0.4222	0.4236	0.4251	0.4265	0.4279	0.4292	0.4306	0.4319
1.5	0.4332	0.4345	0.4357	0.4370	0.4382	0.4394	0.4406	0.4418	0.4429	0.4441
1.6	0.4452	0.4463	0.4474	0.4484	0.4495	0.4505	0.4515	0.4525	0.4535	0.4545
1.7	0.4554	0.4564	0.4573	0.4582	0.4591	0.4599	0.4608	0.4616	0.4625	0.4633
1.8	0.4641	0.4649	0.4656	0.4664	0.4671	0.4678	0.4686	0.4693	0.4699	0.4706
1.9	0.4713	0.4719	0.4726	0.4732	0.4738	0.4744	0.4750	0.4756	0.4761	0.4767
2.0	0.4772	0.4778	0.4783	0.4788	0.4793	0.4798	0.4803	0.4808	0.4812	0.4817
2.1	0.4821	0.4826	0.4830	0.4834	0.4838	0.4842	0.4846	0.4850	0.4854	0.4857
2.2	0.4861	0.4864	0.4868	0.4871	0.4875	0.4878	0.4881	0.4884	0.4887	0.4890
2.3	0.4893	0.4896	0.4898	0.4901	0.4904	0.4906	0.4909	0.4911	0.4913	0.4916
2.4	0.4918	0.4920	0.4922	0.4925	0.4927	0.4929	0.4931	0.4932	0.4934	0.4936
2.5	0.4938	0.4940	0.4941	0.4943	0.4945	0.4946	0.4948	0.4949	0.4951	0.4952
2.6	0.4953	0.4955	0.4956	0.4957	0.4959	0.4960	0.4961	0.4962	0.4963	0.4964
2.7	0.4965	0.4966	0.4967	0.4968	0.4969	0.4970	0.4971	0.4972	0.4973	0.4974
2.8	0.4974	0.4975	0.4976	0.4977	0.4977	0.4978	0.4979	0.4979	0.4980	0.4981
2.9	0.4981	0.4982	0.4982	0.4983	0.4984	0.4984	0.4985	0.4985	0.4986	0.4986
3.0	0.4987	0.4987	0.4987	0.4988	0.4988	0.4989	0.4989	0.4989	0.4990	0.4990
3.1	0.4990	0.4991	0.4991	0.4991	0.4992	0.4992	0.4992	0.4992	0.4993	0.4993
3.2	0.4993	0.4993	0.4994	0.4994	0.4994	0.4994	0.4994	0.4995	0.4995	0.4995
3.3	0.4995	0.4995	0.4995	0.4996	0.4996	0.4996	0.4996	0.4996	0.4996	0.4997
3.4	0.4997	0.4997	0.4997	0.4997	0.4997	0.4997	0.4997	0.4997	0.4997	0.4998
3.5	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998
3.6	0.4998	0.4998	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999
3.7	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999
3.8	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999
3.9	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000

Lampiran 4 : Tabel Distribusi F_{0,05}

df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.42	19.43
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.10	2.08	2.06
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.08	2.05	2.03
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01
31	4.16	3.30	2.91	2.68	2.52	2.41	2.32	2.25	2.20	2.15	2.11	2.08	2.05	2.03	2.00
32	4.15	3.29	2.90	2.67	2.51	2.40	2.31	2.24	2.19	2.14	2.10	2.07	2.04	2.01	1.99
33	4.14	3.28	2.89	2.66	2.50	2.39	2.30	2.23	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	2.00	1.98
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	2.17	2.12	2.08	2.05	2.02	1.99	1.97
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.49	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11	2.07	2.04	2.01	1.99	1.96
36	4.11	3.26	2.87	2.63	2.48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.11	2.07	2.03	2.00	1.98	1.95
37	4.11	3.25	2.86	2.63	2.47	2.36	2.27	2.20	2.14	2.10	2.06	2.02	2.00	1.97	1.95
38	4.10	3.24	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.09	2.05	2.02	1.99	1.96	1.94
39	4.09	3.24	2.85	2.61	2.46	2.34	2.26	2.19	2.13	2.08	2.04	2.01	1.98	1.95	1.93
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92
41	4.08	3.23	2.83	2.60	2.44	2.33	2.24	2.17	2.12	2.07	2.03	2.00	1.97	1.94	1.92
42	4.07	3.22	2.83	2.59	2.44	2.32	2.24	2.17	2.11	2.06	2.03	1.99	1.96	1.94	1.91
43	4.07	3.21	2.82	2.59	2.43	2.32	2.23	2.16	2.11	2.06	2.02	1.99	1.96	1.93	1.91
44	4.06	3.21	2.82	2.58	2.43	2.31	2.23	2.16	2.10	2.05	2.01	1.98	1.95	1.92	1.90
45	4.06	3.20	2.81	2.58	2.42	2.31	2.22	2.15	2.10	2.05	2.01	1.97	1.94	1.92	1.89

Lampiran 5 : Tabel Uji SNK

Tabel HSD/Tukey pada taraf nyata 5% (Standardized 0.05)

v	i																													
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	30	40	60	80	100						
1	17.97	26.98	32.82	37.08	40.41	43.12	45.40	47.36	49.07	50.59	51.96	53.20	54.33	55.36	56.32	57.22	58.04	58.83	59.56	65.15	68.92	73.97	77.40	79.98						
2	6.09	8.33	9.80	10.88	11.73	12.43	13.08	13.54	13.99	14.40	14.76	15.09	15.39	15.65	15.92	16.14	16.38	16.57	16.78	18.27	19.28	20.66	21.59	22.29						
3	4.30	5.91	6.83	7.50	8.04	8.48	8.85	9.18	9.46	9.72	9.95	10.15	10.35	10.52	10.69	10.84	10.98	11.11	11.24	12.21	12.86	13.76	14.36	14.82						
4	3.98	5.04	5.76	6.29	6.71	7.05	7.35	7.60	7.83	8.03	8.21	8.37	8.52	8.66	8.79	8.91	9.03	9.13	9.25	10.00	10.53	11.24	11.73	12.10						
5	3.64	4.60	5.22	5.67	6.03	6.33	6.58	6.80	7.00	7.17	7.32	7.47	7.60	7.72	7.83	7.93	8.03	8.12	8.21	8.88	9.33	9.95	10.37	10.69						
6	3.46	4.34	4.90	5.31	5.63	5.90	6.12	6.32	6.49	6.65	6.79	6.92	7.03	7.14	7.24	7.34	7.43	7.51	7.59	8.19	8.60	9.16	9.55	9.84						
7	3.34	4.17	4.68	5.06	5.36	5.61	5.82	6.00	6.16	6.30	6.43	6.55	6.66	6.76	6.85	6.94	7.02	7.10	7.17	7.73	8.11	8.63	8.99	9.26						
8	3.26	4.04	4.53	4.89	5.17	5.40	5.60	5.77	5.92	6.05	6.18	6.29	6.39	6.48	6.57	6.65	6.73	6.80	6.87	7.40	7.76	8.25	8.59	8.84						
9	3.20	3.95	4.42	4.76	5.02	5.24	5.43	5.60	5.74	5.87	5.98	6.09	6.19	6.28	6.36	6.44	6.51	6.58	6.64	7.14	7.49	7.96	8.28	8.53						
10	3.15	3.88	4.33	4.65	4.91	5.12	5.30	5.46	5.60	5.72	5.83	5.94	6.03	6.11	6.19	6.27	6.34	6.41	6.47	6.95	7.28	7.73	8.04	8.28						
11	3.11	3.82	4.26	4.57	4.82	5.03	5.20	5.35	5.49	5.61	5.71	5.81	5.90	5.98	6.06	6.13	6.20	6.27	6.33	6.79	7.11	7.55	7.85	8.08						
12	3.08	3.77	4.20	4.51	4.75	4.95	5.12	5.27	5.40	5.51	5.62	5.71	5.80	5.88	5.95	6.02	6.09	6.15	6.21	6.66	6.97	7.39	7.69	7.91						
13	3.05	3.73	4.15	4.45	4.69	4.88	5.05	5.19	5.32	5.43	5.53	5.63	5.71	5.79	5.86	5.93	6.00	6.06	6.11	6.55	6.85	7.27	7.55	7.77						
14	3.03	3.70	4.11	4.41	4.64	4.83	4.99	5.13	5.25	5.36	5.46	5.55	5.64	5.71	5.79	5.85	5.92	5.97	6.03	6.46	6.75	7.16	7.44	7.65						
15	3.01	3.67	4.08	4.37	4.60	4.78	4.94	5.08	5.20	5.31	5.40	5.49	5.57	5.65	5.72	5.79	5.85	5.90	5.96	6.38	6.67	7.07	7.34	7.55						
16	3.00	3.65	4.05	4.33	4.56	4.74	4.90	5.03	5.15	5.26	5.35	5.44	5.52	5.59	5.66	5.73	5.79	5.84	5.90	6.31	6.59	6.98	7.25	7.46						
17	2.98	3.63	4.02	4.30	4.52	4.71	4.86	4.99	5.11	5.21	5.31	5.39	5.47	5.54	5.61	5.68	5.73	5.79	5.84	6.25	6.53	6.91	7.18	7.38						
18	2.97	3.61	4.00	4.28	4.49	4.67	4.82	4.96	5.07	5.17	5.27	5.35	5.43	5.50	5.57	5.63	5.69	5.74	5.79	6.20	6.47	6.85	7.11	7.31						
19	2.96	3.59	3.98	4.25	4.47	4.65	4.79	4.92	5.04	5.14	5.23	5.31	5.39	5.46	5.53	5.59	5.65	5.70	5.75	6.15	6.42	6.79	7.05	7.24						
20	2.95	3.58	3.96	4.23	4.45	4.62	4.77	4.90	5.01	5.11	5.20	5.28	5.36	5.43	5.49	5.55	5.61	5.66	5.71	6.10	6.37	6.74	6.99	7.19						
24	2.92	3.53	3.90	4.17	4.37	4.54	4.68	4.81	4.92	5.01	5.10	5.18	5.25	5.32	5.38	5.44	5.49	5.55	5.59	5.97	6.23	6.58	6.82	7.01						
30	2.89	3.49	3.85	4.10	4.30	4.46	4.60	4.72	4.82	4.92	5.00	5.08	5.15	5.21	5.27	5.33	5.38	5.43	5.48	5.83	6.08	6.42	6.65	6.83						
40	2.86	3.44	3.79	4.04	4.23	4.39	4.52	4.63	4.74	4.82	4.90	4.98	5.04	5.11	5.16	5.22	5.27	5.31	5.36	5.70	5.93	6.26	6.48	6.65						
60	2.83	3.40	3.74	3.98	4.16	4.31	4.44	4.55	4.65	4.73	4.81	4.88	4.94	5.00	5.06	5.11	5.15	5.20	5.24	5.57	5.79	6.09	6.30	6.46						
100	2.80	3.36	3.69	3.92	4.10	4.24	4.36	4.47	4.56	4.64	4.71	4.78	4.84	4.90	4.95	5.00	5.04	5.09	5.13	5.43	5.64	5.93	6.13	6.28						
1000	2.77	3.31	3.63	3.86	4.03	4.17	4.29	4.39	4.47	4.55	4.62	4.69	4.74	4.80	4.85	4.89	4.93	4.97	5.01	5.30	5.50	5.76	5.95	6.09						

Lampiran 6 : Hasil perhitungan LSR seluruh faktor

Signifikan rate	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
LSR	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Lampiran 7 : Hasil perhitungan selisih setiap perlakuan pada seluruh faktor

Perlakuan	A3B3C2	A3B3C3	A1B3C3	A1B3C2	A3B3C1	A3B2C2	A1B3C1	A1B2C2	A1B2C3	A3B2C3	A3B2C1	A2B1C3	A2B3C2	A1B1C2	A2B2C3	A2B2C2	A1B1C3	A1B2C1	A2B3C3	A3B1C2	A2B1C2	A3B1C1	A2B3C1	A3B1C3	A2B2C1	A1B1C1	A2B1C1
A3B3C2																											
A3B3C3	0.04																										
A1B3C3	0.10	0.06																									
A1B3C2	0.10	0.07	0.01																								
A3B3C1	0.12	0.09	0.03	0.02																							
A3B2C2	0.19	0.15	0.09	0.09	0.06																						
A1B3C1	0.20	0.17	0.11	0.10	0.08	0.01																					
A1B2C2	0.20	0.17	0.11	0.10	0.08	0.02	0.00																				
A1B2C3	0.22	0.18	0.12	0.11	0.09	0.03	0.01	0.01																			
A3B2C3	0.22	0.18	0.12	0.11	0.09	0.03	0.01	0.01	0.00																		
A3B2C1	0.25	0.22	0.16	0.15	0.13	0.07	0.05	0.05	0.04	0.04																	
A2B1C3	0.27	0.24	0.17	0.17	0.15	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	0.02																
A2B3C2	0.29	0.26	0.19	0.19	0.17	0.10	0.09	0.09	0.07	0.07	0.04	0.02															
A1B1C2	0.30	0.27	0.20	0.20	0.18	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.05	0.03	0.01														
A2B2C3	0.31	0.27	0.21	0.20	0.18	0.12	0.10	0.10	0.09	0.09	0.05	0.04	0.02	0.00													
A2B2C2	0.33	0.30	0.23	0.23	0.21	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.08	0.06	0.04	0.03	0.02												
A1B1C3	0.34	0.30	0.24	0.24	0.22	0.15	0.14	0.14	0.12	0.12	0.09	0.07	0.05	0.04	0.03	0.01											
A1B2C1	0.34	0.31	0.24	0.24	0.22	0.15	0.14	0.14	0.12	0.12	0.09	0.07	0.05	0.04	0.03	0.01	0.00										
A2B3C3	0.34	0.31	0.24	0.24	0.22	0.15	0.14	0.14	0.13	0.12	0.09	0.07	0.05	0.04	0.03	0.01	0.00	0.00									
A3B1C2	0.37	0.34	0.27	0.27	0.25	0.18	0.17	0.17	0.15	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03								
A2B1C2	0.37	0.34	0.27	0.27	0.25	0.18	0.17	0.17	0.16	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03	0.00							
A3B1C1	0.38	0.35	0.28	0.28	0.26	0.19	0.18	0.18	0.17	0.16	0.13	0.11	0.09	0.08	0.07	0.05	0.04	0.04	0.04	0.01	0.01						
A2B3C1	0.39	0.36	0.29	0.29	0.27	0.20	0.19	0.19	0.18	0.17	0.14	0.12	0.10	0.09	0.08	0.06	0.05	0.05	0.05	0.02	0.02	0.01					
A3B1C3	0.40	0.36	0.30	0.30	0.28	0.21	0.20	0.20	0.18	0.18	0.14	0.13	0.11	0.10	0.09	0.07	0.06	0.06	0.06	0.03	0.03	0.02	0.01				
A2B2C1	0.50	0.46	0.40	0.39	0.37	0.31	0.29	0.29	0.28	0.28	0.24	0.22	0.20	0.19	0.19	0.16	0.16	0.15	0.15	0.12	0.12	0.11	0.10	0.10			
A1B1C1	0.50	0.46	0.40	0.40	0.37	0.31	0.30	0.29	0.28	0.28	0.24	0.23	0.21	0.20	0.19	0.17	0.16	0.16	0.16	0.13	0.13	0.12	0.11	0.10	0.00		
A2B1C1	0.59	0.56	0.50	0.49	0.47	0.41	0.39	0.39	0.38	0.38	0.34	0.32	0.30	0.29	0.29	0.26	0.25	0.25	0.25	0.22	0.22	0.21	0.20	0.20	0.10	0.10	

Lampiran 8 : Kotak Pengujian Prototype



Lampiran 9 : Pengujian Protoype nilai *decibel drop* tanpa panel komposit



Lampiran 10 : Pengujian Protoype nilai *decibel drop* dengan panel komposit

