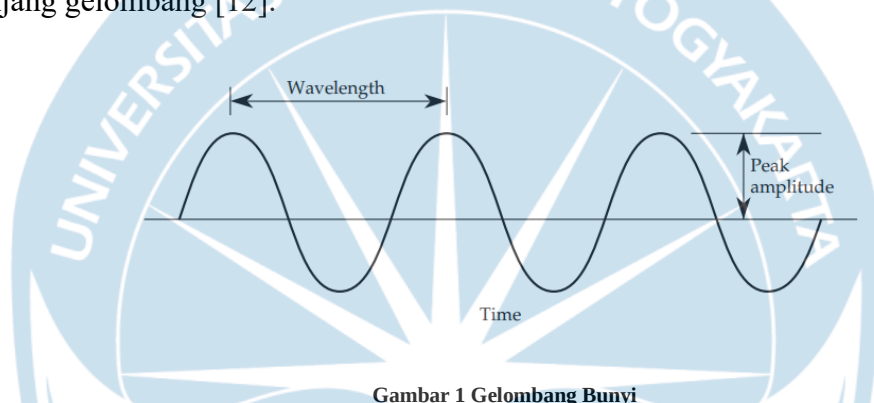


BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1. AKUSTIK RUANG IBADAH

2.1.1. KONSEP DASAR DAN PARAMETER AKUSTIK

Akustik adalah cabang ilmu yang mempelajari tentang suara, termasuk bagaimana suara dihasilkan, merambat, dan dipersepsikan oleh manusia [11]. Suara merupakan gelombang mekanik longitudinal yang merambat melalui medium, seperti udara, air, atau benda padat. Suara dapat dipantulkan ketika mengenai permukaan, dapat membengkok saat melewati celah atau mengelilingi objek. Suara dihasilkan oleh getaran suatu benda dan memiliki karakteristik seperti frekuensi, amplitudo, dan panjang gelombang [12].



Gambar 1 Gelombang Bunyi

Sumber: Master Handbook of Acoustics, Seventh Edition, 2021

1. Frekuensi adalah jumlah getaran yang terjadi dalam satu detik dan diukur dalam satuan Hertz (Hz). Frekuensi menentukan tinggi rendahnya suara (*pitch*), dengan frekuensi yang lebih tinggi menghasilkan suara yang lebih tinggi dan sebaliknya. Rentang frekuensi yang dapat didengar oleh manusia normal adalah sekitar 20 Hz hingga 20.000 Hz
2. Amplitudo (A) merupakan besarnya simpangan getaran yang berhubungan dengan volume dan intensitas suara, menentukan kuat lemahnya suara dengan satuan desibel (dB). Amplitudo yang lebih besar menghasilkan suara yang lebih keras dan juga sebaliknya.
3. Panjang gelombang (λ) adalah jarak yang ditempuh gelombang dalam waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu siklus. Panjang gelombang juga dapat dinyatakan sebagai jarak dari satu titik pada gelombang periodik ke titik yang sesuai pada siklus gelombang berikutnya. Panjang gelombang

berbanding terbalik dengan frekuensi, semakin tinggi frekuensi suara, semakin pendek panjang gelombangnya.

Ketiga karakteristik ini saling terkait melalui persamaan:

$$\text{Wavelength (ft)} = \frac{\text{Speed of Sound (ft/sec)}}{\text{Frequency (Hz)}}$$

$$\text{Frequency (Hz)} = \frac{\text{Speed of Sound (ft/sec)}}{\text{Wavelength (ft)}}$$

$$\text{Wavelength (ft)} = \frac{1,130}{\text{Frequency (Hz)}}$$

Persamaan ini menunjukkan bahwa frekuensi dan panjang gelombang berbanding terbalik. Artinya, semakin tinggi frekuensinya, semakin pendek panjang gelombangnya, dan sebaliknya. Kecepatan suara adalah faktor konstan dalam persamaan ini, yang nilainya tergantung pada medium tempat suara merambat (misalnya, udara, air, atau baja). Pada kondisi normal, kecepatan suara di udara sekitar 1.130 ft/detik [13].

Penelitian menunjukkan bahwa bunyi dapat merambat melalui medium padat, cair, dan gas [14], [15], [16].

1. Dalam gas seperti udara, suara merambat sebagai gelombang longitudinal, di mana partikel-partikel udara bergerak bolak-balik sejajar dengan arah rambat gelombang suara. Gerakan ini menyebabkan daerah-daerah kompresi (tekanan tinggi) dan rarefaksi (tekanan rendah) yang membentuk gelombang suara.
2. Suara merambat lebih cepat dalam cairan daripada dalam gas karena cairan lebih sulit dimampatkan, karena massa jenis dan modulus massa air yang lebih tinggi [17]. Sama seperti dalam gas, suara dalam cairan juga merambat sebagai gelombang longitudinal.
3. Suara merambat paling cepat dalam padatan karena padatan memiliki tingkat kekakuan dan kepadatan yang lebih tinggi. Dalam padatan, suara dapat merambat sebagai gelombang longitudinal dan juga sebagai gelombang transversal, di mana partikel-partikel bergetar tegak lurus terhadap arah rambat gelombang.

Interaksi suara dengan lingkungannya.

1. Refleksi

Ketika gelombang suara mengenai permukaan yang lebih besar dari panjang gelombangnya, sebagian energi suara dipantulkan. Sudut pantulan sama dengan sudut datangnya suara. Refleksi dapat menyebabkan gema, gaung, dan mempengaruhi kualitas suara dalam ruangan.

2. Difraksi

Difraksi adalah pembelokan gelombang suara di sekitar penghalang atau melalui bukaan. Jumlah difraksi tergantung pada ukuran penghalang relatif terhadap panjang gelombang suara. Frekuensi rendah (panjang gelombang panjang) lebih mudah terdifraksi daripada frekuensi tinggi.

3. Refraksi

Refraksi adalah pembelokan gelombang suara saat melewati medium dengan kecepatan suara yang berbeda. Ini dapat terjadi di atmosfer karena perbedaan suhu atau di lautan karena perbedaan suhu dan tekanan.

Penyebaran suara ke berbagai arah untuk menciptakan medan suara yang lebih seragam di dalam ruangan, sehingga suara terdengar seimbang dan merata di seluruh area pendengaran. Difusi sangat dibutuhkan, karena bisa meningkatkan kualitas suara dan pengalaman mendengarkan penonton/pengunjung suatu ruang konser dengan menciptakan medan suara yang lebih seragam dan menyebar.

Cara mencapai difusi suara:

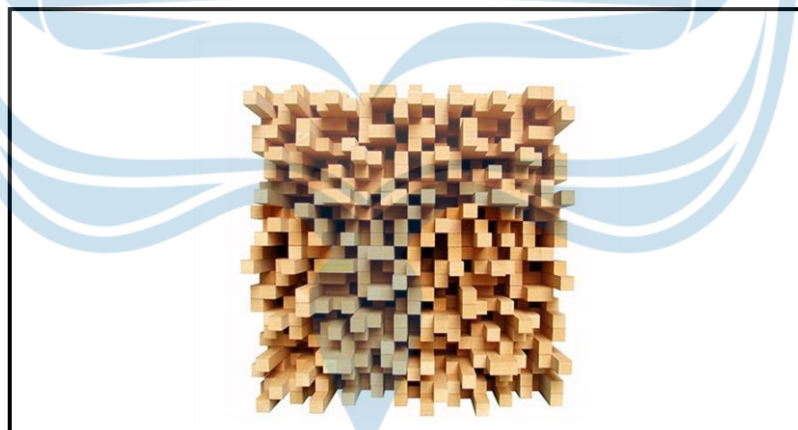
1. Permukaan dengan bentuk tidak beraturan, seperti poli-silinder atau bentuk geometris lainnya, dapat menyebarkan suara ke berbagai arah. Efektivitas difusi tergantung pada ukuran dan bentuk ketidakberaturan permukaan relatif terhadap panjang gelombang suara.



Gambar 2 Acourete Sinewave Panel

Sumber: Acourate Website

2. Difuser Schroeder adalah jenis difuser yang sangat efisien yang menggunakan serangkaian sumur dengan kedalaman berbeda untuk menyebarkan suara berdasarkan teori bilangan.



Gambar 3 Difuser Schroeder

Sumber: Picacoustic Acoustic Designer Website

3. Menempatkan bahan penyerap suara dalam pola yang tersebar, bukan dalam satu area yang berkelanjutan, juga dapat berkontribusi pada difusi suara.
4. Memilih proporsi ruangan yang tepat dan membuat dinding miring juga dapat membantu meningkatkan difusi suara, meskipun efeknya mungkin tidak sekuat penggunaan difuser khusus.

2.1.2. JENIS-JENIS IBADAH DI GEREJA

Dalam buku *Sound of Worship*, dijelaskan bahwa ada empat jenis ibadah yang berbeda, yaitu *Celebratory Worship*, *Evangelical Worship*, *Experiential Worship*, dan *Community Worship* [10]. GPDI El-Asah yang merupakan *pentecostal church* dapat dikategorikan sebagai *experiential worship*, yang menekankan pada pengalaman ibadah itu sendiri. Hal ini terlihat dari penggunaan musik kontemporer, elemen multimedia, dan pendekatan interaktif dalam ibadah mereka.

Persepsi terhadap ibadah dapat dipengaruhi oleh elemen musik dan bagaimana musik dianggap sebagai elemen kunci dalam menciptakan atmosfer spiritual dan pengalaman ibadah yang mendalam bagi jemaat, terutama dalam konteks gaya *experiential worship* [10], [18], [3]. *Worship Leader* juga berperan penting dalam mengarahkan dan membantu jemaat untuk memasuki pengalaman ibadah yang lebih mendalam, yang sering kali melibatkan interaksi emosional dan spiritual [10], [19].

Sehingga musik dan peran *Worship leader* dapat menjadi pemicu untuk pengalaman keagamaan, di mana ia dapat menciptakan suasana yang positif dan mendukung yang memungkinkan individu untuk lebih fokus pada Tuhan.

Dalam konteks *experiential worship*, ibadah biasanya dilakukan dengan cara yang sangat interaktif dan berfokus pada pengalaman spiritual yang mendalam [10] .

1. Musik Kontemporer

Musik memainkan peran sentral dalam *experiential worship*. Gereja sering menggunakan musik kontemporer yang energik dan menarik, dengan lirik yang relevan dan mudah diingat. Musik ini tidak hanya berfungsi sebagai latar belakang, tetapi juga sebagai sarana untuk mengajak jemaat berpartisipasi secara aktif.

2. Pengalaman Visual

Penggunaan elemen visual seperti pencahayaan yang dramatis, video, dan proyeksi gambar dapat menciptakan suasana yang mendukung pengalaman ibadah. Elemen-elemen ini dirancang untuk menarik perhatian jemaat dan membantu mereka terhubung secara emosional dengan pesan yang disampaikan.

3. Partisipasi aktif

Jemaat didorong untuk terlibat secara aktif dalam ibadah. Ini bisa berupa menyanyi bersama, berdoa, atau berinteraksi dengan *Worship Leader*. Suasana yang inklusif dan

ramah membantu jemaat merasa lebih terlibat dan terhubung dengan satu sama lain dan dengan Tuhan.

4. Ritual dan Simbolisme

Meskipun *experiential worship* lebih modern, beberapa gereja masih mengintegrasikan elemen ritual dan simbolisme yang mendalam. Ini bisa termasuk pengenangan akan perjamuan kudus atau baptisan, yang dilakukan dengan cara yang menekankan pengalaman spiritual.

5. Pemberitaan yang Relevan

Khotbah dalam *experiential worship* sering kali disampaikan dengan cara yang relevan dan aplikatif. Pemimpin ibadah berusaha untuk menghubungkan pesan Alkitab dengan kehidupan sehari-hari jemaat, sehingga mereka dapat merasakan dampak langsung dari ajaran tersebut.

2.1.3. AKUSTIK RUANG IBADAH

Ruang ibadah memerlukan lingkungan akustik rumit yang memungkinkan pendengaran jernih dan pengalaman suara estetik [20]. Desain akustik yang tepat dapat menciptakan atmosfer spiritual yang mendalam dalam ibadah [21]. Akustika yang memadai dapat menciptakan ruang yang resonan dan memikat, meningkatkan pengalaman ibadah jemaat dan membantu menciptakan suasana yang mendukung refleksi dan ibadah yang khushuk [10]. Penelitian menunjukkan bahwa sifat akustik memengaruhi persepsi ruang secara signifikan dan dapat memperkuat respons emosional [20]. Musik dapat membantu seseorang lebih fokus, dan fokus bisa membuat emosi semakin dalam, sehingga menciptakan pengalaman ibadah yang lebih kuat dan bermakna [22].

Akustik gereja memengaruhi pengalaman sonik pengunjung secara signifikan, dengan suara yang memperoleh kehidupannya sendiri dan memengaruhi persepsi, refleksi, dan suasana hati [23].

Dalam Ruang Ibadah, terdapat dua area, yaitu *Chancel* dan *Nave*. *Chancel* berfungsi sebagai area utama untuk aktivitas liturgi, termasuk altar, mimbar, dan tempat duduk bagi paduan suara atau pendeta. Dalam konteks akustik gereja, *chancel* merupakan area sumber suara. Sedangkan *Nave* merupakan area yang lebih luas dan memanjang,

dengan deretan bangku atau kursi untuk jemaat. Dalam konteks akustik gereja, *nave* berfungsi sebagai area penerima suara yang dihasilkan di *chancel*.

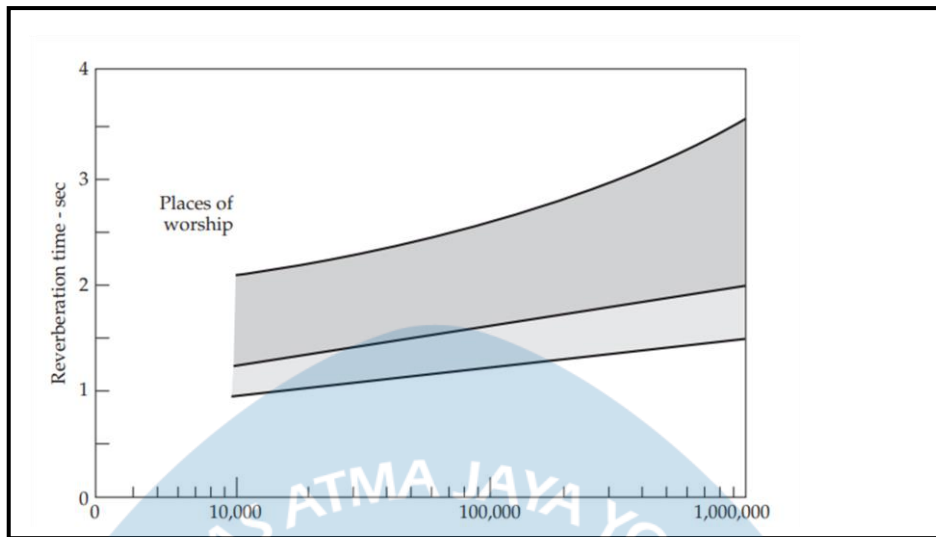
Bentuk *chancel* secara signifikan mempengaruhi kinerja akustik gereja. Geometri *chancel* berbentuk bulat memberikan hasil kejelasan suara (STI) yang lebih baik daripada *chancel* berbentuk banyak sisi atau persegi panjang. Namun, *chancel* berbentuk persegi panjang cenderung menghasilkan waktu dengung (RT) yang lebih tinggi [24].

Studi terkini menunjukkan bahwa Waktu Dengung (RT) saja tidak cukup sebagai parameter tunggal dalam mengevaluasi kualitas akustik gereja. Direkomendasikan untuk menyertakan parameter *Clarity* (C80) dan *Definition* (D50) dalam desain akustik gereja guna mencapai kondisi akustik optimal, baik untuk musik maupun ucapan [25]. Karakteristik akustik ideal untuk *Pentecostal church* yang menerapkan *experiential worship* harus mempertimbangkan gaya ibadah yang dinamis dan penggunaan alat musik modern. Beberapa karakteristik penting untuk *Pentecostal church*:

1. Waktu Dengung (*Reverberation Time* – RT)

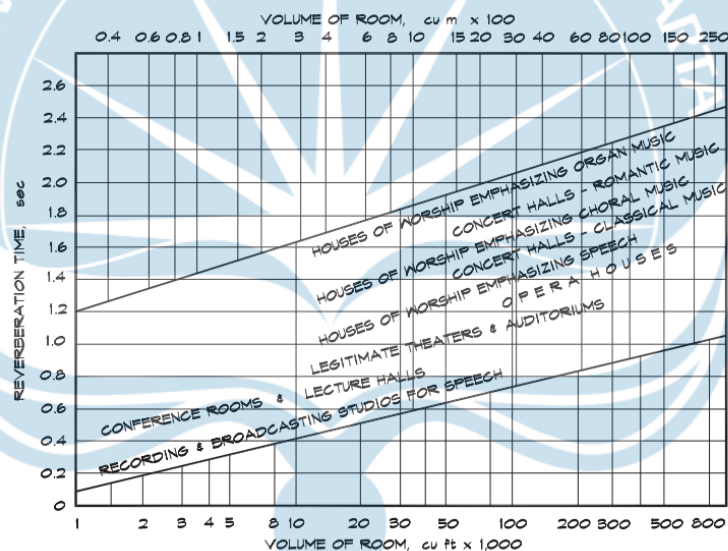
Waktu dengung mempengaruhi musik, kualitas suara dan kecerahan bicara dalam ruangan besar seperti gereja. Waktu dengung dianggap sebagai faktor krusial, dengan gereja-gereja kontemporer sering kali melebihi nilai yang direkomendasikan [26], menyebabkan pemahaman ucapan yang buruk [27]. Untuk gereja yang menerapkan *experiential worship*, waktu dengung yang ideal tergantung pada jenis musik dan ukuran ruangan [13]. Waktu dengung di tempat ibadah, biasanya merupakan kompromi antara kebutuhan musik dan bicara.

Untuk ruang ibadah, waktu reverberasi yang ideal biasanya berkisar antara 1,0 hingga 1,5 detik untuk frekuensi menengah (sekitar 500 Hz hingga 1000 Hz). Waktu ini dianggap cukup untuk mendukung kualitas suara yang baik, baik untuk pidato maupun musik, tanpa menyebabkan kebisingan yang berlebihan atau kesulitan dalam memahami ucapan



Gambar 4 Reverberation Time for Place of Worship

Sumber: Master Handbook of Acoustics, Seventh Edition (2021)



Gambar 5 Reverberation Time vs Room Volume

Sumber: Architectural Acoustics oleh Marshall Long

Berdasarkan Gambar 5, standar *reverberation time* untuk *House of Worship* dengan konsep *experiential worship*, yaitu 1-1,4 detik.

2. Tingkat Tekanan Bunyi (*Sound Pressure Level - SPL*)

Kejelasan suara yang tinggi penting untuk memastikan bahwa suara musik dan khotbah dapat dipahami dengan jelas oleh seluruh jemaat. SPL terlalu rendah, pesan yang disampaikan mungkin tidak dapat dipahami, sedangkan SPL yang terlalu tinggi dapat menyebabkan rasa tidak nyaman. Terlalu banyak tekanan suara dapat

menyebabkan distorsi, sementara terlalu sedikit dapat membuat musik terdengar datar dan tidak menarik.

3. Kejelasan Suara Vokal (*Definition* 50 – D50)

Definition (D50) digunakan untuk mengukur *speech intelligibility*, kemampuan untuk memahami ucapan dengan jelas dalam suatu lingkungan [11]. Konsep ini merupakan rasio antara energi suara langsung dan energi pantulan awal yang tiba dalam 50 milidetik setelah suara langsung. Jika *clarity* dapat dipengaruhi oleh kebisingan latar belakang (*reverberasi*), *Definition* tidak memperhitungkan kebisingan latar belakang. Fokus hanya pada energi suara langsung dan pantulan awal.

Dalam ruang ibadah, kejelasan suara vokal berkontribusi pada pengalaman spiritual dan emosional jemaat. Ketika suara pemimpin ibadah jelas, jemaat dapat lebih terlibat dalam kegiatan ibadah. D50 dinyatakan dalam persentase dan memberikan indikasi tentang seberapa baik suara dapat dipahami dalam suatu ruang.

Dalam konteks gereja, nilai D50 yang baik biasanya berkisar antara 50% hingga 70%. Nilai di bawah 50% dianggap buruk dan dapat menyebabkan kesulitan dalam memahami khotbah atau lirik lagu.

D50 dihitung dengan membandingkan energi suara yang diterima dalam waktu 50 milidetik pertama setelah suara dimulai (yang dianggap sebagai suara langsung) dengan total energi suara yang diterima selama periode waktu yang lebih panjang. Semakin tinggi nilai D50, semakin baik definisi suara.

4. Kejelasan Suara Instrumen (*Clarity* 80 - C80)

Clarity merupakan kejelasan suara. *Clarity* adalah kualitas akustik yang memastikan suara tetap jernih dan tidak tercampur oleh efek gema. *Clarity* dalam akustik adalah kebalikan dari *reverberance* (gema atau gaung), yang mengacu pada kemampuan untuk membedakan setiap suku kata dan nada musik secara jelas. Untuk mencapai *clarity*, tidak hanya fokus pada kecepatan penurunan suara, tetapi juga memaksimalkan suara langsung serta pantulan suara awal yang tiba segera setelah suara langsung [28].

Parameter ini berkaitan dengan sejauh mana suara dapat dibedakan dan didengar dengan jelas, terutama dalam konteks musik. C80 dinyatakan dalam desibel (dB). Rasio energi suara yang datang dalam 80 milidetik pertama setelah suara dimulai

(suara langsung) dibandingkan dengan energi suara yang datang setelah 80 milidetik (suara yang dipantulkan).

5. Indeks Transmisi Ucapan (*Speech Transmission Index*, STI)

STI adalah metrik yang banyak digunakan untuk menilai kejelasan ucapan di dalam ruangan dan sistem komunikasi [29]. STI merupakan ukuran yang digunakan untuk menilai kualitas transmisi ucapan dalam suatu ruang. Mencapai nilai STI yang baik sangat penting untuk memastikan bahwa khotbah, doa, dan musik dapat dipahami dengan jelas oleh jemaat. Setelah adaptasi akustik, nilai STI dapat meningkat, yang berkontribusi pada pengalaman ibadah yang lebih baik [30]. Ia menggunakan skala dari 0 hingga 1, di mana 1 menunjukkan kejelasan sempurna. Pengukuran STI dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti direktivitas sumber suara, penempatan mikrofon, dan karakteristik ruangan [31].

6. *Lateral Fraction* (LF)

LF dapat dihitung dan dianalisis untuk membantu desainer akustik memahami bagaimana suara berperilaku dalam ruang tertentu dan untuk mengoptimalkan desain akustik agar sesuai dengan kebutuhan spesifik dari ruang tersebut. Parameter ini penting dalam menciptakan pengalaman akustik yang seimbang dan menyenangkan bagi pendengar. *Lateral fraction* (LF) diukur dengan *microphone* khusus yang bisa menangkap suara dari dua arah berlawanan (samping). Semakin tinggi angkanya, semakin kuat kesan ruang atau kedalaman suara yang dirasakan [28].

7. Prioritas Akustik

Dalam banyak kasus, perlu ada kompromi antara akustik untuk berbicara dan akustik untuk musik, sehingga prioritas harus ditentukan berdasarkan kebutuhan gereja tersebut.

2.1.4. MATERIAL DAN TEKNOLOGI AKUSTIK

Pemilihan dan penerapan material penyerap suara untuk mencapai hasil akustik yang optimal melibatkan beberapa langkah dan pertimbangan penting [12]:

1. Analisis Ruang

Melakukan analisis akustik awal untuk memahami karakteristik ruang, termasuk ukuran, bentuk, dan jenis permukaan (dinding, langit-langit, lantai). Identifikasi sumber kebisingan dan area yang memerlukan perbaikan akustik.

2. Identifikasi Frekuensi Masalah

Menentukan frekuensi mana yang menjadi masalah utama dalam ruang tersebut. Misalnya, ruang yang memiliki masalah dengan gema mungkin memerlukan penyerapan pada frekuensi menengah hingga tinggi, sedangkan ruang dengan masalah resonansi mungkin memerlukan penyerapan pada frekuensi rendah.

3. Pemilihan Material

Memilih material penyerap suara yang sesuai berdasarkan analisis frekuensi. Material berpori seperti wol mineral atau busa akustik efektif untuk frekuensi tinggi, sedangkan panel resonansi atau bahan komposit mungkin lebih baik untuk frekuensi rendah.

4. Desain dan Penempatan

Merencanakan desain dan penempatan material penyerap suara. Penempatan yang strategis, seperti di sudut ruangan atau dekat sumber suara, dapat meningkatkan efektivitas penyerapan.

5. Kombinasi Material

Mempertimbangkan penggunaan kombinasi berbagai jenis material untuk mencapai penyerapan yang lebih baik di seluruh spektrum frekuensi. Misalnya, menggabungkan panel akustik dengan bahan berpori dapat memberikan hasil yang lebih seimbang.

6. Pengujian dan Penyesuaian

Setelah penerapan material, melakukan pengujian akustik untuk mengevaluasi hasil. Ukur waktu reverberasi dan tingkat kebisingan untuk memastikan bahwa tujuan akustik tercapai. Jika diperlukan, lakukan penyesuaian dengan menambah atau mengubah material.

7. Pertimbangan Estetika dan Fungsionalitas

Memastikan bahwa material yang dipilih tidak hanya efektif secara akustik tetapi juga sesuai dengan estetika ruang. Material yang dapat disesuaikan atau tersembunyi dalam desain interior dapat meningkatkan penampilan ruang.

Material akustik adalah material yang dirancang untuk mengontrol perambatan suara di dalam ruangan. Material akustik dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis utama:

1. Penyerap suara, yaitu material yang menyerap sebagian besar energi suara yang mengenainya, sehingga mengurangi tingkat tekanan suara dan waktu dengung di dalam ruangan. Contohnya adalah busa akustik, *glass wool*, dan *rockwool*.
2. Pemantul suara, yaitu material yang memantulkan sebagian besar energi suara yang mengenainya, sehingga memperkuat suara atau mengarahkan suara ke arah tertentu. Contohnya adalah dinding beton, kaca, dan kayu.
3. Difuser suara, yaitu material yang menyebarkan suara ke segala arah, sehingga mengurangi konsentrasi suara di satu titik dan menciptakan suasana akustik yang lebih merata. Contohnya adalah *diffuser quadratic residue diffuser* (QRD) dan *diffuser skyline*.

Berikut adalah beberapa jenis material dan bagaimana karakteristik akustiknya mempengaruhi penyerapan suara dan pemantulan suara pada frekuensi yang berbeda:

Jenis Material	Karakteristik	Pengaruh	Contoh
Material Berpori	efektif dalam menyerap suara pada frekuensi tinggi hingga menengah. Mereka bekerja dengan cara mengubah energi suara menjadi panas saat gelombang suara memasuki pori-pori material	Semakin dalam dan lebih padat material, semakin baik kemampuannya untuk menyerap frekuensi rendah. Namun, untuk frekuensi tinggi, material yang lebih tipis dan lebih ringan dapat lebih efektif.	Busa akustik wol mineral, dan serat kaca
Panel Resonansi	dirancang untuk bergetar pada frekuensi tertentu, sehingga dapat menyerap suara pada frekuensi rendah. Biasanya dipasang pada dinding atau langit-langit.	Efektivitas panel resonansi sangat tergantung pada ukuran dan ketebalan panel, serta frekuensi yang ingin diserap. Panel yang lebih besar cenderung lebih efektif pada frekuensi yang lebih rendah.	Panel kayu, panel komposit, dan membran.
Material Densitas Tinggi	Material ini tidak menyerap suara dengan baik tetapi dapat memantulkan suara.	Material ini dapat digunakan dalam kombinasi dengan material penyerap untuk	Bahan seperti beton, plester,

	Lebih efektif dalam mengurangi transmisi suara daripada penyerapan	mengontrol suara secara keseluruhan dalam suatu ruang.	atau material berat lainnya
<i>Diffuser</i>	Meskipun bukan penyerap suara dalam arti tradisional, <i>diffuser</i> membantu mengurangi gema dan meningkatkan kualitas suara dengan menyebarkan energi suara secara merata. <i>Diffuser</i> tidak secara langsung memantulkan suara, tetapi menyebarkan gelombang suara untuk mengurangi konsentrasi di satu titik.	Efektif dalam ruang yang memerlukan kontrol akustik tanpa mengurangi tingkat kebisingan secara keseluruhan.	Struktur geometris yang dirancang untuk menyebarkan gelombang suara
Campuran	Material ini dirancang untuk memberikan keseimbangan antara penyerapan dan refleksi suara.	dapat digunakan untuk mencapai hasil akustik yang lebih seimbang, terutama dalam ruang yang memerlukan kombinasi antara kejelasan suara dan kehangatan.	Bahan yang menggabungkan elemen penyerap dan elemen reflektif
Lainnya	Kayu, memiliki sifat akustik yang baik dan sering digunakan dalam ruang konser dan teater Metal, efektif dalam memantulkan suara, terutama pada frekuensi tinggi Permukaan halus seperti kaca dan keramik.		

Tabel 1Jenis Material Akustika

Dalam pengaplikasian material dalam desain ruang, bahan pemantul suara digunakan untuk menciptakan akustik yang hangat dan jelas, meningkatkan pengalaman pendengar.

Poin penting untuk meningkatkan kualitas akustik Ruang ibadah yaitu:

1. Mengidentifikasi keluhan dari peserta ibadah mengenai kondisi penerimaan suara yang buruk dan adanya *echo flutter* di beberapa tempat dalam ruangan.
2. Metode pengukuran yang digunakan untuk menilai waktu reverberasi dan kejelasan ucapan, termasuk pengukuran waktu reverberasi dalam pita oktaf dan evaluasi Indeks Transmisi Ucapan (STI).
3. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sebelum adaptasi akustik, gereja memiliki waktu reverberasi yang panjang dan kejelasan ucapan yang rendah. Setelah penerapan solusi akustik, waktu reverberasi berkurang secara signifikan, dan kejelasan ucapan meningkat.
4. Melakukan adaptasi akustik. langkah-langkah yang diambil untuk melakukan adaptasi akustik, termasuk penggunaan bahan penyerap suara untuk mengurangi waktu reverberasi dan meningkatkan kualitas suara

2.2. NEUROARSITEKTUR

2.2.1. DEFINISI DAN KONSEP DASAR

Neuroarsitektur adalah bidang interdisipliner yang sedang berkembang pesat, bertujuan untuk memahami bagaimana lingkungan binaan mempengaruhi otak, kognisi, perilaku, dan pada akhirnya, kesejahteraan manusia [32], [33], [34]. Dengan menggabungkan ilmu saraf dan arsitektur, neuroarsitektur berupaya mengungkap bagaimana desain arsitektur dapat membentuk pengalaman manusia, tidak hanya dari segi visual, tetapi juga melalui indera lain seperti pendengaran dan sentuhan [34], [35].

Neuroarsitektur mengeksplorasi hubungan timbal balik antara otak dan lingkungan binaan, dengan tujuan akhir untuk menciptakan ruang yang mendukung kesehatan dan kesejahteraan manusia secara holistik [32]. Konsep ini menekankan bahwa pengalaman arsitektural melibatkan stimulasi multisensorik, dan bahwa desain yang baik harus mempertimbangkan dampaknya terhadap berbagai aspek pengalaman manusia, termasuk fisik, intelektual, emosional, dan sosial [36]. Neuroarsitektur memanfaatkan EEG untuk memahami bagaimana elemen-elemen desain arsitektur dapat memengaruhi fungsi kognitif dan emosional manusia.

2.2.2. PENELITIAN TERKAIT NEUROARSITEKTUR

Neuroarsitektur, bidang interdisipliner yang sedang berkembang, mengeksplorasi dampak desain arsitektur pada perilaku, emosi, dan proses kognitif manusia [37].

Penelitian menunjukkan bahwa bentuk interior memiliki dampak signifikan terhadap aktivitas otak manusia.

1. Geometri dan Aktivitas Otak

Bentuk dan geometri interior memiliki pengaruh yang signifikan terhadap aktivitas otak, khususnya di area korteks *cingulate anterior* (ACC) [38]. ACC adalah bagian dari otak yang terlibat dalam berbagai fungsi kognitif dan emosional, termasuk pengolahan rasa sakit, pengambilan keputusan, dan regulasi emosi. Suatu bentuk tertentu dapat memicu respons otak yang berbeda, yang menunjukkan bahwa otak merespons secara berbeda terhadap berbagai bentuk arsitektur. Geometri interior yang berbeda mengaktifkan area otak yang berbeda yang terkait dengan pemrosesan emosional, khususnya di korteks *cingulate anterior* (ACC). Ini menunjukkan bahwa respons otak terhadap fitur arsitektur tidak hanya bersifat kognitif tetapi juga sangat emosional.

2. Elemen desain seperti cahaya, warna, akustik, dan tata letak memengaruhi perilaku, emosi, dan kesejahteraan pengguna [39].
3. Akustika ruangan sangat penting dalam konteks pemahaman ucapan, dan dapat mempengaruhi bagaimana otak kita memproses informasi akustik dan linguistik [40].
4. Lingkungan binaan, termasuk sifat akustik, memainkan peran penting dalam perkembangan otak dan proses pembelajaran, terutama bagi anak-anak [41].

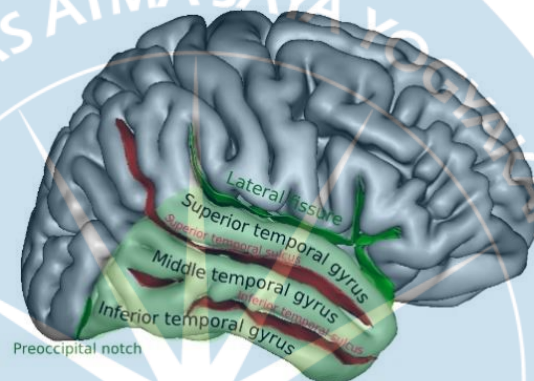
2.2.3. NEUROARSITEKTUR DALAM AKUSTIK

Studi arsitektur memiliki hubungan kompleks dengan akustik, dan persepsi manusia dalam memahami dan melestarikan kualitas sonik ruang. Suatu lingkungan binaan, termasuk sifat akustik, memainkan peran penting dalam perkembangan otak dan juga proses pembelajaran [41].

Aktivitas saraf di otak kita dapat mengikuti dua jenis informasi saat kita mendengarkan ucapan, informasi akustik (seperti suara dan nada) dan informasi linguistik (seperti makna kata) [40]. Bagian otak yang berperan dalam merespons baik aspek fisik dari suara (seperti frekuensi dan amplitudo) maupun makna linguistik dari ucapan adalah korteks temporal superior (*superior temporal gyrus*) dan korteks prefrontal.

1. Korteks Temporal Superior

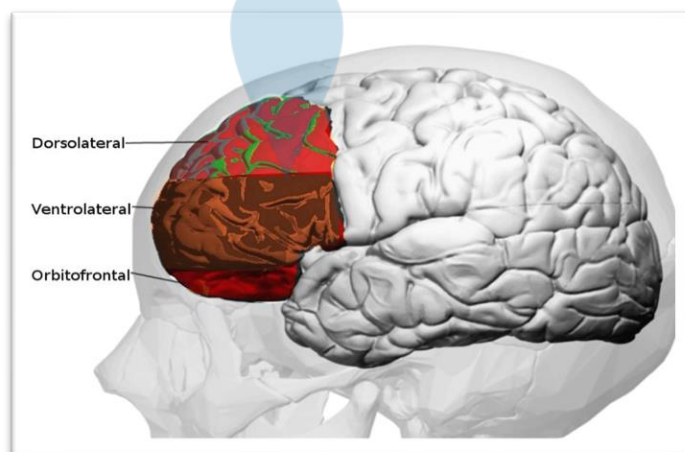
Bagian ini terletak di sisi atas lobus temporal dan sangat penting untuk pemrosesan pendengaran suara [42]. Ia terlibat dalam analisis fitur akustik dari suara, seperti frekuensi dan amplitudo. Selain itu, korteks ini juga berperan dalam pemrosesan bahasa, termasuk pengenalan kata dan pemahaman makna. Bagian otak yang memproses suara terletak di lobus temporal. Suara dari telinga akan diproses di area ini sehingga kita bisa memahami apa yang kita dengar. Area ini terorganisir dengan rapi berdasarkan frekuensi suara, dari rendah ke tinggi.



Gambar 6 Korteks Temporal Superior Gamba

Sumber: Wikipedia, Sebastian 023, 2012

2. Korteks Prefrontal

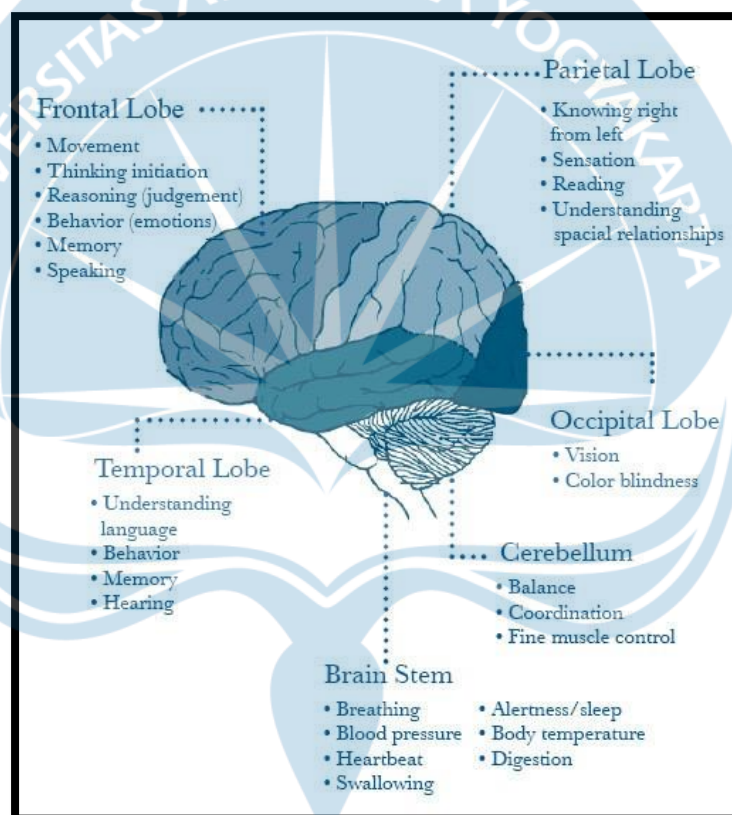


Gambar 7 Korteks Prefrontal

Sumber: NCBI Bookshelf

Bagian ini terletak di bagian depan otak dan berfungsi dalam berbagai proses kognitif, termasuk perhatian, pengambilan keputusan, dan pemrosesan bahasa. Korteks prefrontal membantu dalam memahami konteks dan makna dari ucapan, serta mengintegrasikan informasi akustik dengan informasi linguistik.

Kedua area ini bekerja sama untuk memungkinkan manusia tidak hanya mendengar suara, tetapi juga memahami makna dari apa yang kita dengar. Penelitian menunjukkan bahwa aktivitas saraf di area-area ini dapat terdeteksi saat kita mendengarkan ucapan, menunjukkan bahwa otak kita aktif dalam memproses baik aspek fisik maupun makna dari suara yang kita dengar.



Gambar 8 Bagian-bagian Otak

Sumber: NCBI Bookshelf

2.3. ELECTROENCEPHALOGRAPHY (EEG)

2.3.1. DEFINISI & PRINSIP KERJA

Elektroensefalografi (EEG) adalah metode yang banyak digunakan untuk mempelajari aktivitas otak dan mendiagnosis gangguan neurologis. Metode ini merekam sinyal listrik yang dihasilkan oleh neuron, sehingga memberikan wawasan tentang fungsi dan kesehatan otak [43], [44]. Teknik ini melibatkan penggunaan elektroda yang dipasang di kulit kepala untuk mendeteksi dan memperkuat sinyal listrik, yang kemudian diubah ke bentuk digital untuk dianalisis [45] .

EEG merekam berbagai jenis gelombang otak, yang masing-masing memiliki frekuensi dan amplitudo tertentu. Gelombang-gelombang ini mencerminkan aktivitas listrik otak yang berbeda-beda, seperti keadaan relaksasi (gelombang alfa), aktivitas mental (gelombang beta), tidur nyenyak (gelombang delta), dan sebagainya [46] .

Gelombang Otak	Frekuensi	Keterangan
<i>Theta</i>	4-7.5 Hz	Keadaan hipnosis, meditasi dalam, dan tidur. Gelombang ini berhubungan dengan kreativitas, memori, dan refleksi mendalam. Dapat muncul dalam kondisi depresi atau gangguan perhatian
<i>Alpha</i>	7.5-14 Hz	Terkait dengan relaksasi, meditasi ringan, dan konsentrasi. Sering muncul saat seseorang berada dalam keadaan tenang tetapi terjaga, dan berhubungan dengan kreativitas dan pembelajaran
<i>Beta</i>	14-40 Hz	Berhubungan dengan keadaan waspada, kecemasan, dan aktivitas mental yang tinggi. Ketika seseorang mengalami stres atau kecemasan, frekuensi gelombang beta cenderung meningkat, mencerminkan keadaan mental yang aktif dan terjaga
<i>Gamma</i>	40-100 Hz	Dikaitkan dengan pemrosesan informasi yang kompleks, kesadaran tinggi, dan pengalaman spiritual. Gelombang ini sering muncul saat seseorang terlibat dalam aktivitas yang memerlukan konsentrasi tinggi dan pemikiran analitis

Tabel 2 Gelombang otak berdasarkan Frekuensi

Sumber: Caimar, Bruna and Gabriel Lopes, 2022[46]

Gelombang *alpha* dikenal sebagai indikator dari keadaan relaksasi dan atensi terfokus [47] . Penurunan *bandpower* alpha dapat terjadi dalam kondisi stres atau kecemasan, yang menunjukkan peningkatan keterlibatan kognitif, gangguan atensi, atau respons terhadap kondisi emosional dan lingkungan sekitar [48] .

Meskipun peningkatan *bandpower* alpha dapat diindikasikan sebagai peningkatan relaksasi, namun beberapa studi menunjukkan bahwa peningkatan *bandpower* alpha dapat berkorelasi dengan penurunan kemampuan pemrosesan auditori, terutama dalam hal memahami ucapan pada kecepatan bicara yang lebih cepat [47]. Hal ini disebabkan karena gelombang alpha pada rentang frekuensi 10-14 Hz dapat menurunkan sensitivitas temporal, sehingga memengaruhi kemampuan otak dalam memproses informasi suara yang berubah dengan cepat.

Bandpower theta berkaitan dengan pemrosesan informasi sensorik, termasuk suara [49]. Peningkatan *bandpower* theta dapat menunjukkan peningkatan sensitivitas terhadap modifikasi temporal dalam suara, seperti ritme dan intonasi [47]. Ini berarti mereka dapat mendeteksi perubahan dalam suara, seperti ritme atau intonasi, dengan lebih akurat. Penelitian menunjukkan bahwa ada peningkatan sinkronisasi fase antara area temporal dan frontal otak dalam rentang frekuensi theta saat individu melaporkan tingkat kesenangan yang lebih tinggi saat mendengarkan musik [50].

EEG dapat menunjukkan bagaimana aktivitas otak berubah sebagai respons terhadap rangsangan eksternal, seperti membuka dan menutup mata atau stimulasi sensorik lainnya. Menganalisis data EEG (electroencephalography) melibatkan beberapa langkah penting untuk mengekstrak informasi yang relevan tentang aktivitas otak. Berikut adalah langkah-langkah umum dalam analisis data EEG [51]:

1. Pengumpulan Data

Data EEG dikumpulkan dengan menempatkan elektroda di berbagai lokasi di kepala. Elektroda ini merekam sinyal listrik yang dihasilkan oleh aktivitas neuron di otak.

2. Pra-pemrosesan Data

Pembersihan Data Menghapus artefak yang tidak diinginkan, seperti gerakan mata, otot, atau gangguan listrik dari perangkat lain. Ini penting untuk memastikan bahwa analisis hanya mencakup sinyal otak yang relevan.

3. Filter Sinyal

Menerapkan filter untuk menghilangkan frekuensi yang tidak diinginkan, seperti *noise*, dan untuk menekankan frekuensi yang relevan (misalnya, gelombang alpha, beta, theta)

4. Segmentasi Data

Memecah data EEG menjadi segmen-segmen yang lebih kecil berdasarkan waktu atau peristiwa tertentu (misalnya, saat stimulus visual diberikan). Ini memungkinkan analisis yang lebih terfokus pada respons otak terhadap rangsangan tertentu.

5. Analisis Frekuensi

Menggunakan teknik seperti Transformasi Fourier untuk menganalisis komponen frekuensi dari sinyal EEG. Ini membantu dalam mengidentifikasi gelombang otak yang dominan dan bagaimana mereka berubah seiring waktu atau dalam respons terhadap stimulus.

6. Visualisasi Data

Menggunakan grafik dan diagram untuk memvisualisasikan hasil analisis. Ini dapat mencakup representasi gelombang otak, peta topografi dari aktivitas otak, atau grafik yang menunjukkan perubahan dalam rasio gelombang otak.

7. Interpretasi Hasil

Menginterpretasikan hasil analisis dalam konteks penelitian. Ini melibatkan pemahaman bagaimana perubahan dalam aktivitas gelombang otak terkait dengan pengalaman pengguna terhadap elemen arsitektur dan bagaimana hal ini dapat memengaruhi kesejahteraan dan perilaku.

Emotiv EPOC adalah EEG berbiaya rendah dengan 14 *channel* yang dapat digunakan untuk penelitian antarmuka otak-komputer (*brain-computer interface/BCI*) [52], [53]. Perangkat ini menangkap gelombang otak dengan frekuensi yang berbeda, termasuk delta, theta, alpha, beta, dan gamma, yang berhubungan dengan berbagai kondisi emosional dan kognitif [52]. *Headset* EPOC telah digunakan untuk mempelajari aktivitas otak selama melakukan suatu kegiatan, seperti menyelesaikan tugas matematika dan mendengarkan musik yang menenangkan [46]. Emotiv EPOC® dapat menjadi alternatif yang valid untuk sistem EEG laboratorium dalam mengukur ERP auditori tertentu [54].