

**PANEL AKUSTIK MENGGUNAKAN BAHAN
CAMPURAN PAPAN ROCKWOOL, SERBUK KAYU
DAN SERAT POKOK KENAF**

Bil.	Nama	No. matrik
1.	Shamsul Amrul bin Ibrahim	08DKA17F2016
2.	Muhammad Syahmi Aqil bin Nazarul'azim	08DKA17F2028
3.	Nur Aziemah binti Romzi	08DKA17F2034
4.	Muhammad Aqmal bin Abd Wahab	08DKA17F2078

Penyelia:

1. Puan Rahayu binti Hayat
2. Puan Herliana binti Hassan

JABATAN KEJURUTERAAN AWAM

DISEMBER 2019

ABSTRAK

Panel dinding adalah produk pembinaan dinding yang mempunyai pelbagai bahan yang digunakan untuk keperluan pemasangan dinding di sesebuah bangunan. Panel dinding ini juga mempunyai pelbagai ukuran mengikut kesesuaian saiz bangunan itu sendiri. Gangguan bunyi bising dari pelbagai sumber menjadi masalah utama untuk kajian ini. Tujuan kajian ini dilakukan adalah untuk menghasilkan panel serapan bunyi. Kelas LA001 dijadikan rujukan untuk mengambil kira anggaran masa gema dalam pengiraan rumus Sabine. Nilai-nilai pekali serapan bagi setiap bahan di ambil kira. Empat sampel telah dibuat mengikut perbezaan peratusan campuran bahan serbuk kayu, papan rockwool dan serat pokok kenaf. Sampel tersebut berukuran diameter 100mm dan 28mm, dan mempunyai ketebalan yang sama iaitu 20mm. Ujian tiub impedans dilakukan untuk mendapatkan nilai serapan bunyi bagi setiap sampel. Perbandingan akan dibuat berdasarkan data yang diperoleh. Sampel 1 menunjukkan nilai serapan yang baik pada 125hz ialah 42.984, pada 500hz ialah 50.14 dan 2000hz ialah 51.3. Kemudian, daripada data yang diperoleh, penghasilan panel akustik berukuran 300mm x 300mm x 40mm telah dibuat mengikut peratusan seperti sampel 4 iaitu 50% papan rockwool, 35% serat pokok kenaf dan 15% serbuk kayu. Berdasarkan keputusan ini, hasil analisa dan perbincangan telah dijalankan, dapat dirumuskan bahawa penghasilan panel akustik daripada bahan campuran papan rockwool, serat pokok kenaf dan serbuk kayu ini dapat mengurangkan bunyi bising bagi sesuatu tempat.

Kata kunci: Papan rockwool, serat pokok kenaf, serbuk kayu, rumus Sabine, tiub impedans

SENARAI KANDUNGAN

ABSTRAK	2
BAB 1	5
PENDAHULUAN	5
1.1 Pengenalan	5
1.2 Penyataan Masalah	6
1.3 Objektif Kajian	7
1.4 Skop Kajian	7
BAB 2	8
KAJIAN LITERATUR	8
2.1 Pendahuluan	8
2.2 Konsep	9
2.2.1 Panel dinding	9
2.3 Jenis-jenis Panel Dinding Penyerap Bunyi	9
2.3.1 Panel dinding kayu	10
2.3.2 Panel dinding PVC	11
2.3.3 Panel Gypsum	12
2.3.4 Perbandingan Jenis-Jenis Panel Dinding	13
2.4 <i>Rockwool</i>	15
2.5 Serat Pokok Kenaf	16
2.6 Serbuk Kayu	17
2.7 Peranan frekuensi dalam bilik akustik	17
2.8 Bahan Serapan Bunyi	19
2.8.1 Pekali Serapan	21
2.9 Gemaan	22
2.9.1 Masa Gemaan	23
2.9.2 Peranan Fizikal Bilik terhadap gemaan	23
2.9.3 Pengukuran Masa Gemaan	24

2.9.4	Pengiraan Menggunakan Rumus Klasik	25
BAB 3		28
METODOLOGI		28
3.1	Pengenalan	28
3.2	Carta Alir	29
3.3	Penyediaan Bahan	30
3.4	Prosedur membuat sampel	30
3.5	Ujian Bunyi <i>Impedance Tube</i>	32
3.5.1	Peralatan dan prosedur menggunakan alat <i>Impedance Tube</i>	33
3.6	Prosedur Penghasilan Panel Akustik	36
BAB 4		38
HASIL DAPATAN KAJIAN		38
4.1	Pengenalan	38
4.2	Pencapaian Objektif Pertama	38
4.3	Pencapaian Objektif Kedua	41
4.3.1	Data Pekali Serapan bagi setiap sampel	41
4.4	Pencapaian objektif ketiga	45
4.5	Kos Projek	46
BAB 5		47
PERBINCANGAN, KESIMPULAN DAN CADANGAN		47
5.1	Perbincangan	47
5.2	Kesimpulan	47
5.3	Cadangan	47
Rujukan		48

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Pengenalan

Perkembangan dunia pembinaan kini sangat maju dan pesat. Pelbagai inovasi baru daripada pelbagai produk binaan yang memberikan banyak keuntungan dan kemudahan pada masa kini. Salah satu inovasi tersebut ialah panel dinding.

Panel dinding adalah produk pembinaan dinding yang mempunyai pelbagai bahan yang digunakan untuk keperluan pemasangan dinding di sesebuah bangunan. Panel dinding ini juga mempunyai pelbagai ukuran mengikut kesesuaian saiz bangunan itu sendiri.

Bunyi membawa maksud gelombang mekanikal iaitu tekanan yang bergerak menerusi pepejal, cecair dan gas. Ia terdiri dari frekuensi dalam julat pendengaran iaitu tahap di mana ia cukup kuat untuk didengar dan dapat merangsang organ-organ pendengaran disebabkan getaran udara yang terhasil. Daripada penjelasan di atas, bunyi yang terhasil adalah dipengaruhi oleh medium-medium dan keadaan sekeliling.

Merujuk kajian yang dilakukan oleh Bohn (1988), menyatakan keadaan persekitaran memberi kesan perubahan terhadap halaju dan penyerapan bunyi ke udara. Walaupun dengan peratusan yang kecil ia dapat memberi kesan yang besar kepada pendengar terutamanya di kawasan tertutup atau bilik. Jika di kawasan yang tertutup, bunyi yang dihasilkan akan diserap dan dipantul oleh bahan atau peralatan yang ada di sekelilingnya. Kenyataan ini disokong oleh hasil kajian Arenas dan Crocker (2010) menyatakan bahan penyerap bunyi dapat mengurangkan paras tekanan gemaan terutama di dalam kawasan tertutup atau bilik.

Bilik yang dijadikan tempat belajar atau tempat perbincangan haruslah mempunyai ciri-ciri akustik yang baik terutama dari aspek masa gemaan supaya aktiviti perbincangan dan pembelajaran tidak terganggu. Masa gemaan terhasil apabila bunyi di dalam bilik berterusan terpantul di dalam tempoh tertentu selepas punca bunyi dihentikan.

Dalam sebuah bilik yang tertutup, bunyi yang dikeluarkan ke arah tertentu akan memantul semula. Ia bergantung kepada ciri-ciri yang membentuk pembahagian bilik tersebut. Pemantulan bunyi tersebut boleh mengganggu proses pembelajaran di dalam bilik kuliah.

1.2 Penyataan Masalah

Analisis terhadap bunyi begitu penting terhadap bilik yang dibina untuk tujuan tertentu. Sebagai contoh dewan, bilik kuliah, studio rakaman, pusat muzik, perpustakaan dan lain-lain. Analisis terhadap bunyi perlu dilakukan untuk memperolehi ciri-ciri bunyi yang dikehendaki. Jika tidak, tujuan pembinaan bilik tersebut tidak tercapai. Jurutera bunyi perlu menganalisis keadaan akustik di dalam bilik. Daripada analisis yang dibuat, jurutera akan menentukan reka bentuk bilik, jenis penyerap bunyi yang sesuai dan bahan yang perlu digunakan untuk membina bilik tersebut

Bunyi yang terhasil adalah dipengaruhi oleh medium-medium dan keadaan sekeliling. Keadaan persekitaran memberi kesan perubahan terhadap halaju dan penyerapan bunyi ke udara. Walaupun dengan peratusan yang kecil ia dapat memberi kesan yang besar kepada pendengar terutamanya di kawasan tertutup atau bilik. Sebagai contoh Diaz dan Pedro (2004) menyatakan bahawa semakin isipadu bilik meningkat semakin tinggi kadar masa gema yang dihasilkan di dalam bilik. Keadaan bilik yang berlainan dari satu sama lain dari segi saiz menyebabkan hasil kiraan tidak boleh diguna pakai untuk analisis bilik yang berbeza.

Tambahan pula pada masa kini bilik dilengkapi dengan penyerap bunyi yang diperbuat dari pelbagai-bagai jenis bahan. Reka bentuk bangunan, pelan bangunan dan pemilihan bahan binaan mempengaruhi keadaan akustik sekitar bangunan. Ini menyebabkan nilai serapan berbeza dan menyukarkan pengiraan. Faktor pantulan bunyi ini akan menyebabkan kesukaran dalam berkomunikasi antara pensyarah dan pelajar.

1.3 Objektif Kajian

Kajian ini mempunyai beberapa objektif bagi mencapai matlamat kajian yang dijalankan. Antaranya adalah untuk:

- i. Menentukan nilai-nilai t rumus Sabine untuk digunakan di dalam aplikasi untuk menjangkakan masa gemaan.
- ii. Menentukan kadar serapan bunyi.
- iii. Menghasilkan panel dinding akustik menggunakan bahan serat pokok kenaf, serbuk kayu dan *rockwool*.

1.4 Skop Kajian

Kelas LA001 dijadikan tempat kajian untuk pengiraan masa gemaan menggunakan rumus Sabine. Pengiraan ini adalah bertujuan untuk mendapatkan data awalan dan data selepas menggunakan panel. Selain itu, ujian *Impedance Tube* dilakukan di makmal di Universiti Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM). Penghasilan beberapa sampel telah dibuat bagi melakukan ujian ini. Perbandingan antara keempat-empat sampel diambil kira untuk penghasilan panel akustik. Daripada data tersebut, nisbah campuran yang mempunyai nilai serapan akan dijadikan rujukan.

Penghasilan panel akustik menggunakan bahan seperti serbuk kayu, *rockwool*, dan serat pokok kenaf. Ketiga-tiga bahan ini akan dicampurkan mengikut kekuatan penyerapan bunyi masing-masing bagi mendapatkan satu panel penebat bunyi.

BAB 2

KAJIAN LITERATUR

2.1 Pendahuluan

Kebanyakan aktiviti yang melibatkan bunyi seperti perbincangan, syarahan, pembelajaran mahupun rakaman suara dilakukan di dalam bilik. Faktor ini memerlukan keadaan akustik bilik yang baik. Ini memerlukan kajian dan analisis supaya ciri-ciri bilik yang sesuai diperolehi mengikut kegunaan sesuatu bilik.

Bilik didefinisikan sebagai ruang yang disempadani oleh dinding, tingkap, lantai dan siling. Ia boleh dikategorikan sebagai ruang tertutup. Faktor ini menyebabkan ciri-ciri akustik bilik berbeza dari ruang terbuka. Ini disebabkan oleh tindak balas pantulan dari permukaan di dalam bilik. Daripada punca bunyi diaktifkan, bunyi yang dihasilkan di dalam ruang tertutup adalah berbeza dari bunyi yang dihasilkan di luar ruang terbuka. Ini kerana ia dipengaruhi oleh sifat pantulan bahan dan bentuk ruang tertutup tersebut. Jika ruang tertutup ini dikelilingi dengan permukaan yang bersifat pantulan, pantulan bunyi berganda akan terhasil.

Pantulan bunyi terhasil adalah disebabkan bunyi yang bergerak melanggar sempadan bilik. Bunyi bergerak hanya dalam jarak yang kecil sebelum ia melanggar dinding dan permukaan lain. Hasil dari pelanggaran permukaan di dalam bilik menyebabkan pantulan atau penyerapan bunyi yang mengakibatkan perubahan ciri-ciri bunyi. Apabila bunyi melanggar satu permukaan, ia dipindahkan, terpantul dan ada yang terserap. Selalunya ketiga-tiga perkara ini terjadi. Sebahagian tenaga terpantul dan sebahagiannya terserap. Disebabkan fenomena ini, bunyi yang didengar adalah berbeza dari bunyi yang dihasilkan.

Bunyi yang dihasilkan di dalam bilik selalunya menghasilkan pengulangan bunyi. Tekanan bunyi yang didengar tidak secara terus ke nilai akhir kerana faktor perjalanan bunyi yang mempunyai jarak yang berbeza. Perkara ini terjadi akibat dari komponen pantulan bunyi dari dinding bilik yang jaraknya lebih jauh dari komponen bunyi yang bergerak secara terus kepada pendengar. Disebabkan perkara ini, pengulangan bunyi dapat didengar. Pengulangan bunyi ini dikenali sebagai gema.

Walau bagaimanapun, dunia kini semakin maju dengan pelbagai peralatan dan teknologi yang canggih. Oleh itu, telah wujudnya penghasilan pelbagai jenis panel daripada bahan yang berlainan sebagai fungsi yang sama iaitu sebagai penebat dan penyerap bunyi.

2.2 Konsep

2.2.1 Panel dinding

Panel dinding ialah sekeping bahan yang rata dan dipotong bentuk segi empat tepat dan mempunyai ketebalan yang ditetapkan. Fungsi panel dinding ialah sebagai lapisan penutup yang melindungi permukaan dinding dan panel dinding juga dijadikan sebagai hiasan. Selain itu, panel dinding mampu menjadi penebat dan penyerap bunyi yang baik.

Panel dinding adalah produk pembinaan dinding yang mempunyai pelbagai bahan yang digunakan untuk keperluan pemasangan dinding di sesebuah bangunan. Panel dinding ini juga mempunyai pelbagai ukuran mengikut kesesuaian saiz bangunan itu sendiri.

Penggunaan panel dinding bertujuan untuk memudahkan pendawaian bagi memasang alat elektrik. Panel dinding yang telah dikomersialkan dipasaran merupakan saiz yang diperlukan oleh pengguna. Penggunaan panel dinding dapat mengurangkan kos dan beban pembinaan dengan lebih efisien kerana panel dinding didatangi dengan pelbagai warna dan corak tanpa perlu dicat atau kemasan hiasan yang lain.

2.3 Jenis-jenis Panel Dinding Penyerap Bunyi

Pada masa kini, keperlbagaian dalam penghasilan panel dinding ini semakin maju. Terdapat banyak jenis panel dinding yang ada dipasaran. Penghasilan pelbagai jenis panel daripada bahan yang berlainan sebagai fungsi yang sama iaitu sebagai penebat dan penyerap bunyi.

2.3.1 Panel dinding kayu

Wainscoting atau *wall moulding* atau lebih dikenali sebagai panel kayu di Malaysia merupakan suatu perkara yang biasa di luar negara tetapi masih belum digunakan secara meluas di Malaysia. Panel kayu ini kelihatan amat kemas dan cantik apabila digandingkan dengan cat atau kertas dinding. Panel kayu ini amat sesuai bagi mereka yang menyukai dekorasi gaya Inggeris, tetapi dengan daya kreatif, ia juga sesuai digunakan dalam rumah dengan tema moden.

Panel ini mempunyai saiz berukuran 240mm x 1220mm dan ketebalannya antara 10mm hingga 20mm. Panel ini juga didatangi dengan pelbagai jenis gabungan kayu untuk dijadikan hiasan terutamanya di dinding rumah. Harga pasaran panel ini bergantung kepada jenis kayu yang digunakan.

Beberapa ciri positif yang boleh dikaitkan dengan panel ini ialah panel ini merupakan produk semulajadi iaitu daripada pokok. Ia tidak menyebabkan reaksi alahan, tidak memancarkan bahan toksik contohnya semasa berlakunya pembakaran. Dari sudut pandang estetika, tekstur kanvas kayu mempunyai rupa yang menarik.

Pemilihan pelbagai corak dan warna yang berbeza disediakan oleh pelbagai spesies kayu, membolehkan anda membuat reka bentuk dalaman yang unik dan memenuhi sepenuhnya rasa yang paling indah. Panel ini juga merupakan penyerap bunyi yang sangat baik kerana bahan semulajadi kayu itu membolehkan penyerapan bunyi itu berlaku.

Selain itu, panel dinding kayu ini juga mempunyai beberapa kelemahan. Antaranya ialah rintangan kelembapan yang lemah, perubahan suhu yang melampau membolehkan bentuk struktur kayu tersebut berubah. Kelemahan utama ialah ketahanan api yang lemah.



Rajah 2.1 Panel dinding kayu

2.3.2 Panel dinding PVC

Panel PVC adalah pilihan yang sangat menjimatkan dan praktikal untuk membaik pulih bilik mandi dan bilik lain, seperti dewan, tandas atau lorong, jika anda tidak mahu menghabiskan banyak wang dan usaha di atasnya. Mereka dibentangkan dalam pelbagai warna dari mana anda boleh mencari pilihan terbaik. Panel PVC telah memenangi pasaran untuk populariti mereka dengan serta-merta kerana mereka mula dijual, kerana mereka serba boleh dan menjimatkan.

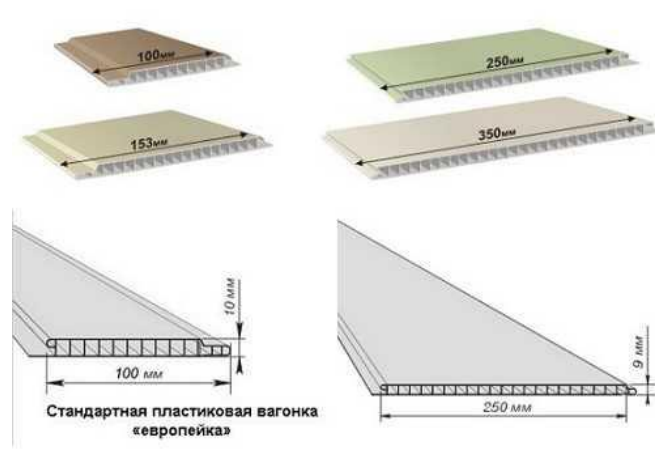
Panel PolyVinyl Chloride (PVC) diperbuat daripada gentian tumbuhan mesra alam, 100% penggunaan biodegradable yang digunakan secara meluas untuk penyerapan bunyi. Panel ini diperbuat daripada bahan-bahan mesra alam yang boleh dikitar semula. Panel ini terbukti dapat menyerap bunyi dengan baik dan banyak digunakan untuk dinding kawalan bunyi dan sebagai panel siling.

Pada kebiasaannya, ukuran pasaran bagi panel dinding PVC ini ialah panjang 100mm-200mm, lebar 100mm-350mm manakala lebarnya diantara 9mm-10mm. Cara pemasangan panel ini sangat mudah walaupun pada permukaan yang tidak rata.

Kelebihan bagi panel dinding PVC ini ialah terdapat penebat bunyi dan haba. Panel ini menghasilkan penyerap bunyi yang baik dan jangan biarkan sejuk di dalam bilik. Sejumlah besar warna dan warna. Warna standard PVC berwarna putih, tetapi pengeluar telah menghasilkan sejumlah besar warna untuk setiap rasa pengguna. Pada masa ini, panel dengan lukisan atau tiruan tekstur batu atau kayu adalah popular. Ia juga rintangan kelembapan. Oleh kerana permukaan licin mereka tidak mengekalkan kelembapan. Oleh kerana tidak terdapat liang-liang pada bahan, kotoran, acuan dan mikroorganisma yang berbahaya yang lain tidak berlanjutan pada permukaannya. Oleh itu, mereka sering digunakan di bilik-bilik di mana kelembapan yang tinggi.

Selain itu, kelemahan bagi panel PVC ini ialah ketidakstabilan kepada sinaran ultraviolet. Panel plastik putih selepas tempoh tertentu mungkin berubah menjadi kuning dan hilang

penampilan asalnya. Komposisi bahan mengandung kapur, yang merupakan komponen penentu kekuatan produk. Jumlah kapur dalam panel ditentukan semata-mata oleh pengilang. Panel ini akan menghasilkan bau yang tidak senang pada mulanya. Apabila anda membeli dan menggunakan panel selama beberapa hari terdapat bau tertentu, tetapi kemudian ia benar-benar hilang.



Rajah 2.2 Panel PVC

2.3.3 Panel Gypsum

Gypsum board sering dikenal dengan drywall, wallboard, atau eternit. Ia berbeza dari produk bangunan panel jenis lain, seperti partition lapis, partition keras, dan partition serat, kerana bahan-bahannya yang tidak mudah terbakar. Partition dinding gypsum menghasilkan permukaan yang sesuai untuk perhiasan dalaman rumah.

Gypsum adalah mineral yang terdapat dalam bentuk kristal yang dikenali sebagai kalsium sulfat dihydrate. Satu ratus paun batu gypsum mengandungi kira-kira 21 paun air gabungan kimia. Batu gypsum dilombong atau diasingkan dan diangkut ke kemudahan pembuatan. Batu yang dihancurkan kemudiannya menjadi serbuk halus dan dipanaskan hingga 350 darjah F, yang mengandungi perempat dari air gabungan kimia dalam proses yang disebut kalkulasi. Gypsum kalsium kemudiannya digunakan sebagai asas untuk plaster gypsum, gypsum board dan produk gypsum yang lain.

Ia mempunyai ukuran standard: ketebalan 12.5 mm, lebar 1.2 m, panjang 2.3m-2.5m. Bahan ini banyak digunakan di premis-premis di mana terdapat peningkatan keperluan untuk keselamatan kebakaran, serta untuk perapian lapisan dan cerobong asap. Panel ini tidak memerlukan penjagaan khas dan ia mudah di pasang di dinding. Kelemahan panel gypsum ini ialah ia bukan penyerap bunyi yang baik kerana bahan yang digunakan tidak memfokuskan pada penyerapan bunyi sahaja.



Rajah 2.3 Panel Gypsum

2.3.4 Perbandingan Jenis-Jenis Panel Dinding

Jadual 2.1 Perbandingan Jenis-Jenis Panel Dinding

Jenis-jenis Panel Dinding	Panel Kayu	Panel PVC	Panel Gypsum
Ukuran saiz pasaran	240mm x 1220mm	Panjang 100mm-200mm, lebar 100mm-350mm	Panjang 2.3m-2.5m, lebar 1.2m
Ketebalan (mm)	10mm	9mm-10mm	12.5 mm
Kelebihan	<ul style="list-style-type: none"> - Merupakan bahan semulajadi yang tidak mempunyai bahan kimia. - Pelbagai corak dan warna. - Penyerap bunyi yang sangat baik. 	<ul style="list-style-type: none"> - Penyerap bunyi dan haba yang baik. - Rintangan kelembapan kerana permukaannya yang licin. 	<ul style="list-style-type: none"> - Kalis pada api. - Tidak memerlukan penjagaan khas. - Pemasangan yang mudah.
Kekurangan	<ul style="list-style-type: none"> - Tidak tahan pada api dan kelembapan suhu. - Mudah berubah struktur bentuk. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ketidakstabilan kepada sinaran ultraviolet. - Menghasilkan bau yang tidak senang pada awalnya. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tidak berfungsi sebagai penyerap bunyi.

2.4 *Rockwool*

Rockwool adalah media tumbuhan yang diperbuat daripada bahan-bahan semulajadi iaitu batu *Basalt* dan *Chalk*. Bahan ini kemudiannya dicairkan pada 1600 ° C ke dalam lava yang mempunyai ruang berputar yang besar. Setelah seratnya diputarkan menjadi satu bahan pepejal, kemudian pepejal tersebut dimampatkan dan dikeringkan menjadi seperti tikar. Tikar tersebut kemudiannya dipotong menjadi bentuk kubus dan kiub.

Ciri-ciri bagi papan rockwool ini ialah papan ini mudah dipotong dan dibentuk. Ia juga sesuai digunakan dan dipasang pada bangunan atau bilik-bilik tertutup kerana bahan ini tidak mudah terbakar sehingga kira-kira 1170° C (2150 ° F). Ia juga bersifat kalis air. Walaupun bahan ini diperbuat daripada bahan semulajadi dan kitar semula, tetapi ia tidak mudah reput atau didekati dengan pertumbuhan seperti kulat dan cendawan.

Selain itu, papan rockwool ini adalah ia merupakan penyerap bunyi yang sangat bagus. Bahan ini seringkali digunakan di bilik-bilik tertutup terutamanya di pejabat kerana sifatnya sebagai penebat bunyi dan menjimatkan kos perbelanjaan bagi sesebuah bangunan.



Rajah 2.4 Papan Rockwool

2.5 Serat Pokok Kenaf

Kenaf atau nama saintifiknya *Hibiscus Cannabinus* ialah sejenis tanaman jangka pendek berserat dan bukan berkayu yang berasal dari Afrika (barat Sudan) dengan sejarahnya melebihi 4,000 tahun.

Kenaf merupakan tanaman mesra alam, dengan pertumbuhan yang sangat cepat (mengambil masa lebih kurang 4 bulan) untuk mengeluarkan hasil. Pokok ini sesuai untuk tanaman tropika dan boleh beradaptasi dengan persekitaran. Ia juga berpotensi untuk menjadi tanaman industri baru yang penting kerana banyak kegunaan selain berpotensi untuk menjadi sumber makanan kepada haiwan seperti biri-biri dengan kandungan protein yang tinggi.

Serat kenaf diguna dalam bio-komposite untuk bahan binaan dan komponen automobil. Produk lain boleh dihasilkan pulpa dan kertas. Penggunaa serat pokok kenaf, boleh di anggap masih baru dalam industri pemulpaan juga kepada industri lain di Malaysia. Sumber bukan kayu, bukan sahaja merupakan sumber yang tidak terhad malah tempoh matangnya juga agak singkat jika dibandingkan dengan sumber kayu. Kenaf secara khasnya, hanya memerlukan dalam lingkungan 150 hari sebelum boleh dikumpulkan, berbanding minimum 5-10 tahun bagi kebanyakan spesis kayu.



Rajah 2.5 Pokok Kenaf

2.6 Serbuk Kayu

Serbuk kayu adalah produk sampingan atau sisa operasi kayu seperti menggergaji, pengilangan, perancangan, penghalaan, penggerudian dan pengamplasan. Ia terdiri daripada zarah halus kayu. Pada kebiasaannya, serbuk kayu akan dibiarkan atau dibakar begitu sahaja. Salah satu cara yang dapat diselesaikan adalah mememanfaatkannya dengan menjadikan produk yang lebih berguna seperti manghasilkan ia sebagai satu panel penyerap bunyi.



Rajah 2.6 Serbuk Kayu

2.7 Peranan frekuensi dalam bilik akustik

Frekuensi bunyi adalah perkara yang penting di dalam pengukuran bunyi di dalam bilik. Nilai-nilai frekuensi turut mempengaruhi keadaan sesuatu ciri-ciri akustik. Ini ditunjukkan dari kajian Mikulski dan Radosz (2011) yang mendapati hubungan indeks pemindahan percakapan dengan masa gemaan adalah lebih baik menggunakan frekuensi purata pada kadar nilai 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz dan 4000Hz dari nilai frekuensi purata 500Hz, 1000Hz dan 2000Hz untuk mengira masa gemaan. Selain itu frekuensi mempengaruhi kecekapan pendengaran. Berdasarkan Honarvar et al. (2010), frekuensi kadar normal aktiviti pendengaran iaitu antara 500Hz hingga 5000Hz. Frekuensi yang sering digunakan di dalam bilik berdasarkan penulisan Sant'Ana dan Zannin (2010) adalah di dalam gereja sebanyak 125Hz hingga 4000Hz.

Kepentingan frekuensi adalah karakter akustik di dalam bilik adalah bergantung pada frekuensi dan kedudukan penerima bunyi. Kadar serapan bunyi sesuatu bahan adalah berkait dengan frekuensi bunyi yang dikenakan. Sifat bahan seperti keras, lembut, berliang atau mempunyai ruang sel terbuka boleh mengubah sesuatu pengukuran bunyi bergantung pada frekuensi bunyi yang dikenakan. Bahan yang keras menyerap bunyi dalam kadar yang tinggi pada frekuensi rendah manakala bahan berliang lebih menyerap bunyi pada frekuensi tinggi. Bahan yang mempunyai sel terbuka lebih menyerap bunyi pada frekuensi tinggi. Selain bertindak balas bersama sifat bahan frekuensi, ia turut mempengaruhi kadar kestabilan graf penurunan bunyi.

Kenyataan kadar serapan mahupun masa gema bergantung kepada frekuensi bunyi. Bunyi yang wujud di dalam bilik, termasuk keadaan akustik yang dihasilkan oleh sesuatu alat dan bahan yang digunakan sebagai pengawal bunyi adalah bergantung pada frekuensi. Pengaruh frekuensi adalah begitu penting untuk menilai aras bunyi atau menilai sesuatu produk yang mengeluarkan bunyi. Tambah pula, kadar pekali penyerap bunyi untuk setiap bahan berkait dengan frekuensi. Diaz dan Monaragala (2007) membuktikan bahawa frekuensi mempengaruhi akustik bilik apabila dari kajian yang dilakukan menunjukkan penyerapan bunyi oleh fabrik ruang berkedut adalah cekap pada frekuensi 2000Hz dan keatas apabila kadar pekali serapan bunyi adalah tinggi dari 50%. Penyerap bunyi berliang lebih cekap apabila pada kadar frekuensi tinggi. Tetapi kecekapannya boleh ditingkatkan pada frekuensi rendah jika ditambahkan ketebalan dan ruang udara.

Frekuensi terbahagi kepada aras rendah, sederhana dan tinggi. Sebagai contoh dalam kajian Jean dan Marie (2007) menyatakan frekuensi rendah adalah di kalangan 50Hz ke 600Hz. Pada frekuensi rendah bacaan pengukuran kurang baik dan boleh mengakibatkan penghasilan graf penurunan aras bunyi yang mempunyai ralat. Tetapi semakin meningkat frekuensi semakin sempurna graf penurunan aras bunyi dihasilkan. Penurunan aras bunyi berkeadaan semakin stabil apabila frekuensi semakin meningkat. Ketika melakukan pengiraan gema bahan, kesemua frekuensi rendah, sederhana dan tinggi perlu diambil kira. Jika keadaan bilik kurang kritikal frekuensi sederhana iaitu 1000Hz haruslah digunakan.

2.8 Bahan Serapan Bunyi

Bahan serapan bunyi digunakan untuk mengurangkan aras bunyi di sesuatu kawasan. Ia digunakan untuk memerangkap tenaga bunyi. Permukaan penyerap digunakan untuk mengurangkan aras bunyi atau mengurangkan gema. Ia tidak merubah bunyi yang datang secara terus dari punca ke penerima. Tetapi ia bertindak balas pada bunyi yang melanggarnya. Arenas dan Crocker (2010) pula menyatakan bahan penyerap bunyi menyerap kebanyakan tenaga bunyi yang melanggar bahan tersebut dan memantulkannya pada kadar yang kecil. Apabila bunyi berlanggar dengan sempadan permukaan bilik, sebahagian dari tenaga diserap atau berpindah dan sebahagiannya terpantul semula ke dalam bilik. Aras bunyi di dalam bilik boleh dikurangkan dengan penggunaan bahan penyerap bunyi yang sesuai.

Pemilihan bahan begitu penting di dalam aktiviti menentukan akustik bilik. Seperti dinyatakan oleh Aretz dan Orłowski (2009), dengan mengaplikasi pelbagai bahan akustik seperti tirai akustik dan panel penyerap dapat mengawal kekuatan bunyi dan masa gema dalam kadar yang besar. Meissner (2007) menyatakan iaitu kepelbagaian lokasi bahan boleh memberi kesan pergantungan masa gema terhadap frekuensi punca bunyi. Bahan-bahan ini dapat menentukan kegunaan sesuatu bilik tersebut samaada sebagai tempat rakaman suara, kawasan berucap mahupun ruang bacaan.

Bahan terbahagi kepada bersifat keras dan berliang secara umumnya. Bahan bersifat berliang mempunyai kadar serapan bunyi yang tinggi. Ini kerana apabila tenaga bunyi melanggar permukaan berliang ia menyebabkan tenaga bunyi bertukar kepada tenaga haba akibat dari getaran yang disebabkan oleh pelanggaran partikel-partikel halus bahan berliang. Ini menyebabkan tenaga bunyi berkurangan. Pada waktu tenaga akustik berpindah ke haba di dalam bahan tersebut, kadar serapan juga berubah berdasarkan jenis permukaan bahan penyerap yang digunakan. Perkara ini diterangkan oleh Diaz dan Monaragala (2007) menyatakan ia terjadi kerana serapan melalui geseran hadir bila bunyi memasuki sesuatu liang atau celahan di dalam satu bahan berliang. Molekul udara terhalang dari meneruskan kitaran mampatan. Tenaga bunyi berkurang berubah ke tenaga haba. Seddeq (2009) turut menyatakan ruang udara meningkatkan pekali serapan bunyi pada nilai frekuensi kadar sederhana dan tinggi.

Sifat bahan dapat mempengaruhi ciri-ciri akustik bilik. Bahan yang keras mempunyai sifat yang memantulkan bunyi manakala bahan yang mempunyai ruang terbuka pula mengurangkan tenaga bunyi dengan proses pantulan dengan permulaannya memerangkap tenaga bunyi dan memantulkan ke sudut lain di dalam sel yang sama. Selain itu, ketebalan bahan turut memainkan peranan penting dalam mempengaruhi kecekapan serapan bunyi. Semakin tebal bahan semakin baik bahan serapan bunyi tersebut. Perkara ini turut terbukti dalam kajian Hong-Ru et al. (2011) iaitu pembinaan penyerap bunyi yang ketebalannya boleh diubah membuktikan ketebalan bahan mempengaruhi kadar serapan bunyi.

Langsir adalah bahan penyerap bunyi yang sering digunakan di dalam bilik. Penggunaan langsir dapat menukar ciri-ciri akustik sesuatu bilik. Langsir boleh dikatakan sebagai bahan berliang. Selain dari berliang, cara mengantungkan langsir turut dapat mempengaruhi ciri-ciri akustik sesuatu bilik. Ini disebabkan ketika gelombang bunyi menghampiri dinding, tekanan meningkat tetapi kelajuan zarah udara akan menjadi sifar kerana gelombang bunyi menghampiri dinding. Apabila berada pada kadar $1/4$ jarak gelombang dari dinding, tekanan menjadi sifar dan kelajuan zarah udara menjadi maksimum. Jika ditempatkan langsir pada jarak $1/4$ gelombang dari pada dinding, nilai kadar serapan bunyi akan berada pada paras paling maksimum pada sesuatu frekuensi kerana kelajuan zarah adalah pada kadar tertinggi pada bahan berliang dan mengakibatkan kehilangan akibat geseran. Peratus lipatan langsir turut mempengaruhi kecekapan penyerapan bunyi.

Pelbagai lagi faktor yang dapat mempengaruhi ciri-ciri akustik bilik. Sebagai contoh, jenis bahan yang dipilih, frekuensi bunyi yang dikenakan, keadaan fizikal sesuatu medium mempengaruhi kadar serapan di dinding serta kadar pemindahan bunyi.

2.8.1 Pekali Serapan

Pekali serapan bunyi ialah tenaga bunyi yang diserap digambarkan dalam bentuk nisbah tenaga bunyi kepada tenaga incident. Pengukuran yang sering digunakan untuk mengukur kadar serapan adalah pekali serapan. Pekali serapan adalah nilai serapan yang diwakili oleh kadar 1 hingga 0. Jika sesuatu bahan yang langsung tidak menyerap bunyi, pekali serapannya adalah bernilai 0, atau dalam erti kata lain sesuatu bahan yang mempunyai pekali serapan 0 memantulkan bunyi asal secara keseluruhan. Han et al. (2007) turut menyatakan bahawa pekali serapan akustik adalah diantara nilai 0 hingga 1.

Pekali serapan boleh dikatakan sebagai parameter pengukur kecekapan penyerapan bahan. Pekali serapan adalah kaedah pengukuran kecekapan permukaan atau bahan dalam menyerap bunyi. Jika 55% tenaga bunyi diserap pada sesuatu frekuensi, pekali serapan yang mewakilinya adalah 0.55. Sesuatu penyerap yang menyerap 100% bunyi, nilai pekali serapannya adalah 1. Bagi permukaan pemantul yang baik nilai pekali serapannya adalah 0.

Menurut Jiawei dan Sumathy menyatakan bahawa penyerap bunyi paling efektif diperolehi jika pekali serapan bunyi melebihi kadar 0.4 (40% serapan dan 60% dipantulkan). Sementara bahan yang mempunyai pekali serapan 0.8 atau lebih (80% diserap dan 20% terpantul) adalah diterima sebagai penyerap yang sangat cekap. Serapan tenaga ini menyebabkan gema semakin berkurang.

Bahan yang mempunyai pekali serapan paras sederhana dan tinggi berada dalam lingkungan 0.5 keatas adalah dirujuk sebagai penyerap bunyi yang baik, manakala pekali rendah selalunya 0.2 kebawah adalah pemantul bunyi yang baik. Nilai pekali serapan 0.1 kebawah dikelaskan di dalam kadar serapan kecil. Nilai 0.1 ke 0.4 dihanggap kadar serapan sederhana manakala nilai pekali serapan 0.4 keatas dihanggap kadar serapan tinggi.

2.9 Gemaan

Gemaan terjadi akibat dari gelombang bunyi yang dihasilkan terpantul akibat melanggar sesuatu permukaan yang keras. Bunyi yang dihasilkan oleh sumber bunyi bergerak secara terus kepada pendengar. Sebahagian dari bunyi pula bergerak secara lurus lalu melanggar permukaan dan menghasilkan bunyi pantulan dari dinding, lantai, siling dan permukaan lain. Selain itu, bunyi pantulan ini hadir selepas bunyi asal didengar. Ia akibat dari jarak yang dilaluinya. Bunyi secara terus bergerak secara lurus kepada pendengar, tetapi bunyi pantulan melalui jarak yang lebih panjang bermula dari sumber bunyi kemudian jaraknya bertambah setelah ia dipantulkan dan bergerak kepada pendengar. Akibat dari sumber pantulan berganda, bunyi yang didengari berkeadaan gema.

Gemaan yang terjadi di dalam bilik berpunca dari bunyi yang dihasilkan oleh percakapan atau sumber bunyi yang lain. Ia boleh mengganggu pendengaran penghuni. Ini dibuktikan dengan kajian yang dijalankan oleh Shabtai et al. (2010) yang menunjukkan pengaruh masa gemaan adalah lebih tinggi dari pengaruh isipadu bilik. Ini menunjukkan pendengaran boleh terganggu akibat dari gemaan. Perbezaan medan gemaan bunyi akan bertindak terhadap pengenalan percakapan bila dua atau lebih percakapan dipertuturkan. Perkara ini membuktikan gemaan boleh mengganggu perbincangan.

Gemaan di dalam bilik boleh diukur dan dinilai. Nilai kadar gemaan boleh dianggarkan dengan mengambil kira faktor tenaga bunyi. Punca bunyi menghasilkan tenaga, yang mana kemudian ia disimpan di dalam ruang udara. Setelah itu ia diserap oleh dinding, siling dan objek di sekelilingnya. Aras gemaan boleh diperoleh bila tenaga yang dibekalkan oleh punca berada pada paras sama aras bunyi diserap. Selain itu kaedah pengukuran tempoh masa gemaan dapat menganggarkan masa gemaan di dalam bilik.

2.9.1 Masa Gemaan

Bunyi gemaan terjadi tidak secara berterusan. Terdapat tempoh masa untuk bunyi gemaan ini wujud sebelum ia terhapus. Tempoh ini dipanggil masa gemaan. Sebagai contoh, apabila sumber bunyi dihentikan bunyi yang didengar tidak berhenti secara mendadak, tetapi terdapat tempoh masa untuk ia dipantulkan kepada setiap permukaan. Akibat dari proses pantulan ini menyebabkan terdapat kehadiran bunyi selepas sumber dihentikan. Tempoh masa ini yang boleh diukur, dikira atau dianggarkan. Masa gemaan ini adalah salah satu faktor yang dapat digunakan untuk menentukan kualiti dan membuat perbandingan keadaan akustik di dalam ruang berbeza. Barron (2003) menyatakan apabila sumber bunyi di dalam bilik dihentikan secara tiba-tiba, terdapat tempoh masa diperlukan oleh tenaga bunyi untuk secara keseluruhannya diserap oleh permukaan bilik. Ternyata apabila tenaga bunyi diserap dan bertukar kepada tenaga haba, masa gemaan terhenti.

Masa gemaan dapat menentukan kualiti akustik dalam ruang berbeza. Ini menunjukkan masa gemaan dapat menentukan kesesuaian sesuatu tempat untuk tujuan khas. Perkara ini disokong oleh Luigi et al (2008) apabila dalam kajian mereka menyatakan nilai 0.4s-0.7s pada frekuensi 500Hz ke 4000Hz sesuai sebagai masa gemaan bangunan sekolah.

2.9.2 Peranan Fizikal Bilik terhadap gemaan

Keadaan akustik di sekitar bangunan dipengaruhi oleh rekabentuk bangunan, pelan bangunan dan cara pemilihan bahan pembinaan bangunan itu sendiri. Pemilihan kawasan tapak serta lokasi dan susun atur ruang mempengaruhi penambahan masalah akustik yang sedia ada.

Saiz turut mempengaruhi kadar gemaan sesuatu bilik. Seperti dinyatakan oleh Diaz dan Pedro (2004), semakin isipadu bilik meningkat semakin tinggi kadar masa gemaan yang dihasilkan di dalam bilik. Kajian Coley (2002) membuktikan bahawa saiz mempengaruhi gemaan kerana dalam kajiannya menunjukkan purata pekali serapan pada dinding perlu ditingkatkan dua kali lebih tinggi dari purata pekali serapan bilik asal jika penambahan tinggi ruang berbentuk kuboid berlaku. Saiz turut dibuktikan mempengaruhi masa gemaan berdasarkan Peer et al. (2008) apabila mendapati sistem perhubungan melalui percakapan di dalam ruang tertutup seperti pejabat akan mewujudkan gemaan percakapan jika jarak antara pembesar suara dan mikrofon terlalu besar.

Rupa bentuk bilik seperti bucu-bucu binaan boleh meningkatkan ralat dalam pengukuran bunyi di dalam bilik. Ini dibuktikan dari penulisan Hovat et al. (2008) menyatakan bahawa bilik yang tidak mempunyai bentuk seragam dan bilik yang bersaiz kecil haruslah diberi perhatian yang lebih dari segi pemilihan cara pengukuran dan sumber bunyi. Bunyi tidak tiba kepada penerima bunyi secara terus dari punca bunyi tetapi sebahagiannya diterima dari hasil pantulan bunyi dari permukaan keras bilik. Bunyi pantulan dari pelbagai arah ini mempunyai kadar tenaga yang berbeza dan kehadirannya tertangguh akibat dari jarak perjalanan gelombang bunyi yang bertambah. Jika binaan bilik bersudut dan berbucu, ia meningkatkan lagi kadar gemaan.

Keadaan fizikal permukaan bilik turut mempengaruhi ciri-ciri akustik bilik. Seperti contoh, jika permukaan bilik secara asasnya keras dan memantulkan bunyi, ia akan menyebabkan kehilangan kecil aras bunyi setiap kali gelombang bunyi melanggar permukaan bilik. Beliau turut menyatakan bahawa jika gelombang bunyi melanggar satu permukaan, terdapat tiga perkara yang akan terjadi iaitu bunyi dipindahkan, dipantulkan dan diserap. Jika permukaan lembut dan berliang digunakan sebagai permukaan bilik, ia menyebabkan kehilangan yang tinggi setiap kali gelombang bunyi bertembung dengan permukaan bilik. Dalam kajian Saurabh et al. (2018) menyatakan bentuk bilik dan susunan kayu memberi kesan pada nilai masa gemaan penerima yang berlainan tempat. Ini dapat membuktikan keadaan fizikal permukaan bilik dapat mempengaruhi ciri-ciri akustik di dalam bilik. Lokasi sesuatu bilik turut mempengaruhi gemaan.

2.9.3 Pengukuran Masa Gemaan

Sebelum satu dewan hendak dibina adalah lebih baik jika model dewan tersebut diuji keadaan akustiknya untuk mengetahui ciri-ciri akustiknya dan mengetahui kekurangan akustik yang dihadapi. Tambahan lagi pengukuran semasa fasa-fasa pembinaan haruslah dilakukan untuk memastikan pembinaan mengikut konsep akustik yang ditetapkan. Pengukuran masa gemaan itu adalah sangat penting.

Terdapat pelbagai cara untuk mengukur masa gemaan. Diantaranya adalah mengikut piawaian ISO 3382-1 (2009). Piawaian ini selalu digunakan oleh pengkaji dalam mengukur bunyi gemaan di dalam bilik. Sebagai contohnya Dragana et al. (2006) menggunakan piawaian ini sebagai pengukuran keberkesanan punca bunyi yang dicipta. Satu daripada cara pengukuran

berdasarkan ISO 3382-1 (2009) adalah dengan cara gangguan bunyi. Cara pengukuran ini dilakukan dengan menghasilkan satu bunyi jalur lebar yang dihasilkan oleh pembesar suara. Bunyi yang dihasilkan kemudian dihentikan secara tiba-tiba untuk mendapatkan bunyi gema. Bunyi yang digunakan tidak boleh di dalam turutan berulang. Di dalam standard ISO 3382-1 (2009) terdapat juga cara mengukur menggunakan penghasilan tindak balas dedenyut. Cara pengukuran ini hampir sama dengan cara gangguan bunyi. Perbezaan yang dapat dilihat adalah dari segi penggunaan sumber bunyi. Cara ini menggunakan sumber yang mengeluarkan bunyi dedenyut seperti menggunakan tembakan pistol dan bunyi letupan belon.

Cara pengukuran gangguan bunyi dimulakan dengan sesuatu bilik dipenuhi dengan bunyi yang kuat. Semasa melakukan pengukuran terdapat beberapa perkara yang perlu dititikberatkan, termasuklah samaada bilik yang diukur berpenghuni atau kosong. Melalui kajian yang dilakukan oleh Kendrick et al. (2012) menyatakan bahawa keadaan akustik di dalam bilik berbeza apabila bilik berkeadaan kosong atau berpenghuni dan dengan kehadiran kebisingan dari penghuni menyebabkan pengukuran lebih sukar. Selain dari segi kandungan bilik, ruang kecil atau bersudut perlu diambil kira dalam pengukuran. Semasa pengukuran dijalankan, dinding yang mempunyai ruangan kecil atau bersudut tetap diambil kira kecuali jika ianya terlalu kecil. Manakala lampu di dinding tidak diambil kira dan dianggap sebagai dinding sahaja.

Masa gema juga boleh diperolehi dengan cara menggunakan rumus. Pada tahun 1890, Wallace Clement Sabine seorang professor dalam bidang fizik telah membina rumus masa gema yang pertama dengan menggunakan sumber bunyi, jam randik dan telinga untuk mengukur masa dari gangguan punca bunyi ke keadaan sepi.

2.9.4 Pengiraan Menggunakan Rumus Klasik

Sabine (1922), membuat kajian yang mendalam mengenai ciri-ciri akustik di dalam bilik. Beliau mencipta hubungan empirikal memudahkan jurutera untuk menentukan jumlah pembetulan akustik yang diperlukan untuk memperoleh ciri-ciri akustik yang dikehendaki di dalam bilik. Berikut merupakan rumus Sabine :-

$$t = \frac{0.161V}{S\bar{\alpha}} \quad [1]$$

Dimana: t = adalah tempoh masa gemaan (saat)

V = isipadu sesuatu bilik.

S = luas permukaan serapan dalam meter isipadu (meter²)

$\bar{\alpha}$ = purata pekali serapan bunyi

Pada tahun 1930, Carl Eyring telah melakukan penambahbaikan ke atas formula Sabine.

Formula Eyring (1930) adalah seperti berikut:-

$$t = \frac{0.161 V}{-S \ln(1-\bar{\alpha})} \quad [2]$$

Carl Eyring telah menyatakan bahawa formula Sabine tidak dapat memperolehi jawapan yang tepat jika sesuatu bilik itu mempunyai kadar serapan bunyi yang tinggi. Menurut Carolina dan Paulo (2010) rumus Sabine adalah rumus pertama yang diwujudkan untuk mengira masa gemaan. Rumus Sabine dan Eyring sering digunakan di dalam kajian akustik bilik. Sebagai contohnya Billon et al. (2007) di dalam kajian yang dilakukan iaitu menjangka masa gemaan di dalam bilik kadar serapan tinggi menggunakan model penyebaran yang diubahsuai, telah menggunakan rumus Sabine dan Eyring sebagai rumus yang diubahsuai.

Millington dan Sette (1932) kemudiannya melakukan penjelmaan rumus yang hampir menyerupai rumus Eyring. Perubahan yang dilakukan adalah pekali serapan setiap bahagian dinding adalah dipuratakan. Ini telah mewujudkan rumus Millington –Sette :-

$$t = \frac{0.161 V}{-\sum S \ln(1-\bar{\alpha})} \quad [3]$$

Setelah ketiga-tiga rumus ini dibina, kerja-kerja pembinaan rumus terus berjalan. Banyak pengkaji secara terus menerus mewujudkan rumus akustik di dalam bilik. Tetapi pergantungan kepada rumus mungkin menimbulkan ralat di dalam sesuatu penilaian jangkaan masa gemaan. Tetapi tiada ungkapan analisis atau model komputer secara berterusan menjangkakan masa gemaan pada ketepatan ini.

2.9.5 Penggunaan Rumus Sabine di dalam kaedah kajian

Rumus Sabine digunakan di dalam kaedah kajian ini sebagai rumus pengiraan untuk menjangkakan masa gemaan dan pekali serapan bahan. Rumus ini digunakan kerana ia sesuai digunakan di dalam bilik malah ia antara rumus yang ringkas yang dapat menjangkakan nilai masa gemaan dengan ralat yang minimum. Berdasarkan kajian Astolfi et al. (2007) kajian masa gemaan dengan menggunakan lapan bilik kajian mendapati rumus Sabine menghasilkan ralat purata di bawah 10% dan secara keseluruhan berada tempat kedua terendah dalam menghasilkan ralat. Dari kajian Martellotta et al. (2011) menunjukkan rumus Sabine menghasilkan ralat bernilai 6% apabila dibandingkan dengan pengukuran di dalam 6 kawasan kajian berlainan.

Di dalam kajian ini, bilik-bilik kosong digunakan untuk melakukan pengukuran masa gemaan. Oleh itu rumus Sabine digunakan kerana ia sesuai digunakan di bilik kosong dan tanpa bahan penyerap bunyi. Ini dibuktikan dalam kajian Daheng dan Qi (2012) menyatakan bahawa rumus Sabine sesuai digunakan untuk menjangkakan masa gemaan di bilik kosong. Dance dan Shield (1998) turut menyatakan bahawa bilik yang kurang bahan penyerap sesuai menggunakan rumus Sabine untuk menjangkakan masa gemaan.

Rumus Sabine turut menghasilkan nilai pekali serapan yang mempunyai ralat kecil. Berdasarkan kajian Bistafa dan Bradley (2000) menunjukkan nilai pekali serapan dari rumus Sabine mempunyai ralat terkecil dari rumus perbandingan yang lain apabila digunakan di bilik tanpa penyerap. Di bilik yang menggunakan bahan penyerap bunyi, rumus Sabine tetap menghasilkan ralat yang rendah dan masih boleh digunakan.

BAB 3

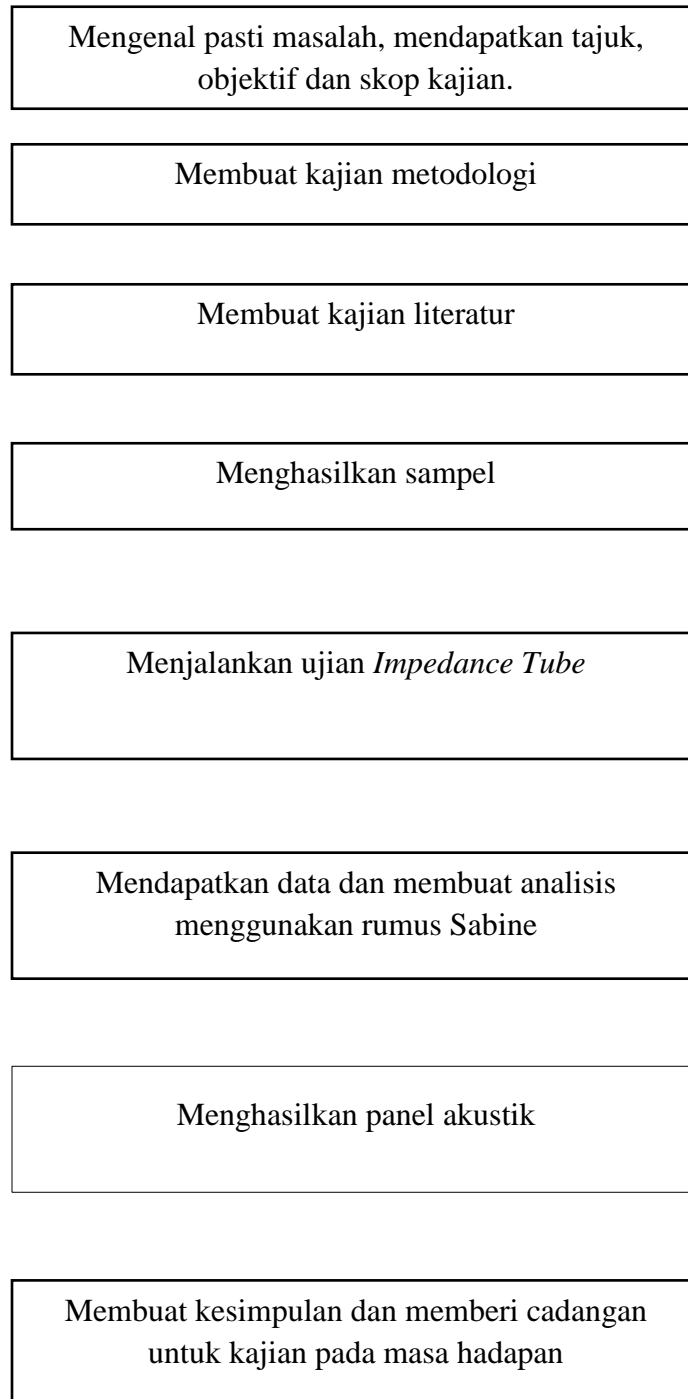
METODOLOGI

3.1 Pengenalan

Panel akan dihasilkan secara campuran dengan menggunakan 3 bahan utama iaitu serbuk kayu, papan rockwool, dan serat pokok kenaf. Bahan-bahan ini dicampurkan dan akan diuji terlebih dahulu untuk mendapatkan keputusan yang baik terhadap menebat bunyi. Terdapat 4 sampel untuk menjalankan ujian tersebut. Setiap sample mempunyai jumlah dan peratusan yang berbeza.

Setelah mendapat data ujian bagi setiap sampel, data tersebut akan dijadikan rujukan dan membuat perbandingan untuk menghasilkan satu panel mengikut kekuatan bahan terhadap pendebat bunyi tersebut.

3.2 Carta Alir



3.3 Penyediaan Bahan

Terdapat beberapa bahan yang perlu digunakan untuk menghasilkan panel ini. Antara bahan yang digunakan ialah sisa kayu, papan rockwool, serat pokok kenaf dan *stopping*. Sisa kayu dan papan *rockwool* diperolehi daripada kedai penghasilan produk kayu di Kedaikayu.com Jalan Saujana Impian, Shah Alam. Sisa kayu ini adalah bahan yang akan digunapakai semula dan papan *rockwool* pula berharga RM25 sepapan. Serat pokok kenaf pula diperolehi daripada Kelantan, manakala *stopping* pula boleh didapati di kedai perkakasan di Klang.

3.4 Prosedur membuat sampel

1. Potong dan hancurkan bahan menjadi kecil supaya mudah untuk dicampurkan antara satu sama lain.
2. Ukur bahan mengikut peratusan bagi setiap bahan. Peratusan bagi setiap bahan adalah berbeza.
3. Campurkan kesemua bahan tersebut. Bahan *stopping* ini sebagai pengikat kepada ketiga-tiga bahan tersebut.
4. Setelah campuran tersebut sehati, kemudian masukkan campuran itu ke dalam acuan yang berukuran 100mm dan 28mm yang mempunyai ketebalan yang sama iaitu 20mm.
5. Labelkan setiap sampel dan keringkan di bawah cahaya matahari.

Jadual 3.1 Peratusan bahan yang digunakan untuk menghasilkan sample.

Bahan	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 4
Rockwool	50%	60%	45%	50%
Serat pokok kenaf	35%	30%	35%	30%
Serbuk kayu	15%	10%	20%	20%



Rajah 3.1 Proses membuat sampel

3.5 Ujian Bunyi *Impedance Tube*

Pengukuran menggunakan *impedance tube* memperoleh pekali penyerapan pada lapisan tekstil dengan diameter kecil (biasanya kurang dari 10 cm). Hasilnya boleh digunakan untuk membandingkan prestasi penyerapan bahan dan untuk simulasi akustik. Selain itu, alat ini akan didedahkan kepada bidang bunyi sebenar di mana bunyi kejadian mungkin datang dari banyak arah.

Kaedah *impedance tube* adalah ujian yang lebih baik dalam aspek berikut. Pertama, pengukuran dilakukan dengan medan bunyi tersebar, iaitu, di bawah keadaan yang lebih dekat dengan banyak pemasangan praktikal. Kedua, tiada batasan mengenai jenis dan pembinaan penyerap. Ia sesuai untuk mengukur pekali penyerapan hampir semua jenis pelapisan dinding dan siling, serta blok kerusi dan barang yang ada disekeliling bilik tersebut.



Rajah 3.2 Alat *Impedance Tube*

3.5.1 Peralatan dan prosedur menggunakan alat *Impedance Tube*

1. Sediakan peralatan impedance tube di permukaan yang rata. Software AFD1001-Acoustic Tube untuk mendapatkan data serapan bunyi.
2. Beberapa analisis parameter yang perlu di ambil kira antaranya ialah:
 - i. Suhu, ° C
 - ii. Tekanan atmosfera , kPa
 - iii. Kelembapan relatif , %
 - iv. Had kekerapan rendah pada frekuensi 2000Hz
 - v. Had kekerapan tinggi pada frekuensi 6000Hz
 - vi. Bilangan purata yang dilakukan semasa pengukuran, penentuan keputusan ketepatan.
3. Kalibrasi mikrofon menggunakan QC-20 Calibrator. Masukkan mikrofon ke dalam kalibrasi mikrofon tersebut. Rajah 3.3 menunjukkan alat kalibrasi mikrofon.
4. Masukkan semula mikrofon ke dalam AFD 1001 – AcousticTube. Rajah 3.4 menunjukkan dua mikrofon.
5. Tekan butang *Run* pada perisian tersebut dan isyarat dilepaskan terus ke sampel. Pada rajah 3.5 menunjukkan perisian yang digunakan dan butang *Run*.
6. Masuk sampel yang ingin dikaji ke dalam AFD 1001 – AcousticTube. Pada rajah 3.5.4 menunjukkan sampel dimasukkan ke dalam *Impedance Tube*.
7. Tekan butang *OK* dan masukkan ciri-ciri sampel seperti ketumpatan, diameter dan ketebalan.
8. Kumpulkan data dan simpan dalam fail seperti rajah 3.5.6.
9. Ulang langkah 6, 7 dan 8 dengan sampel yang berbeza.



Rajah 3.3 Alat Kalibrasi Mikrofon



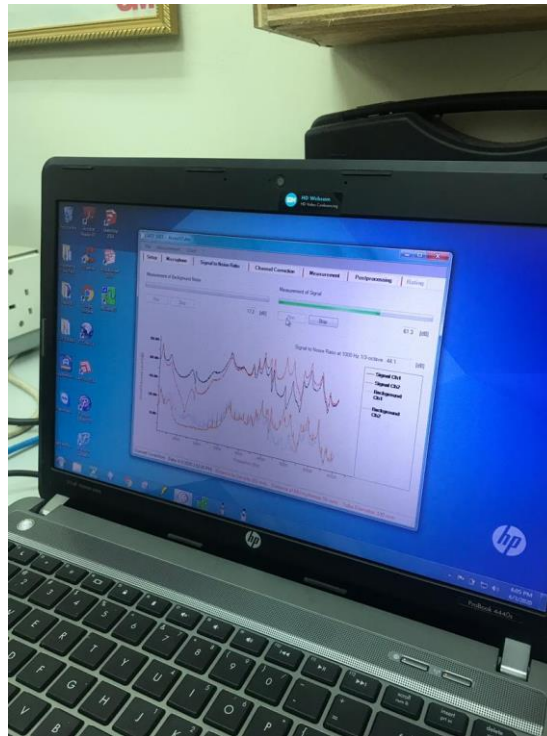
Rajah 3.4 Mikrofon



Rajah 3.5 Tekan butang *RUN* untuk mendapatkan perisian.



Rajah 3.6 Memasukkan sampel ke dalam *Impedance Tube*



Rajah 3.7 Menunjukkan data yang diperoleh

3.6 Prosedur Penghasilan Panel Akustik

1. Potong dan hancurkan bahan menjadi kecil supaya mudah untuk dicampurkan antara satu sama lain.
2. Ukur bahan mengikut peratusan bagi setiap bahan. Peratusan sampel 4 dijadikan rujukan sebagai membuat panel ini.
3. Campurkan kesemua bahan tersebut. Bahan *stopping* ini sebagai pengikat kepada ketiga-tiga bahan tersebut.
4. Setelah campuran tersebut sehati, kemudian masukkan campuran itu kedalam acuan yang berukuran 300mm x 300mm x 40mm.
5. Panel dikeringkan di bawah cahaya matahari.



Rajah 3.8 Penghasilan Panel

BAB 4

HASIL DAPATAN KAJIAN

4.1 Pengenalan

Bab ini membincangkan tentang analisis data yang diperoleh daripada ujian yang telah dilakukan. Penghasilan panel akustik bergantung kepada hasil data yang dibuat. Data yang diperoleh adalah seperti frekuensi, pekali serapan dan masa gema. Pengiraan masa gema juga diperoleh dengan menggunakan rumus *Sabine*.

Seterusnya data-data ini digunakan untuk membuat perbincangan serta kesimpulan berkaitan kajian yang dijalankan disamping untuk mencapai objektif dan matlamat kajian yang telah dirancang. Oleh yang demikian, bab ini akan menerangkan dapatan daripada ujian-ujian yang telah dilaksanakan.

4.2 Pencapaian Objektif Pertama

Objektif pertama bagi kajian ini adalah untuk menentukan nilai-nilai t rumus Sabine untuk digunakan di dalam aplikasi untuk menjangkakan masa gema. Data awalan jangkaan masa gema telah dikira. Kelas LA001 dijadikan rujukan untuk mendapatkan nilai-nilai pekali serapan yang ada kawasan tersebut. Jadual 4.2 menunjukkan nilai-nilai bagi pekali serapan bahan mengikut standard pekali serapan.

BEFORE

	Area(m ²)	Absorption					
		125 Hz		500 Hz		2000 Hz	
		Absorption coefficient	Absorption	Absorption coefficient	Absorption	Absorption coefficient	Absorption
Plastic	119.3	0.02	2.39	0.02	2.39	0.02	2.39
Tiles	77.22	0.03	2.32	0.03	2.32	0.05	3.86
Chair	53	0.07	3.71	0.14	7.42	0.14	7.42
Door	70.4	0.30	21.12	0.15	10.56	0.10	7.04
Concrete	119.3	0.02	2.39	0.03	3.58	0.04	4.77
People	53	0.17/person	9.01	0.43/person	22.79	0.47/person	24.11
Window	11.33	0.10	1.13	0.04	0.45	0.03	0.34
TOTAL ABSORPTION		42.07		49.51		50.73	

Volume of Air = 2500 m³

Actual reverberation, $t = \frac{0.16(V)}{A}$

125 Hz, $t = \frac{0.16(2500)}{42.07} = 9.51 \text{ s}$

500 Hz, $t = \frac{0.16(2500)}{49.51} = 8.08 \text{ s}$

2000 Hz, $t = \frac{0.16(2500)}{50.73} = 7.88 \text{ s}$

AFTER

	Area(m ²)	Absorption					
		125 Hz		500 Hz		2000 Hz	
		Absorption coefficient	Absorption	Absorption coefficient	Absorption	Absorption coefficient	Absorption
Plastic	119.3	0.02	2.39	0.02	2.39	0.02	2.39
Tiles	77.22	0.03	2.32	0.03	2.32	0.05	3.86
Chair	53	0.07	3.71	0.14	7.42	0.14	7.42
Door	70.4	0.30	21.12	0.15	10.56	0.10	7.04
Concrete	119.3	0.02	2.39	0.03	3.58	0.04	4.77
People	53	0.17/person	9.01	0.43/person	22.79	0.47/person	24.11
Window	11.33	0.10	1.13	0.04	0.45	0.03	0.34
Product	2.43	0.38	0.92	0.26	0.63	0.24	0.58
TOTAL ABSORPTION		42.99		50.14		51.31	

Volume of Air = 2500 m³

Actual reverberation, $t = \frac{0.16(V)}{A}$

125 Hz, $t = \frac{0.16(2500)}{42.99} = 9.30 \text{ s}$

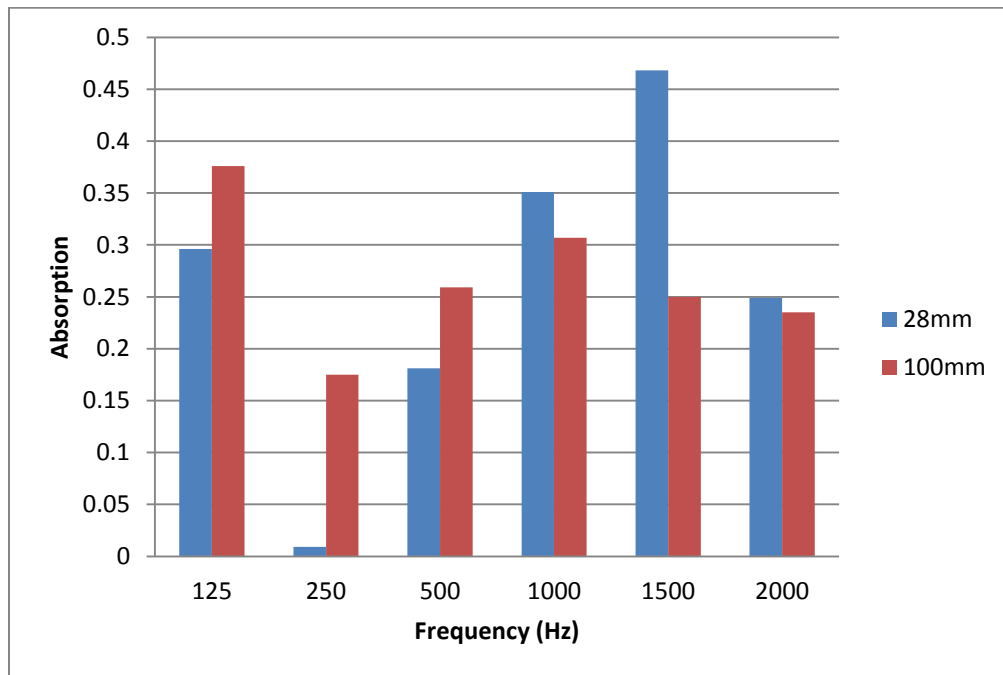
500 Hz, $t = \frac{0.16(2500)}{50.14} = 7.98 \text{ s}$

2000 Hz, $t = \frac{0.16(2500)}{51.31} = 7.80 \text{ s}$

4.3 Pencapaian Objektif Kedua

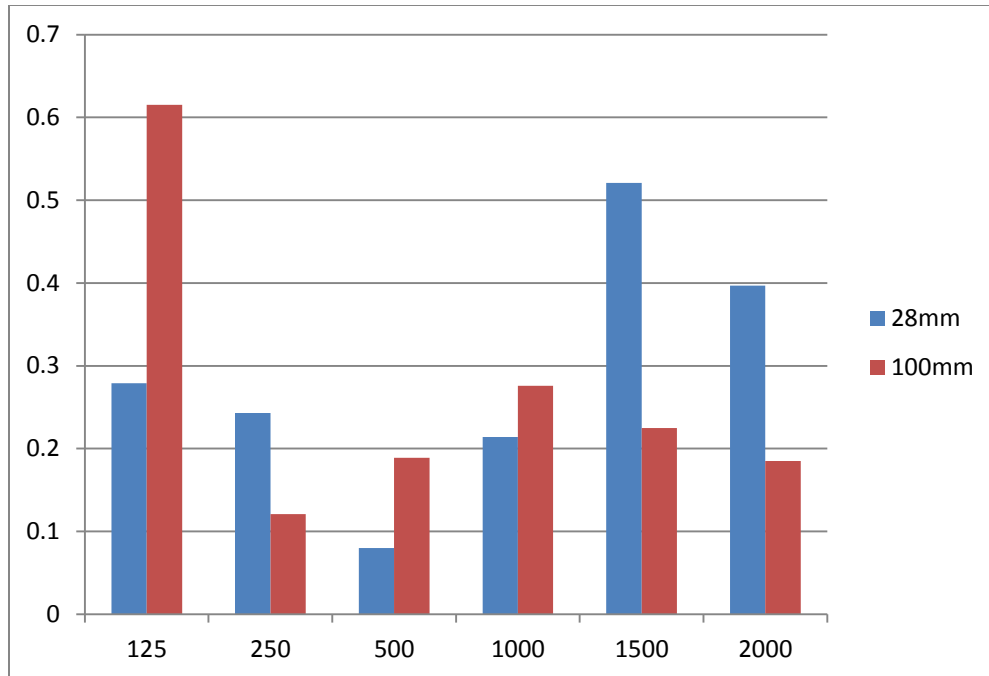
Objektif kedua bagi kajian ini adalah menentukan kadar serapan bunyi. Nilai serapan ini diperoleh daripada melakukan ujian *Impedance Tube*. Data yang diperoleh bagi setiap sampel adalah berlainan. Perbandingan antara empat sampel dilakukan untuk mengetahui peratusan mana yang mempunyai pekali serapan yang baik.

4.3.1 Data Pekali Serapan bagi setiap sampel



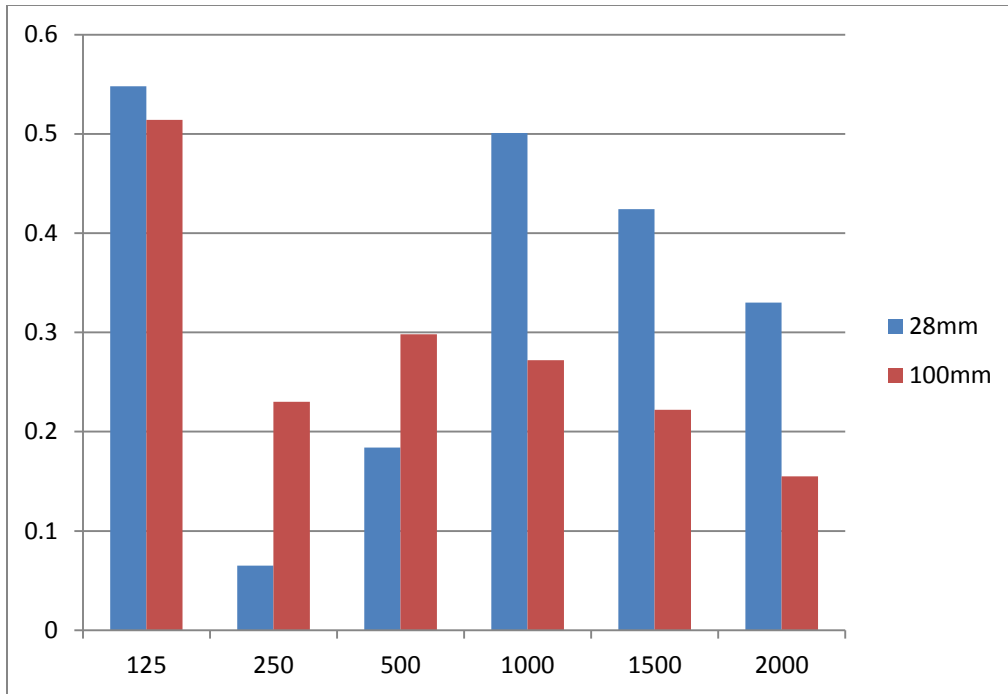
Rajah 4.1 Graf bar bacaan nilai bagi sampel 1

Graf bar bacaan nilai bagi sampel 1 untuk saiz diameter 28mm ialah pada 1500Hz menunjukkan nilai serapan yang paling tinggi iaitu sebanyak 0.47 dan nilai pekali serapan yang paling sedikit iaitu pada 250Hz, nilai serapan adalah sebanyak 0.025. Seterusnya, graf bar bacaan nilai bagi sampel bersaiz diameter 100mm ialah pada 125Hz menunjukkan nilai serapan yang paling tinggi iaitu sebanyak 0.37 dan nilai pekali serapan yang rendah pula pada 250Hz iaitu sebanyak 0.17.



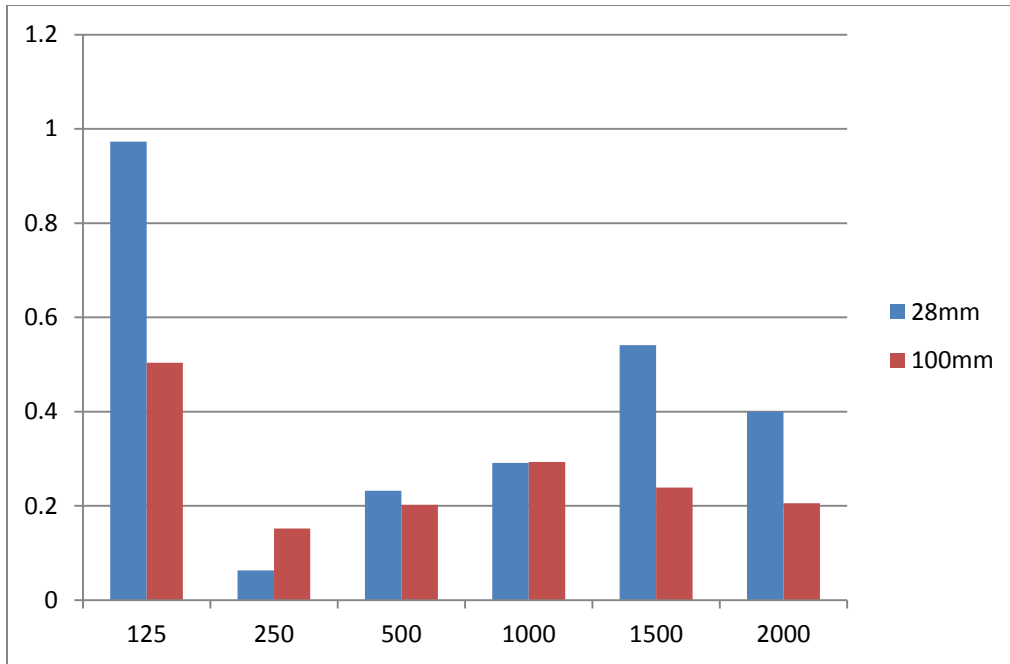
Rajah 4.2 Graf bar bagi bacaan nilai serapan sampel 2

Graf bar bacaan nilai bagi sampel 1 untuk saiz diameter 28mm ialah pada 1500Hz menunjukkan nilai serapan yang paling tinggi iaitu sebanyak 0.6 dan nilai pekali serapan yang paling sedikit iaitu pada 500Hz, nilai serapan adalah sebanyak 0.08. Seterusnya, graf bar bacaan nilai bagi sampel bersaiz diameter 100mm ialah pada 125Hz menunjukkan nilai serapan yang paling tinggi iaitu sebanyak 0.62 dan nilai pekali serapan yang rendah pula pada 250Hz iaitu sebanyak 0.13.



Rajah 4.3 Graf bar bagi nilai serapan sampel 3

Graf bar bacaan nilai bagi sampel 1 untuk saiz diameter 28mm dan 100mm ialah pada 125Hz menunjukkan kedua-dua mempunyai nilai serapan yang paling tinggi iaitu sebanyak 0.52 dan 0.55. Seterusnya, bagi sampel bersaiz 28mm nilai serapan yang paling rendah ialah pada 125Hz iaitu sebanyak 0.07, manakala sampel bersaiz 100mm pula pada 500Hz iaitu sebanyak 0.18.

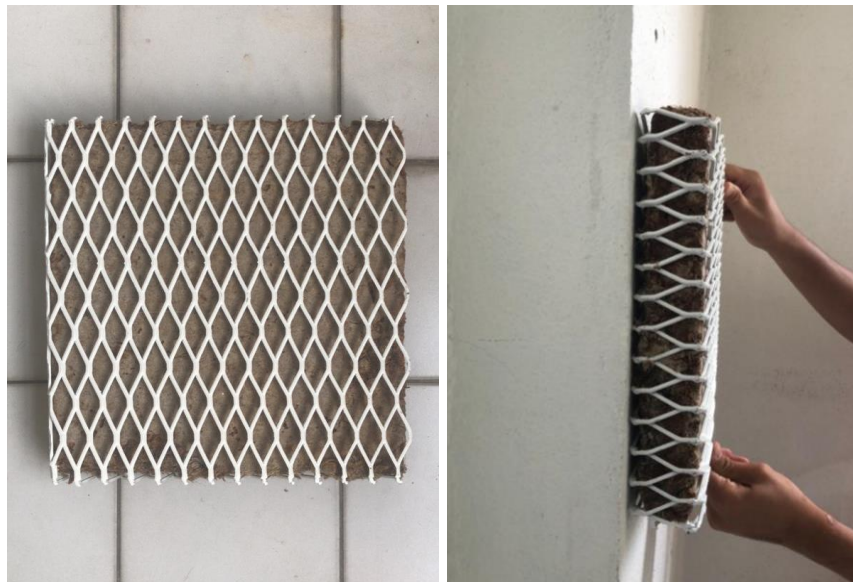
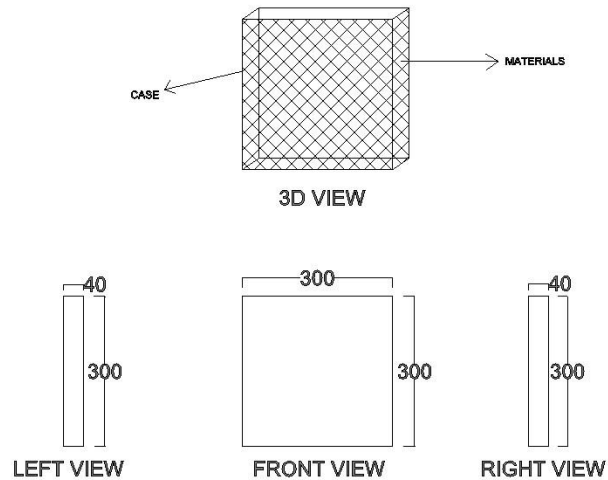


Rajah 4.4 Graf bar bagi nilai serapan sampel 4

Graf bar bacaan nilai bagi sampel 1 untuk saiz diameter 28mm dan 100mm ialah pada 125Hz menunjukkan kedua-dua mempunyai nilai serapan yang paling tinggi iaitu sebanyak 0.9 dan 0.45. Seterusnya, bagi sampel bersaiz 28mm nilai serapan yang paling rendah ialah pada 1250Hz iaitu sebanyak 0.07, manakala sampel bersaiz 100mm pula pada 125Hz iaitu sebanyak 0.17.

4.4 Pencapaian objektif ketiga

Objektif ketiga bagi kajian ini ialah menghasilkan panel akustik menggunakan bahan sisa kayu, papan *rockwool* dan serat pokok kenaf. Peratusan bahan untuk menghasilkan panel akustik ini adalah berdasarkan data pekali serapan bagi sampel 1. Pemilihan peratusan bahan seperti sampel 1 kerana nilai serapannya adalah yang terbaik daripada tiga sampel yang lain.



Rajah 4.9 Panel akustik berukuran 300mm x 300mm x 40mm

4.5 Kos Projek

Pengiraan kos projek mesti di ambil kira. Kos projek merangkumi dari segi kos bahan yang digunakan, kos ujian, dan kos lain-lain. Anggaran pengiraan kos projek telah dikira. Jadual 4.2 menunjukkan kos anggaran projek.

Bahan	Kuantiti	Kos 1 unit (RM)	Jumlah (RM)
Serbuk Kayu	2 kilogram	4.00	8.00
Papan <i>rockwool</i>	2 papan	25.00	50.00
Serat pokok kenaf	1kg	12.00	12.00
<i>Stopping</i>	200gram	1.50	3.00
Ujian <i>impedance tube</i>	8 sampel	25.00	200.00
Kos tambahan			100.00
JUMLAH KOS			483.00

Jadual 4.2 Kos anggaran projek menghasilkan panel akustik

BAB 5

PERBINCANGAN, KESIMPULAN DAN CADANGAN

5.1 Perbincangan

Penghasilan panel ini dapat membantu mengatasi masalah yang sering berlaku terutamanya berkaitan tentang masalah bising. Sepanjang menjalankan projek ini, terdapat beberapa masalah yang dihadapi iaitu ketiadaan tempat untuk menghasilkan panel dan kos bagi membuat ujian impedance tube begitu mahal. Walau bagaimanapun, masalah yang dihadapi bukan menjadi penghalang untuk meneruskan projek ini sehingga berjaya.

5.2 Kesimpulan

Secara kesimpulannya, penghasilan panel akustik ini telah mencapai kesemua objektif. Hasil daripada data ujian impedance tube menunjukkan ketiga-tiga campuran bahan ini menghasilkan serapan bunyi yang baik. Tambahan pula, dengan adanya kajian lepas sangat membantu dalam menghasilkan panel ini sebagai rujukan.

5.3 Cadangan

1. Menukarkan nisbah bagi setiap bahan.
2. Menghasilkan panel yang mempunyai liang-liang dipermukaan yang berbeza.
3. Membuat ujian ketahan api terhadap panel tersebut.
4. Menguji ketahanan terhadap serangga seperti anai-anai.

Rujukan

<https://ms.decoratex.biz/vagonka/raznovidnosti-i-razmery/>

<http://my.goodsoundproof.com/info/seen-from-the-two-sound-absorb-526859.html>

<https://ms.decorexpro.com/shtukaturka/zvukoizolyacionnaya/>

<https://ms.decorexpro.com/zvukoizolyaciya-i-shumoizolyaciya/montazh/>

<https://ms.atomiyme.com/bulu-mineral-rockwool-ciri-ciri-teknikal-fungsi-ulasan-penebat-rockwool/>

http://www.acoustic.ua/st/web_absorption_data_eng.pdf

<https://www.sis.se/api/document/preview/911240/>

Arenas, J. P. and Crocker, M. J. (2010) Recent trends in porous sound-absorbing materials. Sound and Vibration

https://www.researchgate.net/publication/272151761_Recent_Trends_in_Porous_Sound-Absorbing_Materials

Aretz, M. and Orłowski, R. (2009) Sound strength and reverberation time in small concert halls. Elsevier Ltd, Applied Acoustics. <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier-ec1dfcd5-4da9-3659-99ac-682a451d14a7>

Astolfi, A. Corrado, V. and Griginis, A. (2007) Comparison between measured and calculated parameters for the acoustical characterization of small classrooms. Elsevier Ltd, Applied Acoustics. https://www.researchgate.net/publication/229385542_Comparison_between_measured_and_calculated_parameters_for_the_acoustical_characterization_of_small_classrooms

Barron, R. F. (2003) Industrial Noise Control and Acoustics, Marcel Dekker. https://www.researchgate.net/publication/267844993_Industrial_Noise_Control_and_Acoustics

Billon, A. Picaut, J. and Sakout A. (2007) Prediction of the reverberation time in high absorbent room using a modified-diffusion model. Elsevier Ltd, Applied Acoustics.

[https://www.academia.edu/20372040/Prediction of the reverberation time in high absorbent room using a modified-diffusion model](https://www.academia.edu/20372040/Prediction_of_the_reverberation_time_in_high_absorbent_room_using_a_modified-diffusion_model)

Bistafa, S. R. and Bradley, J. S. (2000) Predicting reverberation times in a simulated classroom. JASA. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11051499>

Bohn, D. A.(1988) Environmental effects on the speed of sound. Journal of the Audio Engineering Society 36.
[https://www.researchgate.net/publication/252058533 Environmental Effects on the Speed of Sound](https://www.researchgate.net/publication/252058533_Environmental_Effects_on_the_Speed_of_Sound)

[Carolina R. M. P, Paulo H. T. Z. \(2010\). Statistical comparison of reverberation times measured by the integrated impulse response and interrupted noise methods, computationally simulated with ODEON software, and calculated by Sabine, Eyring and Arau-Puchades' formulas https://www.semanticscholar.org/paper/Statistical-comparison-of-reverberation-times-by-by-Passero-Zannin/650d639686d219ee5e61719373dca28c5543b6e7](https://www.semanticscholar.org/paper/Statistical-comparison-of-reverberation-times-by-by-Passero-Zannin/650d639686d219ee5e61719373dca28c5543b6e7)

Coley, D.A. (2002) The reverberation time of tall spaces. Elsevier Science, Journal of sound and vibration.

[https://www.researchgate.net/publication/243365862 The reverberation time of tall spaces](https://www.researchgate.net/publication/243365862_The_reverberation_time_of_tall_spaces)

Daheng, Y., and Qi, L. (2012) Research of computer simulation of reverberation time in classroom. Elsevier Ltd, Physics Procedia. 1677-1682. Everest, F. E. (1997) Sound Studio Construction on a Budget. Mc Graw Hill. <https://acoustics.ippt.pan.pl/index.php/aa/article/view/2060>

Dance, S. M., and Shield, B. M. (1999) Modeling of sound fields in enclosed spaces with absorbent room surfaces. Part I: Performance spaces. Elsevier Ltd, Applied Acoustic. https://www.arauacustica.com/files/publicaciones_relacionados/pdf_esp_133.pdf

Dias, T., and Monaragala, R. (2007) Analysis of sound absorption of tuck spacer fabrics to reduce automotive noise. Measurement Science and Technology. [https://www.researchgate.net/publication/230904884 Analysis of sound absorption of tuck spacer fabrics to reduce automotive noise](https://www.researchgate.net/publication/230904884_Analysis_of_sound_absorption_of_tuck_spacer_fabrics_to_reduce_automotive_noise)

Diaz, C. and Pedro, A. (2004) The reverberation time of furnished room in dwellings. Elsevier Ltd, Applied Acoustics.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X05000034?via%3Dihub>

Dragana S. P, Miomir Mijic, Husnija Kurtovic. (2006) A simple sound source for measurements in room acoustics. Elsevier Ltd Applied acoustics.

https://www.academia.edu/6442184/A_simple_impulse_sound_source_for_measurements_in_room_acoustics

Han, Z., Chunsheng, L., Kombe, T. and Thong-On, N. , (2007) Crumb rubber blends in noise absorption study. RILEM, Materials and Structures.

<https://www.semanticscholar.org/paper/Crumb-rubber-blends-in-noise-absorption-study-Han-Chun-sheng/e658d32e8c977b52f523b0ee679c165bd080d435>

Honarvar, M. G., Asghar, A., Jeddi, J. and Tehran, M. A., (2010) Noise absorption modeling of rib knitted fabrics. Textile Research Journal.

[file:///C:/Users/Admin/Downloads/Noise_Absorption_Modeling_of_Rib_Knitted%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Admin/Downloads/Noise_Absorption_Modeling_of_Rib_Knitted%20(1).pdf)

Hong-Ru, S., Wen-Fang, H. and Han, Z. (2011) Experimental study on a thickness- adjustable absorber for reverberation controlling. Second International Conference on Digital Manufacturing and Automation.

<https://www.semanticscholar.org/paper/Experimental-Study-on-a-Thickness-Adjustable-for-Shi-He/a1e9397f138679b27d3177f882521372c62b6e1f>

Horvat, M. Jambrosic, K. and Domitrovic. H. (2008) Reverberation time measurement in reverberant spacec. 50th International Symposium

https://www.researchgate.net/publication/224370697_Reverberation_time_measurements_in_reverberant_spaces

ISO 3382-1 (2009) Measurement of room acoustic parameters

<https://www.sis.se/api/document/preview/911240/>

Jean, B. D. and Marie, A. G. (2007) Active absorption to reduce the noise transmitted out of an enclosure. Elsevier Ltd, Applied Acoustic. [https://acoustique.ec-](https://acoustique.ec-lyon.fr/publi/dupont_applacoust09.pdf)

[lyon.fr/publi/dupont_applacoust09.pdf](https://acoustique.ec-lyon.fr/publi/dupont_applacoust09.pdf)

Jiawei Gong, Sumathy Krishnan,. (2019). Absorption Coefficient Alpha. In dye-sensitized solar cells. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/absorption-coefficient-alpha#:~:text=The%20parameter%20that%20best%20describes,values%20between%200%20and%201.>

Kendrick, P., Shers, N. and Conetta, R. , (2012) Blind estimation of reverberation time in classroom and hospital wards. Elsevier Ltd, Applied Acoustics. <https://www.researchgate.net/publication/233415225> Blind estimation of reverberation time in classrooms and hospital wards

Luigi Maffei, G. Iannace and M. Masullo. (2008) Are classrooms in historical buildings compatible with good acoustics standards?. Built Environment Control Laboratory Ri.A.S., Second University of Naples, Abazia di S. <https://www.researchgate.net/publication/5324296> Are classrooms in historical buildings compatible with good acoustics standards

Martellotta, F., Crociata, S. D., and D'Alba, M. (2011) On site validation of sound absorption measurement of occupied pews. Elsevier Ltd, Applied Acoustic. https://www.academia.edu/1077077/On_site_validation_of_sound_absorption_measurements_of_occupied_pews

Meissner, M. (2007) Influence of wall absorption on low-frequency dependence of reverberation time in room of irregular shape. Elsevier Ltd. Applied Acoustics. <https://www.researchgate.net/publication/222164029> Influence of wall absorption on low-frequency dependence of reverberation time in room of irregular shape

Mikulski, W. and Radosz, J. (2011) Acoustics of classrooms in primary schools- Results of the reverberation time and the speech transmission index assessments in selected buildings. Archives of acoustics. <https://acoustics.ippt.pan.pl/index.php/aa/article/view/144>

Millington, G. A (1932) . Modified formula for reverberation time for acoustic. <https://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.1915588>

Peer, I. Rafaely, B. and Zigel, Y. (2008) Room acoustics parameters affecting speaker recognition degradation under reverberation. HSCMA journal.

https://www.researchgate.net/publication/4340947_Room_Acoustics_Parameters_Affecting_Speaker_Recognition_Degradation_Under_Reverberation

Reverberation formula <https://paginas.fe.up.pt/~carvalho/asa129.pdf>

Sant'Ana, D. Q. and Zannin, P. H. T. , (2010) Acoustic evaluation of a contemporary church based on in situ measurements of reverberation time, definition and computer-predicted speech transmission index. Elsevier Ltd, Building and environment
https://www.academia.edu/22530552/Acoustic_evaluation_of_a_contemporary_church_based_on_in_situ_measurements_of_reverberation_time_definition_and_computer-predicted_speech_transmission_index

Saurabh Yadav, Gaurav Sharma, Sarthak Nag, Arpan Gupta. (2018) Reverberation time improvement of lecture auditorium: A case study.
<https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0957456517748448>

Seddeq, H. S. (2009) Factors influencing acoustic performance of sound absorptive materials. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. <file:///C:/Users/Admin/Downloads/4610-4617%20SEDDEQ.pdf>

Shabtai, N. R., Rafaely, B. and Zigel, Y. (2010) The effect of reverberation on the performance of spectral mean subtraction in speaker verification, Elsevier Ltd, Applied Acoustics.
<https://www.semanticscholar.org/paper/The-Effect-of-Reverberation-on-Optimal-GMM-Order-in-Shabtai-Rafaely/cbad99f764ee3351049473dd36343bc1ad0fd719>

Wallace Clement Sabine (1922). SABINE'S FORMULA & THE BIRTH OF MODERN ARCHITECTURAL ACOUSTICS <https://www.thermaxxjackets.com/sabine-modern-architectural/>