

Prestasi Akustik Stesen Mrt (*Mass Rapid Transit*) Bawah Tanah Berdasarkan Penggunaan Bahan Binaan

(*Acoustic Performance of Underground MRT (Mass Rapid Transit) Station Based on the Utilisation of Building Materials*)

Najmie Jamaludin, Nik Lukman Nik Ibrahim* & Ismar Minang Satotoy Usman

**Jabatan Seni Bina dan Alam Bina, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia,*

**Corresponding author: lukman@ukm.edu.my*

Received 13 March 2023, Received in revised form 12 June 2023
 Accepted 8 July 2023, Available online 31 October 2023

ABSTRAK

Penggunaan sistem perkhidmatan pengangkutan awam seperti MRT (*Mass Rapid Transit*) merupakan satu aspek penting dalam mewujudkan sebuah bandar yang terancang. Walaubagaimana pun, kesan daripada bunyi yang terhasil daripada keretapi dan kehadiran orang ramai mampu membuatkan ketenteraman persekitaran stesen terganggu. Objektif kajian ini ialah untuk mengkaji prestasi akustik di dalam stesen perkhidmatan pengangkutan awam berdasarkan penggunaan bahan binaan stesen terhadap tahap keselesaan pengguna. Kajian ini akan dijalankan berdasarkan tiga kaedah pengumpulan maklumat. Kaedah kajian pertama melibatkan pengumpulan maklumat melalui sumber-sumber ilmiah seperti artikel, tesis dan juga buku berkenaan tajuk kajian bagi penentuan faktor-faktor pencemaran bunyi dan juga tahap optimum keselesaan pengguna. Kaedah kedua melibatkan pengumpulan maklumat di tapak kajian dengan mengukur kekuatan bunyi yang terhasil di setiap penjuru stesen dengan menggunakan meter desibel untuk merekodkan prestasi akustik sedia ada di dalam stesen. Kaedah ketiga ialah mengkaji ruangan stesen dengan menghasilkan ruangan stesen dalam bentuk 3D dan menjalankan simulasi pantulan bunyi menggunakan aplikasi I-Simpa. Stesen MRT Cochrane, Cheras merupakan lokasi yang dipilih sebagai kajian lapangan kerana ciri-ciri stesen yang terletak di bawah tanah dan tertutup. Berdasarkan daripada maklumat yang diperolehi daripada pengukuran di tapak dan simulasi komputer; kajian ini berhasil menentukan prestasi akustik stesen MRT bawah tanah tersebut dan seterusnya mencadangkan penambahbaikan akustik menerusi pengolahan penggunaan bahan binaan.

Kata kunci: Akustik; perkhidmatan awam; MRT; I-Simpa; keselesaan pengguna

ABSTRACT

The existence of public transport services system such as MRT (*Mass Rapid Transit*) is one of the most important aspects in an urban environment. Nevertheless, the impact of sound produced by the trains and the crowds are causing disturbance to the urban environment. The importance of this study is to identify the impact of building materials in the acoustic performance of the underground MRT station in improving the level of users' comfort. There are three methods of data collection in this study. The first method involves data collection from articles, thesis and books related to the acoustic performance and human comfort. The second method is based on the data collection on site which involves the measurement of the acoustic performance inside the existing MRT underground station using decibel meter. The third method involves the study of the acoustic performance inside the underground station by producing 3D models and by running acoustic simulations within the station models through I-Simpa software. MRT Cochrane station in Cheras was selected for the studies based on its characteristic which is located at the underground level and largely enclosed. Based on the collected data from the field measurement and the computer simulation, this study manages to determine the acoustic performance of the MRT underground station and further proposes acoustic improvement through the manipulation of building materials.

Keywords: Acoustic; public transportation; MRT; I-Simpa; user comfort

PENGENALAN

Akustik merupakan salah satu cabang sains persekitaran yang menjurus kepada pengetahuan tentang pergerakan dan penyebaran bunyi. Manusia mempunyai lima deria utama dan salah satu daripadanya ialah deria pendengaran. Oleh itu, prestasi akustik memainkan peranan penting dalam mewujudkan suasana yang tenang dan selesa di dalam dan luar bangunan. Walau bagaimanapun, setiap individu mempunyai tanggapan yang berbeza terhadap prestasi bunyi. Hal ini disebabkan setiap manusia mempunyai naluri dan tahap keselesaan yang berbeza. Elemen akustik tidak hanya terhad kepada penghasilan muzik atau pencemaran bunyi tetapi elemen ini mempengaruhi pelbagai aspek lain dalam kehidupan manusia (Reybrouck & Welch 2019). Akustik melibatkan banyak faktor lain yang mempengaruhi kualiti penghasilannya di dalam sesebuah ruang sama ada di dalam dan juga luar bangunan.

Ramai mungkin bertanggapan bahawa prestasi dan sistem akustik hanya diimplimentasikan di teater atau di panggung wayang. Walaubagaimanapun, prestasi akustik mempunyai pelbagai pecahan cabang topik yang merangkumi aspek-aspek lain seperti pencemaran bunyi, pengaruh bunyi terhadap psikologi, fisiologi, biologi dan sebagainya. Topik kajian artikel ini pula hanya memfokus kepada prestasi akustik di dalam senibina stesen pengangkutan awam iaitu MRT.

Akustik senibina banyak dipengaruhi oleh aspek-aspek pembinaan dan reka bentuk bangunan. Wallace Sabine merupakan salah seorang individu yang paling awal memperkenalkan akustik senibina kepada dunia. Beliau merupakan graduan daripada Harvard University dan terkenal kerana penemuannya mengenai akustik senibina yang dijadikan rujukan oleh para arkitek, para pembina, saintis dan juga para penyelidik di dalam industri pembinaan (Kranz 1985). Salah satu kertas kerjanya berkenaan «*reverberation*» menerangkan jangka masa pendengaran baki bunyi yang terjadi berdasarkan kepada keluasan sesuatu ruang dan juga kebolehan penyerapan bunyi oleh komponen binaan. Penemuan Sabine yang dilaporkan di dalam kertas kerja ini telah dijadikan piawai di dalam pengukuran kadar akustik bersesuaian di dalam sesebuah ruang (Sabine & Egan 1994).

Akustik merupakan salah satu aspek penting yang mempunyai pengaruh besar di dalam industri pembangunan alam bina. Di Malaysia, terdapat satu contoh bangunan yang menadaptasikan teknologi akustik iaitu Dewan Filharmonik Petronas. Dewan ini mengandungi 855 tempat duduk dan mampu mengadakan pelbagai jenis persembahan orkestra. Dewan ini menerapkan beberapa strategi pengawalan prestasi akustik termasuklah ruangan dalam

yang menadaptasikan bentuk kotak kasut, kegunaan bahan menyerap bunyi pada bahagian dinding dan juga tempat duduk, balkoni berbentuk cembung dan juga siling «*vaulted*» bagi mencapai tahap akustik yang terbaik untuk mengadakan persembahan-persembahan terkemuka (Husin & Mustapa 2004).

Pertimbangan akustik bukanlah sahaja terhad kepada keperluan persembahan muzik dalam bangunan dan juga masalah pencemaran bunyi di persekitaran, malah unsur ini memainkan peranan penting dalam pembentukan ruang yang memberi implikasi kepada keselesaan manusia yang menggunakan ruangan tersebut seperti yang ditekankan oleh Yang, W. & Kang, J. (2005). Pertimbangan akustik boleh mempengaruhi perancangan sesebuah bandar secara menyeluruh untuk kesejahteraan penghuni bandar tersebut seperti yang diketengahkan oleh Oliveira, M. P. G., Medeiros, E. B. & Davis, C. A. (1999).

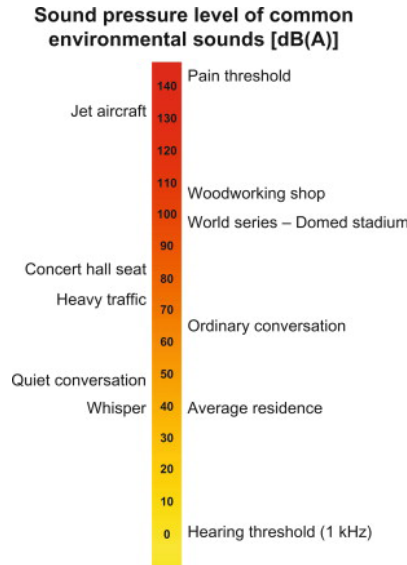
Penerapan akustik yang baik di dalam bangunan kemudahan perkhidmatan awam perlu dikaji semula bagi meningkatkan tahap keselesaan pengguna yang memberi kesan kepada produktiviti harian mereka. Oleh itu, kajian ini mengetengahkan prestasi akustik di stesen MRT (*Mass Rapid Transit*) bawah tanah di Malaysia yang biasanya terdedah kepada kadar atau tekanan bunyi yang tinggi. Kajian ini mencontohi kaedah kajian akustik ke atas stesen kereta api bawah tanah seperti yang dilaksanakan oleh Sü, Z. & Çalıřkan, M. (2007) di Ankara, Turki dan oleh Wu, Y., Kang, J. & Zheng, W. (2018) di Cina.

METODOLOGI

KAJIAN KEPUSTAKAAN

Unit desibel (dB) ialah nisbah intensiti yang digambarkan dalam bentuk skala logaritma (asas 10). Menurut Murphy dan King (2014), desibel adalah skala bunyi yang kurang dikenali secara umum tetapi skala bunyi ini adalah perkara yang sentiasa dialami di dalam kehidupan harian manusia iaitu di antara 30 hingga 100 dB(A).

Skala bunyi juga boleh memberi kesan positif dan juga negatif kepada kesihatan manusia. Berdasarkan Rajah 1, skala bunyi melebihi 120 dB(A) sehingga 140 dB(A) adalah skala yang boleh menyebabkan kecederaan kepada pendengaran manusia. Oleh itu, skala bunyi ini perlu dielak dan tidak boleh terdedah dengan terlalu lama.



RAJAH 1. Skala bunyi yang dihasilkan oleh beberapa punca (Murphy & King 2014)

Berdasarkan kepada Persatuan Kesihatan Sedunia (WHO) pula, pencemaran bunyi boleh menyebabkan masalah fizikal dan juga psikologi kepada manusia dan juga kehidupan lain apabila terlalu lama terdedah kepadanya. Tahap pencemaran bunyi yang lebih daripada 75 dB(A) boleh menyebabkan sakit kepala, masalah penghadaman, peningkatan degupan jantung, kegelisahan dan juga perasaan gementar manakala pencemaran bunyi melebihi 100 dB(A) pula mampu membuatkan kehilangan pendengaran jika terdedah terlalu lama (Xiang 2017).

Oleh itu, pertimbangan berkenaan akustik di dalam ruangan stesen MRT (*Mass Rapid Transit*) perlu dititikberatkan kerana akustik memainkan peranan penting

bagi menjamin tahap keselesaan dan kesihatan pengguna. Bagi mengawal pencemaran bunyi yang terhasil disebabkan oleh perkhidmatan kereta api, Jabatan Alam Sekitar telah menetapkan piawaian bagi mengawal tekanan bunyi yang terhasil disebabkan oleh perkhidmatan awam ini. Berdasarkan daripada Jabatan Alam Sekitar (2019), prestasi bunyi di persekitaran laluan kereta api ditentukan oleh Jabatan Alam sekitar dengan mengambil kira perbezaan bunyi sedia ada dan selepas pembangunan sesebuah laluan kereta api itu terbina. Hal ini kerana laluan kereta api ini mempunyai impak kepada pembangunan sedia ada terutamanya kawasan perumahan, kawasan institusi dan kawasan pejabat.

JADUAL 1. Nilai yang disarankan dan nilai maksimum bagi kadar bunyi di sesebuah landasan kereta api (Jabatan Alam Sekitar, 2019)

Guidelines for Environmental Noise Limits and Control | 30

FIFTH SCHEDULE
LIMITING SOUND LEVEL (L_{Aeq} and L_{max})
FROM RAILWAY AND TRANSIT TRAINS
(FOR NEW RAILWAY & TRANSIT LINES AND RE-ALIGNMENTS)

Receiving Land Use Category	L _{Aeq} Day 7.00 am - 10.00 pm	L _{Aeq} Night 10.00 pm - 7.00 am	L _{max} Day & Night
Noise Sensitive Areas, Low Density and Suburban Residential Areas	60 dBA	55 dBA	75 dBA*
Urban Residential Areas	65 dBA	60 dBA	80 dBA*
Commercial, Mixed Development	70 dBA	65 dBA	80 dBA*
Industrial	75 dBA	75 dBA	NA

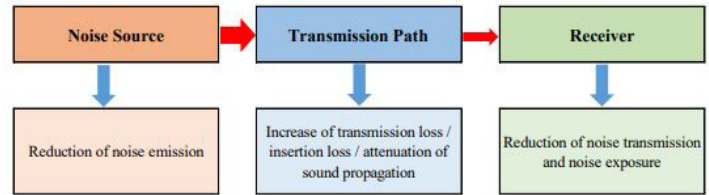
Note:

- *L_{max} noise levels prescribed herein are for train pass-by events only; assessed on trains pass-by events averaged over one hour (i.e. averages of train pass-by L_{max} noise levels from all trains in one hour).
Care in measurements must be exercised to ensure the L_{max} levels being measured and assessed are not from extraneous noise sources (typically road traffic vehicle pass-by, horns, siren, etc.) not related to train pass-by events.
- In situations where the existing L_{Aeq} sound levels of receptors are higher than limits prescribed above or within (less than) 2 dBA of the prescribed limits, the maximum permissible L_{Aeq} levels stipulated in Schedule 3 shall apply.

Berdasarkan daripada Jadual 1, kadar maksimum prestasi bunyi yang ditetapkan bagi laluan kereta api adalah setinggi 80 dB(A) di kawasan bandar dan 75 dB(A) di kawasan sensitif pencemaran bunyi dan kawasan perumahan luar bandar (Jabatan Alam Sekitar, 2019). Hal ini bermaksud sesebuah stesen kereta api juga perlu mempunyai kadar bunyi yang kurang daripada 80 dB(A).

Selain itu, berdasarkan daripada Jabatan Alam Sekitar (2019) juga, terdapat beberapa kaedah yang telah

disarankan berkenaan panduan kawalan bunyi. Pada kebiasaannya kaedah ini melibatkan pendekatan kejuruteraan dalam perkembangan, pembendungan dan pengurangan bunyi yang bergerak ke reseptor (penerima). Pendekatan ini melibatkan pengolahan pada tiga fasa elemen penyebaran bunyi iaitu pada punca bunyi itu sendiri, pada laluan penuluran bunyi dan pada penerima bunyi (Jabatan Alam Sekitar 2019).



RAJAH 2: Skala bunyi yang dihasilkan oleh beberapa punca (Jabatan Alam Sekitar 2019)

KAJIAN TAPAK

Tapak kajian dijalankan di sebuah stesen MRT di Kuala Lumpur iaitu di stesen Cochrane yang terletak di Cheras, Jalan Cochrane, Kuala Lumpur. Stesen ini mempunyai empat aras bawah tanah dan hanya tiga aras yang boleh dimasuki oleh orang awam. Aras tanah merupakan ruangan lobi dan pintu masuk untuk turun ke aras bawah tanah. Aras 1 bawah tanah merupakan laluan pejalan kaki yang menghubungkan stesen dan pusat membeli belah berdekatan iaitu Mytown Shopping Centre. Aras 3 bawah

tanah adalah ruang legar untuk orang ramai membeli tiket dan ruangan pengurusan dan kaunter pertanyaan. Aras 4 bawah tanah pula merupakan ruangan yang paling dalam. Aras ini merupakan ruangan menunggu keretapi untuk menuju ke Kajang atau Sungai Buloh. Stesen ini merupakan pelantar berpulau di mana ruangan menunggu untuk kedua-dua arah berada di atas pelantar yang sama. Ruangan yang dikaji ialah pada aras bawah tanah 4 iaitu ruangan menunggu yang tertutup dan terdapat kehadiran kereta api yang lalu pada waktu yang ditetapkan.



RAJAH 3. Ruangan pintu masuk ke dalam stesen MRT Cochrane

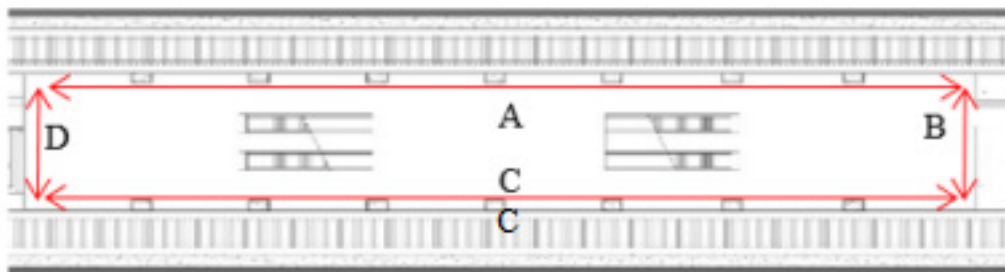


RAJAH 4. Ruangan pelantar menunggu stesen MRT Cochrane

Pengukuran stesen MRT Cochrane ini telah dijalankan menggunakan pengukur laser dalam penentuan jarak antara dinding serta ketinggian siling. Sebelum pengukuran dijalankan, empat permukaan dinding ruangan menunggu utama stesen MRT ini dilabelkan sebagai A, B,

C dan D seperti di dalam Rajah 5. Dinding A dan C merupakan permukaan yang paling lebar di dalam stesen manakala B dan D merupakan permukaan yang pendek yang terletak pada kedua-dua belah penjurukan stesen. Jadual 2 menunjukkan jarak dinding di dalam pelantar stesen MRT Cochrane.

RAJAH 5. Kaedah pengukuran ruangan pelantar menunggu stesen MRT Cochrane



JADUAL 2. Lokasi dinding dan jarak yang diukur di tapak kajian

Lokasi Dinding	Jarak antara Dinding (mm)
A	86400
B	12150
C	86400
D	12150

Ketinggian siling direkodkan secara purata setinggi 4-meter manakala kelebaran dan panjang yang diambil oleh ruangan eskalator adalah seluas 5-meter dan 12.2-meter. Secara keseluruhan, ruangan stesen mempunyai keluasan sebanyak 1049.76-meter dan isi padu stesen sebesar 4199.04-meter padu. Maklumat yang diperolehi berdasarkan daripada pengukuran tapak ini akan digunakan dalam penghasilan model stesen.

Penggunaan bahan binaan di dalam stesen MRT juga dikenalpasti bagi membantu dalam penentuan kedudukan bahan yang mempunyai daya penyerapan bunyi dalam penghasilan model stesen. Kedudukan utama yang mempunyai daya penyerapan bunyi terletak pada bahagian siling pelantar stesen dan dinding pada dua penjurukan pelantar stesen dengan penggunaan panel siling aluminium berongga dan panel aluminium akustik berongga. Pada

bahagian lain stesen tiada penggunaan bahan binaan yang mempunyai daya penyerapan bunyi yang ketara seperti

penggunaan jubin proselin pada bahagian lantai, panel aluminium pada bahagian dinding dan panel berlamina (*laminated*) untuk menutup struktur bangunan.



RAJAH 6. Penggunaan panel siling aluminum berongga di stesen MRT Cochrane



RAJAH 7. Penggunaan panel siling aluminum berongga di stesen MRT Cochrane

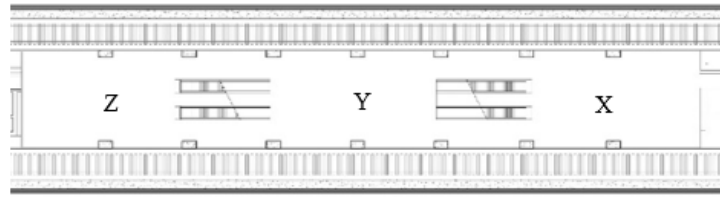
Bagi mencapai objektif utama kajian iaitu menguji kesan bahan binaan terhadap prestasi akustik di dalam ruangan pelantar stesen, kadar tekanan bunyi sedia ada di dalam pelantar stesen haruslah diukur dan direkodkan sebagai pengesahan dan dijadikan rujukan di dalam kajian simulasi. Pengukuran prestasi akustik sedia ada di dalam

stesen ini telah direkodkan di dalam unit desibel dB(A) dengan menggunakan instrumen meter desibel.

Kaedah pengukuran tahap tekanan bunyi atau kadar akustik telah direkodkan pada tiga bahagian pelantar iaitu di dua penjuru pelantar stesen dan di bahagian tengah pelantar stesen pada titik X, Y dan Z seperti yang di dalam lakaran Rajah 9.



RAJAH 8. Instrumen meter desibel yang digunakan dalam pengukuran kadar bunyi di stesen MRT Cochrane.

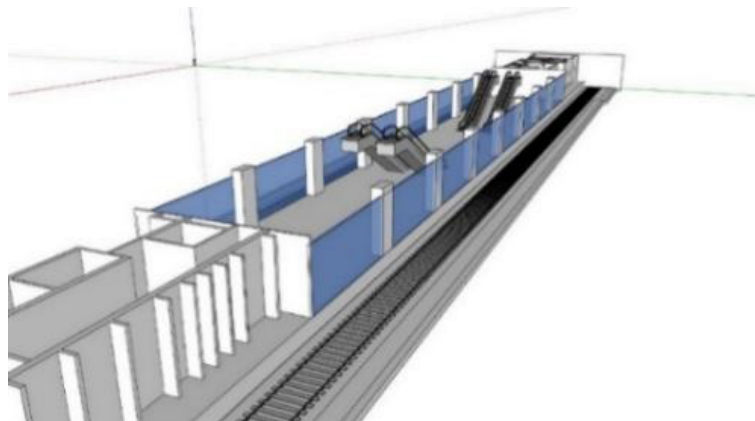


RAJAH 9: Titik pengukuran kadar atau prestasi akustik yang direkod di pelantar stesen MRT Cochrane.

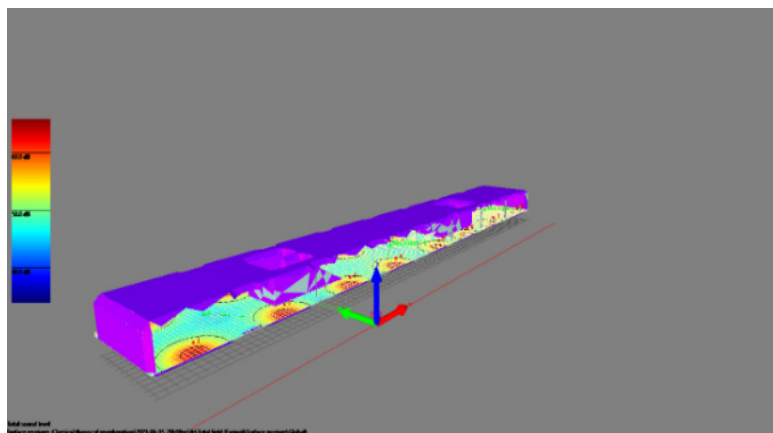
KAJIAN SIMULASI AKUSTIK

Simulasi akustik merupakan kaedah eksperimen dalam mengkaji sesuatu perkara yang bersifat kuantitatif. Menurut Schmidt & Kirkegaard (2005), simulasi akustik menggunakan perisian komputer merupakan kaedah penting dalam menghasilkan reka bentuk dewan, rumah opera dan auditorium. Kaedah ini bukan sahaja dapat mengurangkan masalah akustik di dalam reka bentuk, malah memberi alternatif baharu dalam penilaian prestasi akustik dalam jangka masa yang singkat.

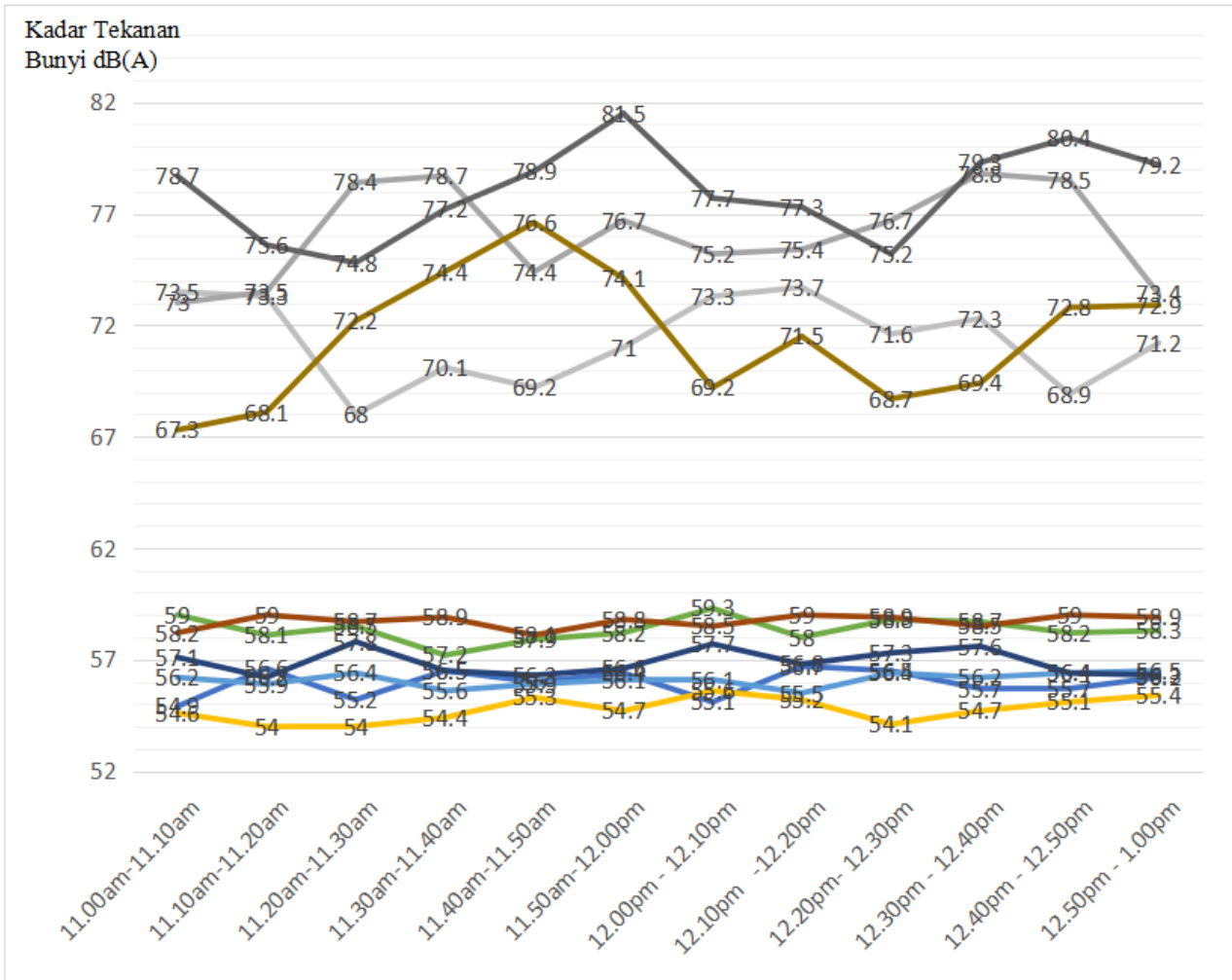
Dalam kajian ini, simulasi yang dijalankan melibatkan pada peringkat awalnya penghasilan model 3D berdasarkan pengukuran parameter stesen MRT Cochrane. Pengukuran telah dijalankan di lapangan dan seterusnya lukisan 3-dimensi bangunan telah dihasilkan menggunakan aplikasi Sketchup. Lakaran dihasilkan dalam fail berbentuk 3Ds. Fail ini kemudiannya telah diintegrasikan ke dalam perisian komputer I-Simpa bagi mengukur dan mengkaji prestasi akustik bangunan MRT Cochrane secara simulasi seperti yang pernah dijalankan oleh Picaut, J. & Fortin, N. (2012) menggunakan perisian akustik yang sama.



RAJAH 10. Penggunaan perisian Sketchup dalam penghasilan model 3D MRT Cochrane



RAJAH 11. Penggunaan perisian I-Simpa dalam penentuan daya penyerapan bahan binaan.



RAJAH 12. Graf Tekanan Bunyi di Dalam Ruang Pelantar Stesen MRT

DAPATAN KAJIAN

Kajian simulasi akustik ini telah melibatkan perbandingan di antara kadar bunyi di dalam model ruangan stesen MRT Cochrane tanpa sebarang bahan binaan yang mempunyai daya penyerapan bunyi, model ruangan stesen dengan penggunaan bahan binaan dengan daya penyerapan bunyi sebanyak 30% pada bahagian dinding dan siling dan model ruangan stesen dengan penggunaan bahan binaan dengan daya penyerapan bunyi 30% pada setiap permukaan stesen. Perbezaan kadar bunyi di antara ketiga-tiga model ini telah dilaksanakan bagi mengkaji kesan penggunaan binaan kepada prestasi akustik ruangan pelantar stesen.

Berdasarkan daripada pengukuran kadar bunyi yang

telah dijalankan, nilai L_{max} yang dicatatkan adalah setinggi 81.5 dB(A) dan nilai L_{low} yang dicatatkan adalah serendah 54.0 dB(A). Seperti yang dapat dilihat dalam Jadual 3, kadar bunyi yang terendah yang dicatatkan adalah sewaktu ketiadaan keretapi di atas pelantar menunggu MRT iaitu di kedudukan Y. Di samping itu, nilai tertinggi kadar bunyi yang dicatatkan adalah di kedudukan Z di dalam pelantar menunggu stesen dengan kehadiran keretapi. Kadar L_{max} tanpa kehadiran keretapi pula mencatatkan nilai tertinggi di bahagian X stesen dengan kadar bunyi 59.0 dB(A). Secara umumnya, kadar tekanan bunyi sedia ada di stesen MRT Cochrane memenuhi piawaian yang telah ditetapkan oleh Jabatan Alam Sekitar, Malaysia.

Berdasarkan daripada kadar tekanan bunyi yang telah dinilai di kajian lapangan, prestasi akustik sedia ada stesen dengan penggunaan bahan binaan penyerapan bunyi pada bahagian siling dan pada bahagian dinding stesen dapat dijadikan rujukan dalam penghasilan model perbandingan simulasi akustik.

JADUAL 3. Tekanan bunyi secara ringkas di dalam ruangan pelantar Stesen

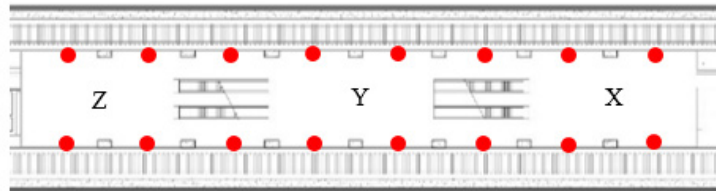
Titik Penerimaan Bunyi	Kadar Tekanan Bunyi di Dalam Stesen dB(A)		
	Tanpa Keretapi (L_{Low})	Tanpa Kereta Api (L_{max})	Kehadiran Kereta Api (L_{max})
X	54.9	59.0	73.5
Y	54.0	56.4	78.7
Z	56.3	58.8	81.5
Purata	55.1	58.1	77.8

Setelah model 3D stesen MRT Cochrane yang dihasilkan menggunakan perisian Sketchup, model ini kemudiannya diintegrasikan ke dalam perisian I-Simpa bagi menjalankan simulasi akustik atau bunyi. Antara aspek utama yang dikaji ialah perbezaan prestasi bunyi sedia ada stesen dengan pengolahan terhadap jumlah permukaan yang mempunyai daya penyerapan bunyi. Simulasi telah mengambil kira perbezaan berikut:

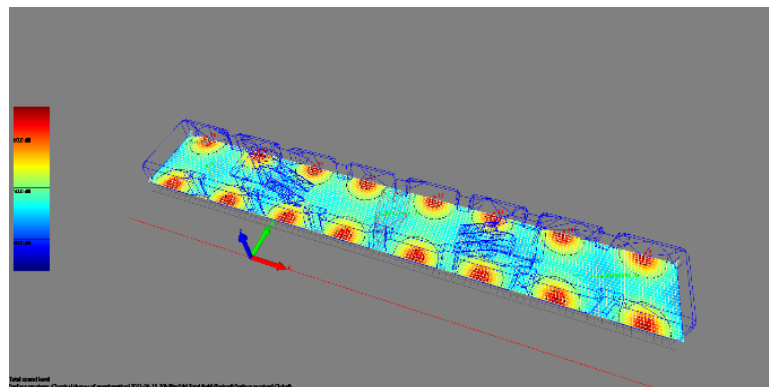
1. Ruangan pelantar stesen MRT tanpa bahan binaan dengan daya penyerapan bunyi.
2. Ruangan pelantar stesen MRT yang mempunyai bahan binaan dengan daya penyerapan bunyi 30% pada bahagian siling dan dinding berdasarkan daripada pelantar stesen sedia ada.

3. Ruangan pelantar stesen MRT yang mempunyai bahan binaan dengan daya penyerapan bunyi 30% pada setiap permukaan pelantar stesen.

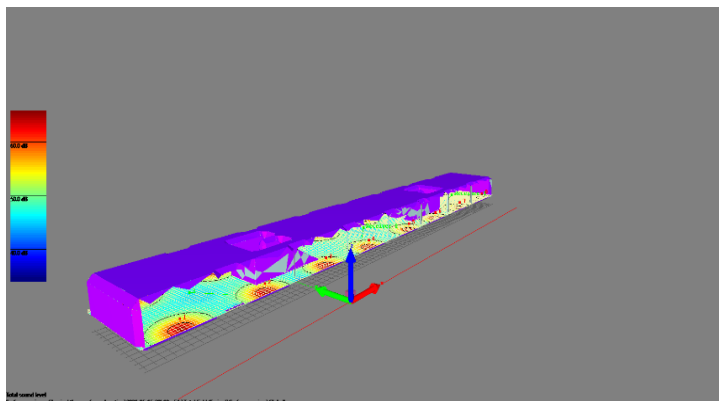
Dalam menjalankan simulasi ini, kedudukan punca bunyi dan kedudukan penerimaan bunyi telah ditetapkan berdasarkan kepada kedudukan yang telah dijalankan di dalam kajian lapangan. Kedudukan punca bunyi telah diletakkan pada setiap pintu ruangan menunggu pelantar stesen manakala kedudukan penerima bunyi telah diletakkan di lokasi X, Y dan Z yang telah rekodkan di dalam kajian lapangan. Rajah 13 menunjukkan kedudukan punca bunyi dan penerima bunyi di dalam model 3D di dalam perisian I-Simpa.



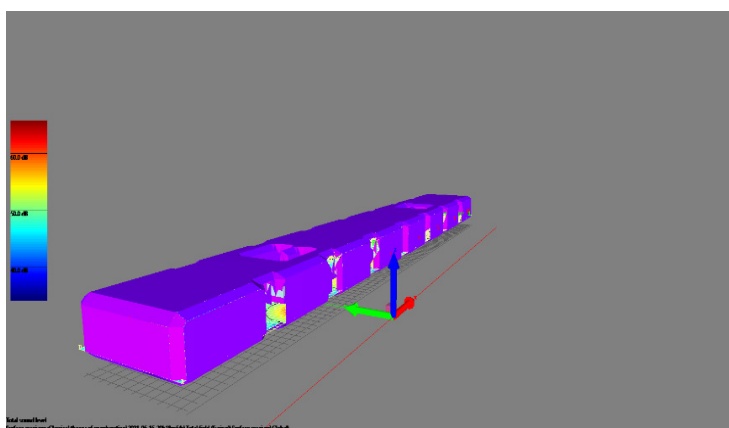
RAJAH 13. Lokasi punca bunyi dan titik penerima bunyi di dalam pelantar stesen MRT.



RAJAH 14. Ruangan pelantar stesen MRT tanpa bahan binaan dengan daya penyerapan bunyi.



RAJAH 15. Ruangan pelantar stesen MRT yang mempunyai bahan binaan dengan daya penyerapan bunyi 30% pada bahagian siling dan dinding berdasarkan reka bentuk pelantar stesen MRT sedia ada.



RAJAH 16. Ruangan pelantar stesen MRT yang mempunyai bahan binaan dengan daya penyerapan bunyi 30% pada setiap permukaan pelantar stesen.

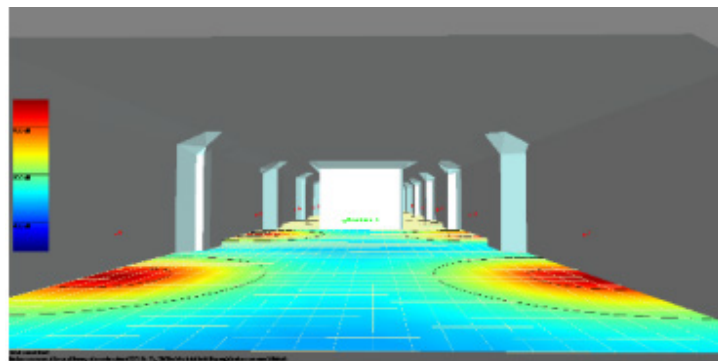
JADUAL 4. Ringkasan perbezaan tekanan bunyi anantara tiga-tiga model simulasi di dalam pelantar stesen

Berdasarkan kepada kajian simulasi ini, terdapat pengurangan terhadap kadar tekanan bunyi dengan pengolahan penggunaan bahan berdasarkan kepada perbezaan, ϵ binaan yang mempunyai daya penyerapan di dalam model pelantar stesen MRT. Menurut Jadual 12,1 di antara prestasi akustik di dalam simulasi pertama dan simulasi kedua, pengurangan bunyi pada titik X adalah sebanyak 73.0 dB(A) dengan jumlah permukaan penyerapan 12.0 dB(A) dan titik Z sebanyak 12.1 dB(A) manakala titik Y sebanyak .meter persegi-3.13,8 meter persegi daripada keseluruhan permukaan-1967,0 ϵ sebanyak

dB(A) 13,2 Jika dibandingkan simulasi pertama dan simulasi ketiga, pengurangan bunyi pada titik X, Y dan Z adalah sebanyak 73.0 meter persegi yang mempunyai nilai penyerapan sebanyak-2.13,8 dengan jumlah keseluruhan permukaan sebanyak Walaubagaimana pun, perbezaan di antara simulasi kedua dan ketiga tidak menunjukkan perbezaan kadar tekanan bunyi yang 1,2 dB(A) 1,1 dB (A) pada titik X dan Y manakala terlalu drastik pada ketiga-tiga titik penerima bunyi iaitu pengurangan sebanyak .pada titik Z

Oleh itu, secara kesimpulannya, jumlah permukaan yang mempunyai daya penyerapan bunyi mampu memberi impak utama yang melaporkan (1.1 ϵ). kepada prestasi akustik di dalam ruangan pelantar stesen. Ini selari dengan dapatan kajian oleh Kho, W. K perkara yang sama. Berdasarkan kepada perubahan tekanan bunyi pada simulasi pertama dan ketiga, pengurangan tekanan bunyi dengan keseluruhan permukaan pelantar stesen menggunakan bahan binaan yang 7.16,0 yang mampu dicapai adalah sebanyak 73.0 mempunyai daya penyerapan bunyi sebanyak

Walaupun bagaimanapun, berdasarkan kepada perbezaan di antara simulasi kedua dan ketiga pula menunjukkan bahawa penggunaan bahan binaan yang mempunyai daya penyerapan pada setiap permukaan pelantar stesen tidak mempunyai pengurangan tekanan bunyi yang ketara. Hal ini menunjukkan bahawa sebahagian permukaan binaan atau bangunan sahaja yang memberi kesan utama kepada penyerapan bunyi di dalam stesen MRT. Oleh itu, tidak semua permukaan stesen perlu menggunakan bahan binaan yang mampu menyerap bunyi. Berdasarkan kajian ini, kawasan yang mempunyai kadar tekanan bunyi yang tinggi iaitu di bahagian pintu stesen sebenarnya paling memerlukan bahan penyerap bunyi kerana kedudukannya berhampiran dengan punca bunyi.



RAJAH 17. Kontur kadar tekanan bunyi di dalam stesen MRT.

Selain itu, penggunaan bahan penyerapan bunyi yang lebih bagus juga mampu mengurangkan lagi tekanan bunyi yang berada di dalam stesen MRT. Dalam kajian simulasi akustik ini, hanya bahan binaan yang mempunyai daya penyerapan bunyi sebanyak 30% telah digunakan. Dengan penggunaan bahan binaan yang mempunyai kadar penyerapan bunyi yang lebih tinggi mungkin akan mampu menurunkan tekanan bunyi di dalam stesen secara lebih ketara seperti di dalam kajian akustik yang dilakukan oleh Kho, W. K. (2014). Di antara bahan binaan yang boleh digunakan untuk menambah kadar penyerapan bunyi ialah jubin akustik, papan gentian mampat, plaster berserat dan panel dinding akustik.

KESIMPULAN

Tuntasnya, langkah penerapan bahan binaan yang mampu menyerap bunyi di dalam ruangan pelantar stesen sewajarnya diambil kira di dalam reka bentuk semua stesen MRT bawah tanah sedia ada dan juga stesen-stesen MRT baharu yang bakal dibina pada masa hadapan. Hal ini bertujuan bagi mewujudkan ruangan stesen MRT yang lebih sesuai untuk keselesaan akustik orang ramai di samping menjaga tahap kesihatan dan juga keselamatan

Jika dilihat di dalam RAJAH 17, kadar tekanan bunyi pada bahagian tengah stesen tidak begitu tinggi berbanding di bahagian dinding stesen. Hal ini menunjukkan bahawa sebahagian permukaan stesen tidak menerima peredaran bunyi yang ketara dan hanya sebahagian permukaan sahaja yang memberi kesan terhadap pengurangan pantulan bunyi. Oleh itu, lokasi pemasangan bahan penyerapan bunyi ini memainkan peranan penting dalam mengurangkan kadar tekanan bunyi di dalam stesen MRT. Kedudukan tekanan bunyi yang tinggi di dalam stesen MRT boleh dikenalpasti melalui simulasi dan penggunaan bahan binaan penyerap bunyi tidak perlu berada di setiap permukaan di dalam pelantar stesen MRT.

para pengguna perkhidmatan pengangkutan awam ini. Kajian ini juga dapat diteruskan dengan mengenalpasti bagaimana penggunaan bahan binaan tertentu dapat mempengaruhi prestasi akustik stesen-stesen MRT yang berada di aras bawah tanah dan juga di tingkat atas kerana faktor yang akan mempengaruhi prestasi akustik stesen-stesen yang berada pada kedudukan tersebut mungkin berbeza. Salah satu faktor yang mungkin menyebabkan perbezaan adalah kesan daripada bunyi yang terhasil daripada persekitaran di luar stesen MRT seperti yang pernah dipertimbangkan oleh Working, I.T.A. & Number, G. (2004). Kajian lanjutan ini juga boleh menentukan bahagian bersesuaian bagi pemasangan bahan binaan penyerap bunyi di stesen-stesen MRT bagi membantu mengurangkan tahap dan tekanan bunyi berlebihan di dalam ruangan menunggu keretapi.

PENGHARGAAN

Setinggi penghargaan diucapkan kepada Universiti Kebangsaan Malaysia di atas geran penyelidikan GUP-2018-095 berkenaan kualiti persekitaran dalaman bangunan yang turut merangkumi aspek akustik senibina.

RUJUKAN

- Husin, H.N. & Mustapa, S. 2004. Acoustical requirements of Dewan Filharmonik Petronas, Malaysia (November): 10–12.
- Jabatan Alam Sekitar (DOE). 2019. Guidelines for Environmental Noise Limits and Control, Guidelines For Environmental.
- Kho, W. K. 2014. Studi material bangunan yang berpengaruh pada akustik interior. *Dimensi Interior* 12(2): 57–64. doi:10.9744/interior.12.2.57-64
- Kranz, Fred W. 1985. Early history of riverbank acoustical laboratories. *Cryptologia*. 9 (3): 240–246. doi:10.1080/0161-118591859960
- Murphy, E. & King, E.A. 2014. Environmental noise pollution. *Environmental Noise Pollution* 1–7.
- Oliveira, M. P. G., Medeiros, E. B. & Davis, C. A. 1999. Planning the acoustic urban environment (January): 128–133. doi:10.1145/320134.320166
- Picaut, J. & Fortin, N. 2012. I-Simpa, a graphical user interface devoted to host 3D sound propagation numerical codes. *Acoustics* 2012 (April): 9–14. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00810893%0D>
- Reybrouck, M. & Welch, D. 2019. Music and noise: Same or different? What our body tells us. *Frontiers in Psychology*, 10 June.
- Sabine, W.C. & Egan, M.D. 1994. Collected papers on acoustics. *The Journal of the Acoustical Society of America* 95(6): 3679–3680.
- Schmidt, A.M. & Kirkegaard, P.H. 2005. From architecture acoustics to acoustical architecture using computer simulation. *Building Acoustics* 12(2):85-95. doi: 10.1260/1351010054037965
- Sü, Z. & Çalıřkan, M. 2007. Acoustical design and noise control in metro stations: Case studies of the Ankara metro system. *Building Acoustics* 14(3): 203–221. doi:10.1260/135101007781998910
- Working, I.T.A. & Number, G. 2004. Underground or aboveground? Making the choice for urban mass transit systems. *Tunneling and Underground Space Technology* 19(1): 3–28.
- Wu, Y., Kang, J. & Zheng, W. 2018. Acoustic environment research of railway station in China. *Energy Procedia* 153: 353–358. doi:10.1016/j.egypro.2018.10.038
- Xiang, Ning. 2017. *Architectural Acoustic Handbook*. J. Ross Publishing.
- Yang, W. & Kang, J. 2005. Acoustic comfort evaluation in urban open public spaces. *Applied Acoustics* 66(2): 211–229. doi:10.1016/j.apacoust.2004.07.011