
PENGARUH RANCANGAN MATERIAL AKUSTIK TERHADAP KEBISINGAN DAN WAKTU REVERBERASI AUDITORIUM TEATER KARANGANYAR

Syah Abdan Syakur Gayo

Progam Studi Arsitektur
Universitas Muhammadiyah Surakarta
d300200158@student.ums.ac.id

Nurhasan

Progam Studi Arsitektur
Universitas Muhammadiyah Surakarta
nur192@ums.ac.id

ABSTRAK

Kabupaten Karanganyar, seperti daerah lainnya di Indonesia, memiliki kebutuhan untuk meningkatkan kualitas fasilitas publiknya, termasuk gedung teater. Di mana pada gedung teater sendiri sangat memerlukan kondisi akustik ruang yang baik untuk memperoleh pengalaman pertunjukan yang berkualitas. Parameter akustik tentang kebisingan dan waktu reverberasi (RT) ruang menjadi hal yang penting untuk meningkatkan kualitas akustik ruang dimana material penutup bidang yang berkaitan dengan angka koefisien absorpsi dan refleksi sangat berpengaruh dalam menentukan besaran RT serta dapat mengurangi angka kebisingan pada suatu ruangan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penerapan material akustik terhadap pengurangan kebisingan dan penyesuaian RT pada kondisi sebelum dan sesudah material diterapkan. Penelitian ini dilakukan dengan pengumpulan data melalui pengukuran kebisingan dan pengukuran luasan bidang material serta observasi kemudian dilakukan perhitungan dan analisis sebelum dan sesudah menerapkan material akustik pada ruangan untuk mencapai standar yang diperkenankan. Di mana kebisingan yang disyaratkan berada pada angka 30-40 dB, dan waktu reverberasi pada angka $\leq 1,2 - 1,9$ detik. Di mana hasil perhitungan yang diperoleh sebelum penerapan material akustik tidak memenuhi pada kedua parameter akustik yang dihitung, sedangkan setelah penerapan material akustik, parameter waktu reverberasi ruang dapat terpenuhi namun parameter kebisingan yang disyaratkan belum dapat terpenuhi, hanya mengalami penurunan.

KEYWORDS:

akustik; kebisingan; waktu reverberasi; auditorium multifungsi

PENDAHULUAN

Kabupaten Karanganyar, seperti daerah lainnya di Indonesia, memiliki kebutuhan untuk meningkatkan kualitas fasilitas publiknya, termasuk gedung teater. Dimana pada gedung teater sendiri sangat memerlukan kondisi akustik ruang yang baik untuk memperoleh pengalaman pertunjukan berkualitas. Dengan memahami dan menerapkan prinsip-prinsip akustik yang tepat pada ruang auditoriumnya, Gedung Teater Bhineka Tunggal Ika di Kabupaten Karanganyar dapat menjadi sarana tempat melakukan pertunjukan atau pementasan yang berkualitas tinggi dan memuaskan bagi masyarakat setempat.

Ruang auditorium pada Gedung Teater Karanganyar merupakan jenis auditorium

multifungsi yang digunakan sebagai tempat melakukan pertunjukan seni tari, seni musik, drama, bahkan sebagai tempat berpidato. Ruang auditorium ini memiliki peran penting dalam menyajikan pertunjukan dengan kualitas suara yang optimal bagi penonton. Sebagai sebuah ruang yang dirancang untuk akustik, auditorium harus mampu mengendalikan kebisingan dari luar ruangan dan menciptakan waktu reverberasi yang sesuai dengan kebutuhan pertunjukan.

Parameter akustik kebisingan yang masuk dari luar ruangan dapat mengganggu pengalaman pendengaran penonton sehingga tingkat kebisingan perlu disesuaikan dengan fungsi utama dari ruang tersebut, sedangkan waktu reverberasi yang tidak sesuai dapat

menghasilkan suara yang samar atau terlalu beresonansi. Waktu reverberasi (RT) yang terlalu pendek akan menyebabkan ruangan terasa ‘mati’ sebaliknya RT yang panjang akan memberikan suasana ‘hidup’ pada ruangan (Satwiko, 2004:91).

Bahan penutup bidang permukaan interior yang berkaitan dengan angka koefisien absorpsi dan refleksi sangat berpengaruh dalam menentukan besaran RT suatu auditorium (Doelle, 1972:63). Oleh karena itu, penerapan material akustik pada elemen ruang menjadi kritis dalam mencapai keseimbangan akustik ruang.

Untuk memenuhi akustik ruang yang dibutuhkan, maka dilakukan kajian mengenai penerapan material untuk memperbaiki kualitas akustik ruang dalam mengurangi kebisingan dan menyesuaikan waktu reverberasi sehingga pengalaman pengguna ruangan ini menjadi lebih berkualitas.

Rumusan Masalah

Mengacu pada latar belakang, rumusan masalah dalam penelitian ini antara lain:

- (1) Apakah kondisi material yang digunakan saat ini dapat memenuhi standar kebisingan dan waktu reverberasi dari ruang auditorium?
- (2) Bagaimana pengaruh penerapan material akustik pada elemen ruang dalam mengendalikan kebisingan dan waktu reverberasi di auditorium?

Tujuan

Dari rumusan masalah di atas maka tujuan dari penelitian ini adalah:

- (1) Mengetahui kondisi penggunaan material yang dipakai saat ini dalam memenuhi standar kebisingan dan waktu reverberasi dari ruang auditorium.
- (2) Mengetahui pengaruh penerapan material akustik dalam memenuhi standar kebisingan dan waktu reverberasi dari ruang auditorium.

Manfaat

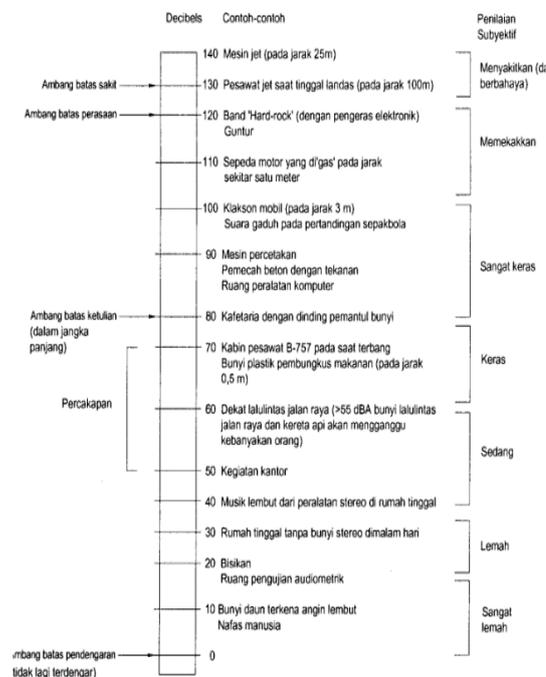
Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat kenyamanan kebisingan dan waktu reverberasi dari ruang auditorium bagi pengguna auditorium ketika menggunakan/menonton pertunjukan di dalam ruang auditorium Gedung Teater Karanganyar dengan menerapkan material

akustik ruang. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi penerapan material untuk memperoleh standar kenyamanan kebisingan dan waktu reverberasi yang optimal untuk auditorium di gedung teater tersebut.

TINJAUAN PUSTAKA

Kebisingan (Noise)

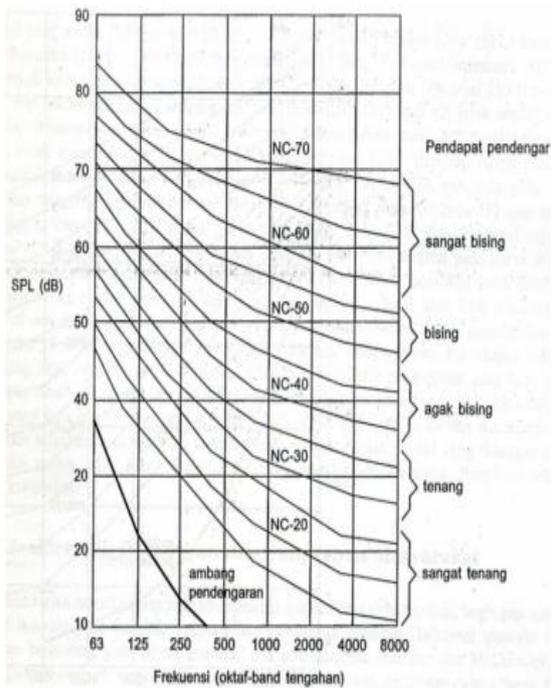
Menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup KEP-48/MENLH/11/1996, disebutkan bahwa kebisingan merupakan bunyi yang tidak diinginkan dari usaha atau kegiatan dalam tingkat dan waktu tertentu yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan.



Gambar 1. Perbandingan tingkat bunyi beberapa sumber

Sumber: (Satwiko, 2004)

Batasan kebisingan bagi setiap orang bisa berbeda-beda. Pada tingkat kebisingan 130 db merupakan ambang sakit bagi manusia dan pada tingkat kebisingan 80 db masih dianggap aman dari sudut pandang gangguan pendengaran. Namun, tingkat bunyi yang tinggi akan tetap mengganggu kenyamanan dan kinerja seseorang dalam ruangan tertentu. Kriteria Kebisingan (*Noise Criterion; NC*) adalah tingkat kebisingan terendah yang dipersyaratkan untuk ruang tertentu menurut fungsi utamanya (Satwiko, 2004).



Gambar 2. Kurva Noise Criteria (NC)
 Sumber: (Doelle, Leslie L. (1972, p. 25)

Kurva kriteria kebisingan digunakan sebagai regulasi dalam pengendalian kualitas akustik untuk mencapai kualitas akustik yang diinginkan atau sesuai dengan kebutuhan ruang tertentu seperti auditorium, studio rekaman, atau ruang kelas. Pada fungsi bangunan/ruang auditorium multifungsi, studio radio/televisei, ruang konferensi, dan ruang lain dengan tingkat akustik yang sangat baik mempunyai nilai NC yang disarankan yakni NC 20 – NC 30 yang identik dengan tingkat kebisingan 30 s.d. 40 (dB) (Doelle, Leslie L. 1972).

Fungsi Bangunan/Ruang	Nilai NC yang disarankan	Identik dengan tingkat kebisingan (dB)
Ruang konser, opera, studio rekam, dan ruang lain dengan tingkat akustik yang sangat detil	NC 15 – NC 20	25 s.d. 30
Rumah sakit, dan ruang tidur/istirahat pada rumah tinggal, apartemen, motel, hotel, dan ruang lain untuk istirahat/tidur	NC 20 – NC 30	30 s.d. 40
Auditorium multi fungsi, studio radio/televisei, ruang konferensi, dan ruang lain dengan tingkat akustik yang sangat baik	NC 20 – NC 30	30 s.d. 40
Kantor, kelas, ruang baca, perpustakaan, dan ruang lain dengan tingkat akustik yang baik	NC 30 – NC 35	40 s.d. 45
Kantor dengan penggunaan ruang bersama, cafeteria, tempat olah raga, dan ruang lain dengan tingkat akustik yang cukup	NC 35 – NC 40	45 s.d. 50
Lobi, koridor, ruang bengkel kerja, dan ruang lain yang tidak memerlukan tingkat akustik yang cermat	NC 40 – NC 45	50 s.d. 55
Dapur, ruang cuci, garasi, pabrik, pertokoan	NC 45 – NC 55	55 s.d. 65

Gambar 3. Tabel Fungsi Ruang dan Nilai Noise Criteria (NC) yang disyaratkan
 Sumber: (Doelle, Leslie L. (1972, p. 25)

Penurunan kebisingan dapat dilakukan dengan penambahan material akustik pada sebuah ruangan menggunakan rumus perhitungan perbedaan tingkat absorpsi suara antara dua kondisi atau dua bahan (Satwiko, 2004):

$$NR = 10 \log(a_2/a_1) \text{ dB.}$$

Keterangan

a₁: total penyerapan bunyi ruangan pada kondisi peredam awal, Sabine

a₂: total penyerapan bunyi ruangan pada kondisi peredam akhir, Sabine

Penggunaan koefisien NRC (*noise reduction coefficient*) yang merupakan nilai rata-rata dari koefisien absorpsi material pada empat frekuensi standar: 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, dan 2000 Hz.

Kemudian angka intensitas kebisingan setelah menggunakan material yang baru didapatkan dengan pengurangan intensitas bunyi sebelumnya dengan angka *noise reduction* yang diperoleh.

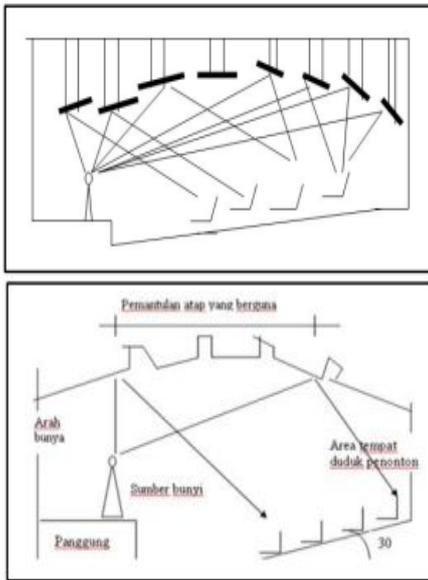
Waktu Reverberasi (Reverberation Time)

Waktu reverberasi/waktu dengung adalah waktu yang diperlukan oleh bunyi untuk berkurang 60 dB, dihitung dalam detik (dtk) (Satwiko, 2004). Walaupun terdapat beberapa parameter dalam kualitas akustik, namun waktu dengung (RT) masih dianggap salah satu parameter yang penting untuk digunakan dalam menganalisis kualitas akustik suatu ruang (Zainatun, dkk. 2018 dalam Putri, dkk, 2022).

Apabila waktu reverberasi (T₆₀) pendek, berarti suara akan meredam dengan cepat sehingga cenderung memiliki karakteristik hening pada ruangan, apabila waktu reverberasi (T₆₀) lebih lama, ini menunjukkan bahwa suara akan tetap bergerak dalam ruangan untuk periode waktu yang lebih lama setelah sumber suara dihentikan sehingga memiliki karakteristik berdengung.

Standar waktu dengung ideal akan berbeda tergantung pada fungsi dan peruntukan ruang. Beberapa standar terkait nilai waktu dengung dapat dilihat pada diagram berikut:

Dalam penerapan material pemantul bunyi digunakan untuk memantulkan bunyi ke arah penonton/penerima bunyi. Disarankan bentuk permukaan pemantul bunyi yang miring dengan permukaan yang tidak beraturan, terutama daerah plafond di atas sumber bunyi, agar sebagian besar bunyi langsung (direct sound) menyebar ke arah penonton dengan waktu tunda yang panjang sehingga bunyi langsung dapat diterima sebagian besar penonton hingga ke tempat duduk terjauh (Doelle, Leslie L, 1972:66 dalam Juwita, 2017).

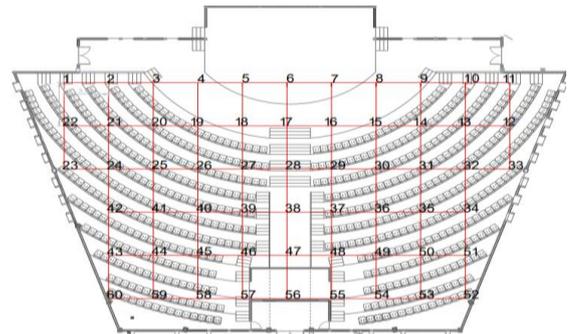


Gambar 6. Pemantulan langit-langit
Sumber: (Doelle, Leslie L. (1972)

Permukaan-permukaan pemantul bunyi (acoustical board, plywood, gypsum board dan lain-lain) yang memadai akan memberikan energi pantul tambahan pada tiap-tiap bagian daerah penonton, terutama pada bagian yang jauh (Leslie Doelle, 1990).

METODE PENELITIAN

Metode pengumpulan data yang digunakan pada penelitian ini menggunakan observasi dan pengukuran langsung pada ruangan auditorium. Pengukuran kebisingan ruang dilakukan dengan mengukur intensitas bunyi pada ruangan tanpa sumber bunyi menggunakan *sound level meter* dilakukan pada 60 titik pada ruangan dengan jarak 3 meter ke samping dan 4 meter ke belakang tanpa menggunakan sumber suara di dalam ruangan.



Gambar 7. Denah Titik Perhitungan
Sumber: (Data Pribadi, 2023)

Kemudian data per titik dihitung rata-ratanya dengan rumus persamaan intensitas bunyi rata-rata (Lawrence, 1967) untuk memperoleh rata-rata total.

$$L_t = 10 \log \left[\frac{n}{\sum_{i=1}^n} \times 10^{L_i/10} \right]$$

Keterangan:

- L_t : Intensitas bunyi rata-rata
- L_i : intensitas bunyi internal
- n : jumlah sumber bunyi

Perhitungan rata rata intensitas bunyi dibantu dengan perangkat lunak *Microsoft Excel 2016* dan perangkat lunak *Golden Surfer 11* untuk gambaran distribusi intensitas bunyi.

Pengukuran lainnya dilakukan dengan mengukur luasan elemen ruang di dalam ruangan dan melakukan observasi pada material yang digunakan. mengetahui kondisi saat ini dan melakukan perhitungan waktu reverberasi dengan menggunakan *Sabins Formula* menurut (Satwiko, 2004). adalah:

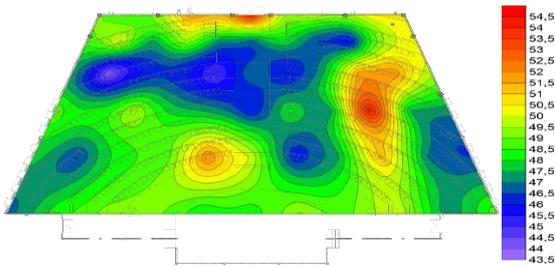
$$T_R = 0,16(V/\sum S\alpha) \text{ dtk.}$$

Keterangan

- 0,16 : konstanta
- V : volume ruang, m³
- $\sum S\alpha$: penyerapan total pada frekuensi bunyi bersangkutan, Sabine

Data yang dihitung hanya pada frekuensi 1000 HZ yang umumnya dijadikan acuan menghitung waktu dengung ruang.

Analisis data dilakukan dengan melakukan pengecekan nilai kebisingan ruang dan waktu reverberasi ruang yang telah diukur dengan standar yang sesuai dengan kegunaan fungsi ruang auditorium.



Gambar 10. Sebaran Intensitas Bunyi
Sumber: (Data Pribadi, 2023)

Dengan intensitas titik tertinggi mencapai 54 dB dan titik terendahnya 43 dB. Dimana titik terendah berada pada bagian tengah dari tempat duduk penonton dan paling tinggi berada sisi timur. dari hasil data diatas memperlihatkan bahwa kondisi tingkat kebisingan dalam auditorium gedung teater Karanganyar belum memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai auditorium multifungsi, karena tingkat kebisingan masih berada di angka 48,9 db dari standarnya yaitu 30-40 db.

Berdasarkan Kondisi material elemen ruang yang ada, telah dilakukan pengukuran parameter waktu reverberasi ruang auditorium teater dengan data luas permukaan, material dan koefisien serap sebagai berikut:

Tabel 3. Material dan Koefisien Ruang

Elemen	Bahan	Koefisien				Luas (m ²)
		250	500	1000	2000	
Dinding	Plester Pada	0,02	0,02	0,03	0,04	614
Batas Ruang	Batu bata					
Dinding	Beton atau	0,01	0,02	0,02	0,02	275
Tribun	teraso					
Lantai Dasar	Marmer atau Keping diglasir	0,01	0,01	0,01	0,02	125,5
Lantai	Marmer	0,01	0,01	0,01	0,02	688
Tribun	atau Keping diglasir					
Lantai	Marmer	0,01	0,01	0,01	0,02	101
Panggung	atau Keping diglasir					
Jendela Kaca	Glass (small pane)	0,04	0,03	0,03	0,02	6,5
Jendela Ventilasi	Ventilating grilles	0,4	0,5	0,5	0,5	21,5
Pintu Kaca	Glass (1/4" plate, large pane)	0,06	0,04	0,03	0,02	17
Pintu Aluminium	Steel Door	0,05	0,05	0,06	0,04	14
Pintu Lubang	(dibuka/terbuka)	1	1	1	1	4,6

Atap	Tensile Membrane	0,25	0,14	0,07	0,04	1710
Bukaan	(dibuka/terbuka)	1	1	1	1	265

Sumber: (satwiko,2004, www.acoustic-supplies.com, Chirstensen, 2002, nocera, Et al, 2014)

Data yang dihasilkan dari perhitungan sebagai berikut:

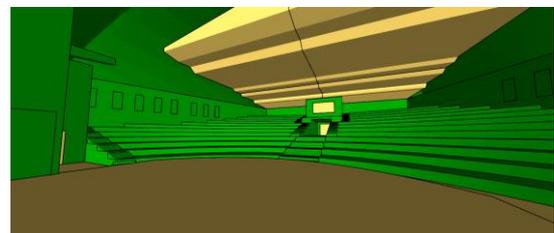
Tabel 4. Hasil Waktu Reverberasi (RT)

Frekuensi (Hz)	Detik
250	1,84
500	2,45
1000	3,09
2000	3,38

Dari hasil data diatas memperlihatkan bahwa waktu reverberasi dalam auditorium gedung teater Karanganyar belum seluruhnya memenuhi persyaratan, karena waktu reverberasi yang dibutuhkan untuk fungsi ruang auditorium multifungsi yang memiliki karakter suara keras dan jelas berada pada angka $\leq 1,2-1,9$ detik sedangkan pada ruangan saat ini waktu reverberasi hanya mampu memenuhi waktu reverberasi pada frekuensi rendah yakni 250 saja sedangkan untuk frekuensi yang lain masih tidak memenuhi.

Analisa dan Pembahasan

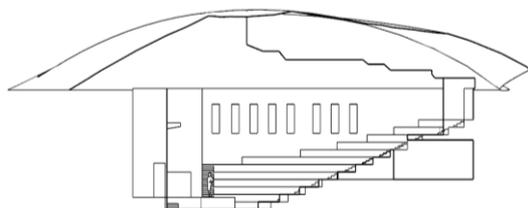
Upaya untuk memenuhi standar waktu reverberasi dan kebisingan ruang dilakukan dengan penerapan material akustik yang memiliki fungsi sebagai penyerap dan penyebar/pemantul. Material penyerap bunyi digunakan pada elemen dinding dan lantai sedangkan elemen pemantul ditambahkan pada plafon.



Gambar 11. Pemetaan Jenis Material (Kuning: Pemantul, Hijau: Penyerap)
Sumber: (Data Pribadi, 2023)

Material penyerap pada bagian dinding diberikan panel akustik berlubang mikro *Pattern 16/16/6 filled with 50mm glass wool + 100mm cavity*, pemberian lapisan

karpets berat pada lantai dan dinding tribun, dan penggunaan *fabrics wrapped acoustics panel* pada dinding panggung. Pemberian material pemantul pada langit-langit menggunakan gypsum gantung 1/2" dengan disusun bertrap untuk memaksimalkan pemantulan.



Gambar 12. Penerapan langit-langit gypsum
Sumber: (Data Pribadi, 2023)

Dengan rincian koefisien serap dan NRC sebagai berikut:

Tabel 5. Material dan Koefisien Ruang

Elemen	Bahan	Koefisien					Luas (m ²)
		250	500	1000	2000	NRC	
Dinding Batas Ruang	Panel Akustik	0,02	0,02	0,03	0,04	0,75	549,5
	Berlubang Mikro Pattern 16/16/6 filled with 50mm glass wool + 100 mm cavity						
Dinding Tribun	Karpets Berat di atas beton	0,01	0,02	0,02	0,02	0,15	275
Dinding Panggung	<i>Fabrics wrapped acoustics panel</i>	0,2	0,8	0,8	0,8	0,65	64,5
Lantai Dasar	Marmer atau Keping diglasir	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	125,5
Lantai Tribun	Karpets Berat di atas beton	0,01	0,01	0,01	0,02	0,15	688
Lantai Panggung	Marmer atau Keping diglasir	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	101
Jendela Kaca	Glass (small pane)	0,04	0,03	0,03	0,02	0,03	6,5
Jendela Ventilasi	Ventilating grilles	0,4	0,5	0,5	0,5	0,48	21,5

Pintu Kaca	Glass (1/4" plate, large pane)	0,06	0,04	0,03	0,02	0,04	17
Pintu Alumunium	Steel Door	0,05	0,05	0,06	0,04	0,05	14
Pintu Lubang	(dibuka/te rbuka)	1	1	1	1	1,00	4,6
	Tensile Membran	0,25	0,14	0,07	0,04	0,13	1710
Atap	(dibuka/te rbuka)	1	1	1	1	1,00	265
Bukaan Plafond	Papan Gypsum, setebal 1/2", digantung	0,1	0,05	0,04	0,07	0,07	584

Sumber: (satwiko,2004, www.acoustic-supplies.com, Chirstensen, 2002, nocera, Et al, 2014, id.mq-acoustics.com)

Maka dihasilkan perhitungan waktu reverberasi dari penerapan material yang baru sebagai berikut:

Tabel 6. Komparasi Hasil Waktu Reverberasi (RT)

Frekuensi (Hz)	Detik	
	(Sesudah)	(Sebelum)
250	1,04	1,84
500	1,19	2,45
1000	1,42	3,09
2000	1,33	3,38

Dengan penurunan NR (*noise reduction*) sebesar 3,2 dB sehingga dihasilkan:

Tabel 7. Komparasi Kebisingan Sebelum dan Sesudah (RT)

Intensitas Bunyi	Sesudah	Sebelum
	(dB)	(dB)
	45,6	48,9

Dari hasil perhitungan yang dilakukan maka diperoleh angka waktu dengung yang telah memenuhi standar dengan berada dibawah dan diantara angka ≤1,2-1,9 detik pada semua frekuensi yang diukur, namun angka intensitas bunyi yang dihasilkan belum memenuhi standar kebisingan dengan angka 45,6 dB yang seharusnya 30-40 dB.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan yang telah dilaksanakan, pengaruh penerapan material akustik pada ruang auditorium

Gedung Teater Karanganyar cukup pengaruh dalam mengurangi waktu dengung ruang untuk mencapai sifat akustik ruang yang memiliki karakter suara keras dan jelas untuk fungsi ruang auditorium-multifungsi untuk kegiatan pertunjukan musik dan *speech*. Dimana pada penggunaan material awal diperoleh 1,84-3,38 detik dapat berkurang hingga mencapai angka 1,04-1,33 detik pada semua frekuensi yang dihitung, dimana angka tersebut telah memenuhi standar yakni $1 < x \leq 1,2 - 1,9$.

Akan tetapi penerapan material akustik tidak memiliki pengaruh besar dalam mengurangi kebisingan di ruang auditorium Gedung Teater Karanganyar. Kebisingan yang awalnya 48,9 dB berkurang menjadi 45,6 dB namun belum mencapai standar ruang auditorium multifungsi pada angka 30-40 dB. Apabila diterapkan material akustik dengan koefisien yang lebih besar dikhawatirkan dapat berpengaruh ke waktu dengung yang terlalu rendah sehingga tidak sesuai dengan fungsi musik pada ruang auditorium.

Saran

Berdasarkan kesimpulan yang ada maka terdapat beberapa saran antara lain:

- (1) Untuk melapisi dinding menggunakan material dinding yang memiliki ketebalan dan bahan lunak dan dapat memberikan ruang antara untuk mengurangi bunyi yang tertranmisikan.
- (2) Penggunaan plafon untuk membantu memantulkan dan menyebarkan suara hingga bagian penonton paling belakang.
- (3) Untuk memperoleh pengurangan kebisingan yang lebih baik setelah penerapan material dapat dilakukan dengan mengurangi intensitas suara sumber kebisingan. Salah satunya dengan menggunakan barrier berupa pepohonan pada site.

DAFTAR PUSTAKA

- Christensen, C. L. (2002). *ODEON room acoustics program version 6.0 user manual, industrial, auditorium and combined editions*. Lyngby: Oersted Plads.
- Doelle, L. L. (1972). *Environmental Acoustic*. New York: McGraw-Hill Publishing Company.
- Egan, M.D., (1988), *Architectural Acoustics*, J. Ross Publishing, New York.
- Indrani H. C., Cahyawati, (2011). Studi Penerapan Sistem Akustik Pada Ruang Kuliah Audio Visual. *DIMENSI INTERIOR*, 9(2).
- JCWA Acoustic Supplies. (2021). *Absorption coefficients of common building materials and finishes*. Diakses pada 30 Desember 2023, dari <https://www.acoustic-supplies.com/absorption-coefficient-chart/>
- Juwita, K. (2017). Desain Plafon pada Auditorium Gedung Kesenian Jakarta. *Jurnal Desain Interior*, 2(2).
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup. (1996). *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. Kep-48/MENLH/11/1996 tentang Baku Tingkat Kebisingan Sekretariat Negara*. Jakarta.
- Lawrence, A. (1967). *Architectural Acoustics*. London: Applied Science Publisher Ltd.
- MQ Acoustics Materials. (2023). *Panel Akustik Berlubang Mikro*. Diakses Pada 31 Desember 2023, dari <https://id.mq-acoustics.com/wooden-acoustic-panel/perforated-acoustic-panel/micro-perforated-acoustic-panel.html>
- Nocera et al. (2014). *Acoustic Quality of a Tensile Membrane Structure used as a Lecture Hall, and Proposals for its Improvement*. *Journal of Building Acoustics*, 21(4), 296.
- Peter, L. dan Duncan T. (1986). *The Architecture of Sound*, Edinburg: Architectural Press.
- Putri, B. N. dkk, (2022). Implementasi Elemen Akustik *Concert Hall* Dalam Mendukung Konsep Fleksibilitas Ruang. *Seminar on Architecture Research and Technology (SMART) #6*.
- Satwiko, P. (2004). *Fisika Bangunan Edisi 1*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Zainatun, Rahim, M., Kusno, A., (2018). Analisis Reverberation Time Terhadap Kenyamanan Audial pada Ruang Auditorium Menara Pinisi UNM. *Jurnal Penelitian Enjiniring*, 22(1), 49-56