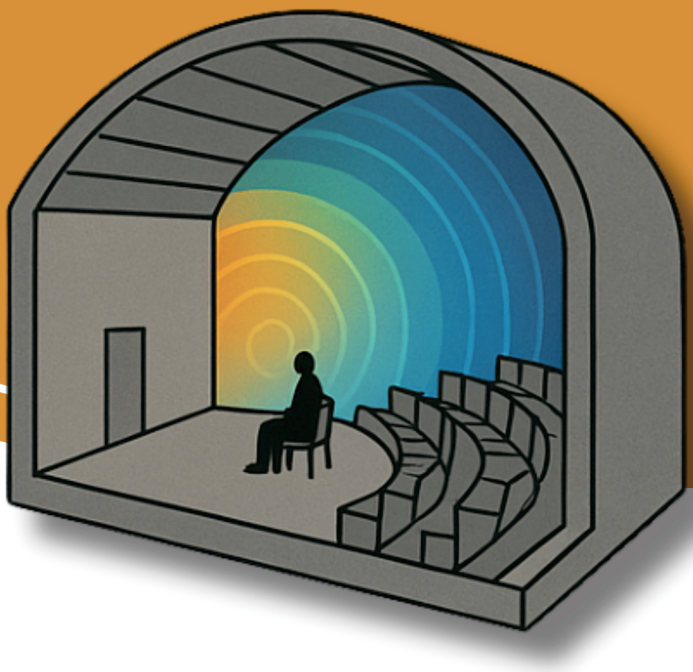
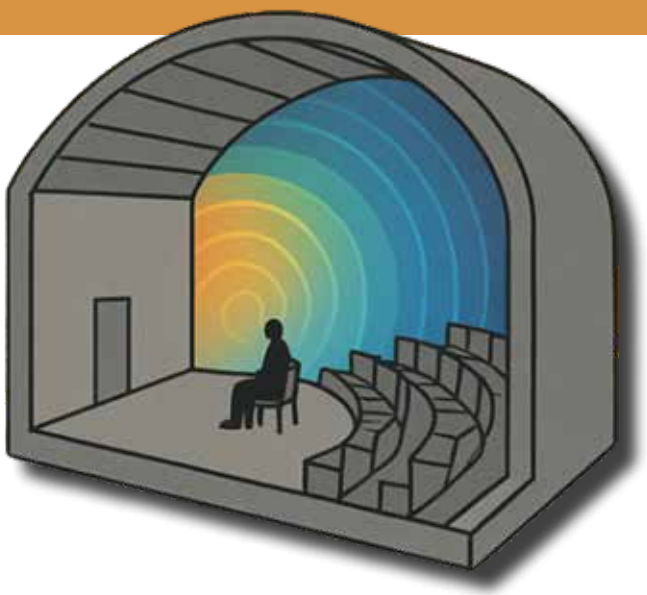
Optimasi Akustik Ruang dengan Simulasi Digital: Teori dan Studi Kasus



Frengky Benediktus Ola

Optimasi Akustik Ruang dengan Simulasi Digital: Teori dan Studi Kasus



Frengky Benediktus Ola

Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Optimasi Akustik Ruang dengan Simulasi Digital: Teori dan Studi Kasus

Penulis:
Frengky Benediktus Ola

Editor:
Sugesti Retno Yanti
Adiana Hemas Desira

Hak Cipta © 2025, pada penulis

Hak publikasi pada Penerbit Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Dilarang memperbanyak, memperbanyak sebagian atau seluruh isi dari buku ini dalam bentuk apapun, tanpa izin tertulis dari penerbit.

Cetakan ke-	05	04	03	02	01
Tahun	21	22	23	24	25

Diterbitkan oleh
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
Jl. Babarsari No. 5-6 Yogyakarta 55281
Telp. +62 274 487711
E-mail: lib.publisher@uajy.ac.id

ISBN: 978-623-10-9507-7 (PDF)

Optimasi Akustik Ruang dengan Simulasi Digital: Teori dan Studi Kasus

Kata Pengantar

Puji syukur saya panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas selesainya buku *"Optimasi Akustik Ruang dengan Simulasi Digital: Teori dan Studi Kasus"*. Buku ini disusun sebagai upaya untuk menjembatani teori akustik ruang dengan praktik perancangan berbasis simulasi digital, yang semakin berkembang dalam dunia arsitektur dan teknik bangunan.

Dalam perancangan ruang, aspek akustik sering kali kurang mendapat perhatian dibandingkan elemen visual dan struktural. Padahal, kualitas akustik yang baik sangat menentukan kenyamanan pengguna, baik dalam ruang pertunjukan, perkantoran, rumah ibadah, maupun lingkungan pendidikan. Oleh karena itu, buku ini menghadirkan pembahasan mengenai dasar-dasar akustik ruang, teknik simulasi digital untuk menganalisis dan meningkatkan performa akustik, serta beberapa studi kasus sebagai contoh penerapan di dunia nyata.

Harapan saya, buku ini dapat menjadi referensi bagi mahasiswa, akademisi, arsitek, dan praktisi yang tertarik mendalami akustik ruang dengan pendekatan berbasis teknologi. Tentu, masih banyak hal yang dapat dikembangkan dalam bidang ini, dan saya berharap buku ini dapat menjadi pemicu diskusi serta eksplorasi lebih lanjut. Terima kasih saya sampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat dan memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan ilmu akustik bangunan.

Yogyakarta, 2025

Penulis

Daftar Isi

Kata Pengantar ..... **v**
Daftar Isi ..... **vii**
Daftar Gambar ..... **xi**
Daftar Lampiran ..... **xv**

Konsep Dasar Akustik Ruang **1**
1. Pengantar Akustik Ruang 1
   a. Pentingnya Akustik dalam Desain Ruang 1
   b. Prinsip Dasar Akustik Ruang 3
   c. Parameter Utama dalam Kualitas Akustik 5
2. Metode Perbaikan Akustik Ruang 11
   a. Pendekatan Geometri Ruang dalam Desain Akustik Ruang 11
   b. Pendekatan Material dalam Desain Akustik Ruang 18

Pemanfaatan Simulasi Dalam Optimasi Akustik **27**
1. Pengenalan Simulasi Akustik Ruang 27
   a. Apa Itu Simulasi Akustik 27
   b. Keunggulan dan Keterbatasan Metode Simulasi.... 31
2. Software Simulasi Akustik yang Dapat Digunakan 36
   a. I-SIMPA 36
   b. EASE Focus 41

Studi Kasus
Perbaikan Kualitas Akustik 45

1. Penanganan Kebisingan (Studi Kasus Gereja St. Yusup Bintaran) 45
   a. Hasil Pengukuran 47
   b. Komparasi Kondisi 52
   c. Kesimpulan 55
2. Penanganan Akustik Ruang (Studi Kasus Gereja St. Yusup Bintaran) 56
   a. Rekomendasi Penataan *Sound System* 60
   b. Rekomendasi Material Akustik dengan *Sound System* 62
   c. Rekomendasi Material Akustik dengan Rekomendasi Penataan *Sound System* 65
   d. Studi Komparasi *Reverberation Time* (RT) 66
   e. Studi Komparasi *Sound Pressure Level* (SPL) 69
   f. Studi Komparasi *Clarity* 50 (C50) 71
   g. Studi Komparasi *Definition 50* (D50) 72
   h. Kesimpulan 74
3. Perencanaan *Sound System* (Studi Kasus Gereja St. Pius X Karanganyar) 75
4. Perencanaan Sound System (Studi Kasus Aula St. Pius X Karanganyar) 80

Tutorial
Penggunaan Software Simulasi 87

1. Simulasi Perbaikan Akustik Ruang dengan I-SIMPA 87
   a. Persiapan Modeling pada SketchUp dan I-SIMPA. 87
   b. Pengaturan Model pada I-SIMPA 89
   c. Pengaturan Penerima Bunyi pada I-SIMPA 90
   d. Pengaturan Sumber Bunyi pada I-SIMPA 92

e. Meletakkan Plane dan Menerapkan Jenis Material 94
f. Menjalankan Simulasi 100
g. Membaca Hasil 100
2. Simulasi Kebisingan dengan I-SIMPA 105
a. Persiapan Modeling *pada SketchUp* dan I-SIMPA . 105
b. Pengaturan Model pada I-SIMPA 108
c. Pengaturan Sumber Bunyi pada I-SIMPA 109
d. Pengaturan Penerima Bunyi pada I-SIMPA 112
e. Menjalankan Simulasi 114
f. Membaca Hasil 120
3. Simulasi Loudspeaker dengan EASE Focus 122
a. Persiapan..... 122
b. Menambahkan Titik Speaker 123
c. Menambahkan Loudspeaker..... 123
d. Menjalankan Simulasi 125
e. Membaca Hasil Simulasi 126

Daftar Pustaka 129
Lampiran..... 131

Daftar Gambar

Gambar 1. Rekomendasi waktu dengung berdasarkan fungsi (untuk frekuensi 500 Hz dan 1000 Hz) 7

Gambar 2. Penentuan rekomendasi waktu dengung (RT60 frekuensi 500 Hz) berdasarkan volume ruang dan fungsi aksutik ruang 8

Gambar 3. Tingkatan kualitas suara pidato berdasarkan rentang nilai STI/RaSTI 9

Gambar 4. Penggunaan konsep ray-tracing pada analisis akustik ruang..... 12

Gambar 5. Konsep pemantul bunyi 14

Gambar 6. Penggunaan elemen pemantul suara (bentuk cembung, putih, pada langit-langit ruang) pada ruangan pentas Royal Albert Hall – London..... 14

Gambar 7. Penerapan material pemantul pada area langit-langit panggung 15

Gambar 8. Contoh interior dan layout concert hall;
a. Shoebox shape (Boston Symphony Hall),
b. Fan-shape (Munich Philharmonie Hall),
c. Vineyard shape (Berlin Philharmonie Hall)..... 16

Gambar 9. Penyerap membran, lebih umum dikenal dengan nama Basstrap 19

Gambar 10. Penyerap berpori (coklat-abu), dan penyerap panel berpori (coklat)..... 20

Gambar 11. Penerapan 3 jenis material penyerap pada desain ruang dalam Gereja Sta. Theresia, Sedayu – Yogyakarta 20

Gambar 12. Penerapan bentuk permukaan ruang yang diffuse pada bidang plafon masjid Nabawi – Madinah..... 21

Gambar 13. Penerapan bentuk permukaan ruang yang diffuse pada dinding dan plafon, De Doelen concert halls – Rotterdam..... 21

Gambar 14. Penerapan material serap, diffuse dan pantul pada Auditorium..... 23

Gambar 15. Potongan (atas) dan interior (bawah) ruang Auditorium Perwacy – Yogyakarta, dengan penerapan material pantul, penyerap, dan difuser 24

Gambar 16. Penerapan bentuk diffuse dan 3 jenis material penyerap serta material diffuse pada bangunan Gereja Sta. Theresia, Salam – Jawa Tengah..... 25

Gambar 17. Penerapan bentuk diffuse dan 3 jenis material penyerap serta material diffuse pada bangunan Gereja St. Yohanes Rasul, Pringwulung – Yogyakarta..... 26

Gambar 18. Potongan dari 3D modeling Gereja Santo Yusup Bintaran 46

Gambar 19. Site Plan Skematik Gereja Santo Yusup Bintaran.. 46

Gambar 20. Titik pengukuran kebisingan..... 47

Gambar 21. Hasil studi simulasi kondisi eksisting 48

Gambar 22. Penambahan barrier 49

Gambar 23. Hasil studi simulasi kondisi penambahan barrier 49

Gambar 24. Hasil studi simulasi kondisi penambahan barrier portable..... 50

Gambar 25. Hasil studi simulasi kondisi penambahan elemen pada ventilasi..... 51

Gambar 26. Hasil studi simulasi kondisi penambahan material akustik ruang dalam 51
Gambar 27. Hasil studi simulasi kondisi penambahan elemen pada dinding selasar 52
Gambar 28. Hasil studi simulasi kondisi penggabungan semua teknik penanganan kebisingan 52
Gambar 29. Peletakan ***sound system*** eksisting 57
Gambar 30. Titik pengukuran RT60 58
Gambar 31. Hasil simulasi eksisting berdasarkan parameter ... 59
Gambar 32. Titik peletakan sound system 61
Gambar 33. Hasil simulasi penataan ***sound system 62***
Gambar 34. Rekomendasi material akustik..... 64
Gambar 35. Hasil simulasi material akustik dengan ***sound system*** eksisting..... 65
Gambar 36. Hasil simulasi rekomendasi ***sound speaker*** dan rekomdasi material akustik..... 66
Gambar 37. Perbandingan simulasi berdasarkan parameter RT60..... 68
Gambar 38. Perbandingan simulasi ***Sound Pressure Level*** (SPL) 70
Gambar 39. Perbandingan simulasi ***Clarity 80*** (C80) 72
Gambar 40. Perbandingan ***Definition 50*** (D50) 74
Gambar 41. Denah lantai 1 (kiri) dan balkon (kanan) gereja St. Pius X Karanganyar 76
Gambar 42. Peletakan *loudspeaker* dan hasil sebaran bunyi opsi 1, pada lantai 1 gereja St. Pius X Karanganyar 77
Gambar 43. Peletakan ***loudspeaker*** dan hasil sebaran bunyi opsi 1, pada lantai balkon gereja St. Pius X Karanganyar 77
Gambar 44. Frekuensi respons opsi 1 78

Gambar 45. Peletakan ***loudspeaker*** dan hasil sebaran bunyi opsi 2, pada lantai 1 gereja St. Pius X Karanganyar 79

Gambar 46. Peletakan ***loudspeaker*** dan hasil sebaran bunyi opsi 2, pada lantai balkon gereja St. Pius X Karanganyar 79

Gambar 47. Frekuensi respons opsi 2 80

Gambar 48. Denah lantai 2 Aula Paroki St. Pius X Karanganyar 81

Gambar 49. Denah lantai 3 Aula Paroki St. Pius X Karanganyar 81

Gambar 50. Potongan memanjang bangunan Aula St. Pius X Karanganyar (warna kuning = area Aula) 82

Gambar 51. Peletakan loudspeaker dan hasil sebaran bunyi eksisting pada lantai 2 Aula Paroki St. Pius X Karanganyar. 83

Gambar 52. Peletakan *loudspeaker* dan hasil sebaran bunyi eksisting pada lantai 3 Aula Paroki St. Pius X Karanganyar. 83

Gambar 53. Frekuensi respons kondisi eksisting..... 84

Gambar 54. Peletakan *loudspeaker* dan hasil sebaran bunyi perbaikan pada lantai 2 Aula Paroki St. Pius X Karanganyar. 84

Gambar 55. Peletakan *loudspeaker* dan hasil sebaran bunyi perbaikan pada lantai 3 Aula Paroki St. Pius X Karanganyar. 85

Gambar 56. Frekuensi respons kondisi perbaikan..... 85

Daftar Lampiran

Lampiran 1
Beberapa software akustik advance..... 132

Lampiran 2
Komparasi Kualitas Akustik Ruang Sebelum dan Sesudah Perbaikan (Waktu dengung – RT60). Studi kasus Gereja Pantekosta di Indonesia – El Shaddai, Magelang..... 133

Lampiran 3
Komparasi Kualitas Akustik Ruang Sebelum dan Sesudah Perbaikan (Waktu dengung – RT60) Studi kasus Gereja Kristen Indonesia – Temanggung..... 134

Lampiran 4
Tabel Koefisien Penyerapan (Vorländer, 2007) 135

Konsep Dasar Akustik Ruang

1. Pengantar Akustik Ruang

a. Pentingnya Akustik dalam Desain Ruang

Akustik merupakan salah satu aspek fundamental dalam desain ruang yang sering kali diabaikan dalam perencanaan arsitektur. Padahal, kualitas akustik yang baik dapat meningkatkan kenyamanan, fungsi, serta efektivitas suatu ruang, terutama dalam lingkungan yang mengutamakan komunikasi dan kenyamanan auditif. Ruang-ruang seperti aula, ruang konferensi, gedung konser, ruang kelas, dan tempat ibadah memiliki persyaratan akustik yang berbeda-beda, tergantung pada kebutuhan penggunaannya. Artikel ini akan membahas pentingnya akustik dalam desain ruang, dampak dari desain akustik yang buruk, serta strategi untuk mencapai performa akustik yang optimal.

Akustik ruang adalah ilmu yang mempelajari bagaimana suara berinteraksi dengan lingkungan fisik suatu ruang. Interaksi ini mencakup bagaimana suara dihasilkan, ditransmisikan, dan diterima oleh pendengar dalam suatu ruang tertentu (Kuttruff, 2016). Faktor-faktor yang mempengaruhi akustik ruang meliputi dimensi ruangan, bahan bangunan, bentuk geometri, serta elemen-elemen interior yang dapat menyerap atau memantulkan suara.

Akustik dalam arsitektur merujuk pada bagaimana suara berinteraksi dengan elemen-elemen dalam suatu ruang. Interaksi ini mencakup pemantulan, penyerapan, dan difusi suara. Tujuan utama dari desain akustik adalah untuk menciptakan lingkungan

auditori yang sesuai dengan fungsinya, baik dalam hal kejelasan suara, kontrol kebisingan, maupun keseimbangan antara suara langsung dan pantulan. Dalam ruang konser, misalnya, akustik yang baik memastikan bahwa suara musik terdengar jelas dan seimbang di seluruh auditorium. Sementara itu, dalam ruang kerja atau perkantoran, desain akustik bertujuan untuk mengurangi kebisingan dan meningkatkan fokus serta produktivitas.

Dampak Desain Akustik yang Buruk

Desain akustik yang tidak optimal dapat menyebabkan berbagai masalah yang mempengaruhi kenyamanan dan fungsi suatu ruang. Beberapa dampak negatif dari desain akustik yang buruk antara lain:

- Gangguan Komunikasi

  Dalam ruang yang dirancang tanpa mempertimbangkan aspek akustik, suara dapat menjadi sulit dipahami akibat gema yang berlebihan atau kebisingan latar yang tinggi. Hal ini sering terjadi di aula pertemuan, ruang kelas, atau restoran yang memiliki banyak permukaan keras yang memantulkan suara.

- Penurunan Produktivitas dan Konsentrasi

  Lingkungan kerja yang bising dapat mengganggu konsentrasi dan mengurangi produktivitas. Penelitian menunjukkan bahwa kebisingan yang tinggi dalam kantor terbuka *(open plan office)* dapat menyebabkan stres dan menurunkan efektivitas kerja. Oleh karena itu, strategi seperti pemasangan panel penyerap suara dan tata letak ruang yang lebih baik sangat diperlukan.

- Dampak Negatif terhadap Kesehatan

  Paparan kebisingan yang berkepanjangan dapat menyebabkan gangguan kesehatan, seperti peningkatan stres, gangguan tidur, dan bahkan gangguan pendengaran. Dalam lingkungan pendidikan, siswa yang terus-menerus

terpapar kebisingan cenderung memiliki pemahaman yang lebih rendah terhadap materi pelajaran dibandingkan dengan mereka yang belajar di lingkungan yang lebih tenang.

Akustik merupakan elemen penting dalam desain ruang yang mempengaruhi kenyamanan, komunikasi, produktivitas, dan kesehatan penggunanya. Dengan menerapkan prinsip desain akustik yang tepat, berbagai masalah seperti gangguan komunikasi, kebisingan berlebih, dan penurunan kualitas lingkungan dapat diminimalisir. Oleh karena itu, arsitek dan perencana ruang harus mempertimbangkan aspek akustik sejak tahap awal perancangan untuk menciptakan ruang yang lebih nyaman dan fungsional bagi penggunanya.

b. Prinsip Dasar Akustik Ruang

Akustik ruangan merupakan aspek penting dalam desain arsitektur yang bertujuan untuk menciptakan kenyamanan auditif dan komunikasi yang jelas. Prinsip-prinsip dasar akustik ruang mencakup berbagai konsep fisika suara, seperti propagasi gelombang suara, refleksi, absorpsi, difusi, dan isolasi suara. Dengan memahami prinsip-prinsip ini, arsitek dan insinyur dapat merancang ruang yang memiliki kualitas akustik optimal sesuai dengan fungsinya, baik itu untuk konser musik, ruang kelas, kantor, maupun rumah tinggal. Berikut adalah beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan saat mendesain ruang akustik:

1) Propagasi Gelombang Suara

Suara adalah gelombang mekanis yang merambat melintasi medium termasuk udara, air, atau bahan padat. Dalam lingkungan yang terbatas, gelombang suara mengalami beberapa proses termasuk pemantulan, pembiasan, dan difraksi. Pemahaman mengenai bagaimana suara bergerak di dalam ruang sangat penting dalam mengontrol kualitas akustik suatu lingkungan (Beranek, 2004).

2) Refleksi dan Absorpsi Suara

Ketika gelombang suara mengenai suatu permukaan, sebagian energi suara akan dipantulkan dan sebagian lagi akan diserap oleh material permukaan tersebut. Permukaan keras seperti beton dan kaca cenderung memantulkan suara, sedangkan bahan lunak seperti kain dan busa dapat menyerap energi suara. Indeks koefisien serap suara (NRC - *Noise Reduction Coefficient*) digunakan untuk mengukur sejauh mana suatu material mampu menyerap suara (Cox & d'Antonio, 2016).

3) Difusi Suara

Difusi suara adalah penyebaran suara secara merata dalam suatu ruang. Prinsip ini sangat penting dalam ruang konser atau teater, di mana suara harus terdengar secara seimbang di seluruh ruangan. Panel difusser sering digunakan untuk menghindari konsentrasi gelombang suara pada satu titik tertentu, yang dapat menyebabkan gema atau distorsi suara (Long, 2005).

4) Waktu Dengung

Waktu reverberasi (*Reverberation Time,* RT60) adalah waktu yang dibutuhkan agar intensitas suara berkurang sebesar 60dB setelah sumber suara dihentikan. Waktu reverberasi yang optimal bergantung pada fungsi ruang dan volume ruang. Ruang dengan fungsi yang sama namun memiliki volume berbeda, membutuhkan nilai RT60 yang berbeda. Semakin besar volume ruang semakin tinggi nilai waktu dengung yang disarankan.

5) Isolasi Suara

Isolasi suara bertujuan untuk mencegah masuk atau keluarnya suara dari suatu ruang ke ruang lainnya. Prinsip utama dalam isolasi suara meliputi penggunaan material dengan massa tinggi dan penerapan teknik konstruksi seperti dinding berlapis ganda atau *floating floors.* Standar pengukuran isolasi suara biasanya menggunakan indeks STC *(Sound Transmission Class)* yang

menunjukkan seberapa efektif suatu elemen bangunan dalam mengurangi transmisi suara (Everest & Pohlmann, 2015).

6) Gangguan Kebisingan dan Kontrolnya

Kebisingan adalah suara yang tidak menyenangkan yang dapat mengganggu kenyamanan dan komunikasi di dalam suatu area. Sumber kebisingan dapat berasal dari lingkungan eksternal (lalu lintas, mesin industri) maupun internal (peralatan elektronik, percakapan). Strategi untuk mengontrol kebisingan meliputi penggunaan material penyerap suara, perancangan tata letak ruang yang strategis, serta penerapan sistem isolasi suara yang efektif (Rossing, 2007). Dalam perencanaan perbaikan akustik ruang, penanganan gangguan akibat kebisingan (baik dari luar ke dalam maupun sebaliknya) harus dilakukan terlebih dahulu, baru kemudian dilakukan perbaikan terhadap kualitas bunyi dalam ruang.

Prinsip dasar akustik ruang mencakup berbagai aspek seperti propagasi gelombang suara, refleksi, absorpsi, difusi, waktu reverberasi, isolasi suara, serta kontrol kebisingan. Dengan memahami dan menerapkan prinsip-prinsip ini, desainer dan arsitek dapat menciptakan lingkungan yang lebih nyaman dan fungsional bagi penggunanya. Penerapan akustik yang baik dalam desain ruang tidak hanya meningkatkan kualitas auditori, tetapi juga berdampak positif terhadap kenyamanan, komunikasi, dan produktivitas penggunanya.

c. Parameter Utama dalam Kualitas Akustik

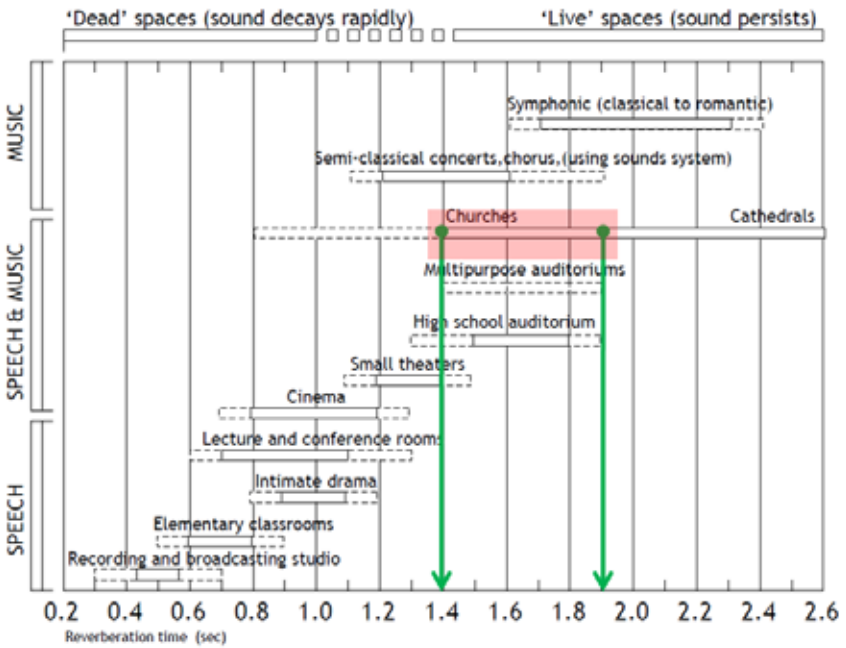
Kualitas akustik merupakan aspek penting dalam perancangan ruang yang berfungsi sebagai tempat interaksi suara, seperti aula konser, ruang kelas, auditorium, dan ruang perkantoran. Kualitas akustik yang baik dapat meningkatkan kenyamanan pengguna, kejelasan komunikasi, serta mendukung fungsi utama ruang tersebut. Parameter utama dalam kualitas akustik meliputi waktu

dengung *(reverberation time)*, kejelasan suara *(clarity index)*, tingkat kebisingan latar *(background noise level)*, rasio suara langsung terhadap suara pantulan *(direct-to-reverberant ratio)*, dan kejelasan bicara *(speech intelligibility)*. Bagian ini akan membahas parameter-parameter tersebut serta bagaimana pengaruhnya terhadap kualitas akustik suatu ruang.

1) Waktu Dengung (Reverberation Time)

Waktu dengung adalah parameter pertama dan utama dalam kualitas akustik ruang. Nilai ini dapat menunjukkan kualitas akustik ruang secara umum. Waktu dengung (RT60) adalah waktu yang dibutuhkan bagi tingkat tekanan suara dalam suatu ruang untuk menurun sebesar 60 dB setelah sumber suara dihentikan. Parameter ini sangat berpengaruh dalam menentukan karakteristik akustik suatu ruang.

Menurut Kuttruff (2016), waktu dengung yang ideal bergantung pada fungsi ruang. Misalnya, ruang konser memerlukan waktu dengung yang lebih panjang (sekitar 1,5–2,5 detik) untuk menciptakan kesan suara yang hangat dan merata, sementara ruang kelas atau ruang konferensi memerlukan waktu dengung yang lebih pendek (<0,8 detik) agar kejelasan suara tetap optimal.



Gambar 1. Rekomendasi waktu dengung berdasarkan fungsi (untuk frekuensi 500 Hz dan 1000 Hz)

Sumber: Thorburn, 2008

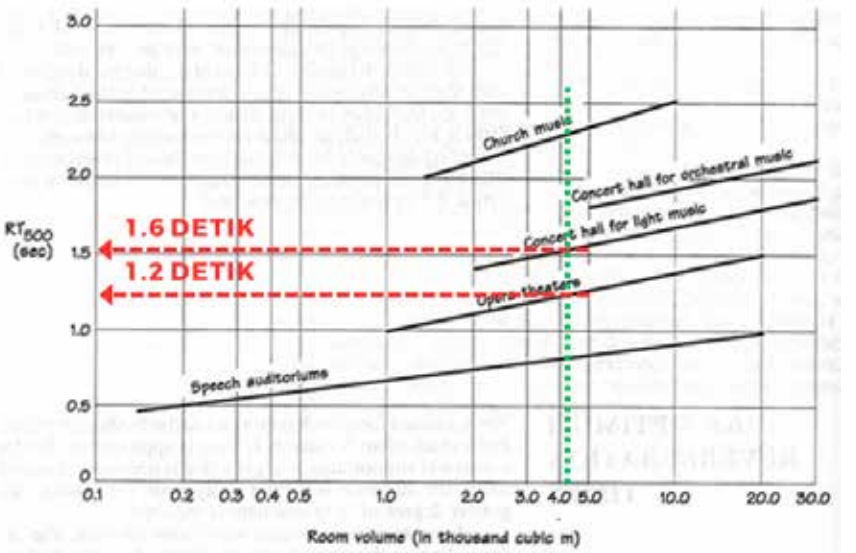
Persamaan klasik untuk menghitung waktu dengung adalah rumus Sabine:

$$RT = \frac{0.161V}{A}$$

dengan:

(V) volume ruangan (m^3)

(A) luas total permukaan penyerap suara dalam sabin



Gambar 2. Penentuan rekomendasi waktu dengung (RT60 frekuensi 500 Hz) berdasarkan volume ruang dan fungsi aksutik ruang

Sumber: Penulis, 2022, (Grafik: Mehta, 1999)

2) Kejelasan Suara (Clarity Index)

Kejelasan suara mengacu pada seberapa jelas suatu sumber suara dapat didengar oleh pendengar di dalam ruangan. Indeks kejelasan suara C50 dan C80 digunakan untuk mengevaluasi perbandingan antara energi suara awal (dalam 50 ms atau 80 ms pertama) dengan energi suara total dalam suatu ruangan (Barron, 2009). Indeks C50 digunakan untuk menilai kejelasan wicara dalam ruang seperti ruang kelas dan auditorium. Nilai C50 yang lebih tinggi menunjukkan kejelasan wicara yang lebih baik. Standar optimal untuk ruang kelas adalah C50 ≥ +3 dB agar kata-kata dapat dipahami dengan baik. Indeks C80 lebih relevan untuk ruang konser dan pertunjukan musik. Nilai C80 yang lebih tinggi memberikan suara yang lebih jelas dan tajam, sedangkan nilai yang lebih rendah memberikan efek suara yang lebih hangat dan menyatu. Untuk ruang konser, C80 yang ideal berkisar antara -1 dB hingga +4 dB.

Kejelasan suara sangat penting dalam ruang kelas, auditorium, dan gereja, di mana pemahaman terhadap wicara atau musik harus tinggi. Untuk meningkatkan kejelasan suara, desain ruang harus mempertimbangkan pemantulan suara yang seimbang serta mengurangi gangguan gema yang berlebihan.

Quality score	*RASTI*
Bad	< 0.32
Poor	0.32–0.45
Fair	0.45–0.60
Good	0.60–0.75
Excellent	> 0.75

Gambar 3. Tingkatan kualitas suara pidato berdasarkan rentang nilai STI/RaSTI
Sumber: ***Kutruff, 2016***

3) Tingkat Kebisingan Latar (Background Noise Level)

Tingkat kebisingan latar adalah tingkat suara yang ada di dalam suatu ruang tanpa adanya sumber suara utama. Standar internasional seperti ANSI dan ISO merekomendasikan ambang batas kebisingan latar dalam ruang berdasarkan fungsinya. Misalnya, untuk ruang kelas, tingkat kebisingan latar ideal adalah sekitar 35 dBA (Bradley, 2003). Kebisingan latar yang tinggi dapat mengganggu komunikasi dan mengurangi kenyamanan akustik. Sumber kebisingan latar dapat berasal dari sistem HVAC, kebisingan luar ruangan, atau peralatan elektronik. Solusi pengendalian meliputi isolasi suara dengan dinding berlapis, pemasangan jendela kedap suara, serta penggunaan material penyerap suara.

4) Rasio Suara Langsung terhadap Suara Pantulan (Direct-to-Reverberant Ratio)

Rasio suara langsung terhadap suara pantulan menunjukkan seberapa besar kontribusi suara langsung dari sumber dibandingkan dengan suara yang telah dipantulkan oleh permukaan ruangan. Menurut Beranek (2004), rasio yang optimal memastikan suara

dapat terdengar dengan jelas tanpa gangguan gema yang berlebihan. Dalam desain auditorium atau ruang konser, rasio ini harus diperhitungkan dengan cermat untuk menghindari distorsi suara. Panel reflektif strategis dapat digunakan untuk mengarahkan suara ke area pendengar tanpa menyebabkan pemantulan yang mengganggu.

5) Kejelasan Bicara (Speech Intelligibility)

Kejelasan bicara adalah parameter yang menggambarkan sejauh mana kata-kata yang diucapkan dapat dipahami dengan jelas oleh pendengar. Parameter ini sering diukur menggunakan *Speech Transmission Index* (STI) atau *Articulation Index* (AI). Penelitian oleh Houtgast dan Steeneken (1985) menunjukkan bahwa STI yang tinggi berkorelasi dengan pemahaman wicara yang lebih baik. Ruang dengan waktu dengung yang pendek, kebisingan latar yang rendah, serta distribusi suara yang merata cenderung memiliki STI yang lebih tinggi.

6) Lateral Fraction (LF)

Lateral Fraction (LF) adalah parameter yang mengukur proporsi energi suara pantulan awal yang berasal dari arah lateral (samping) terhadap total energi suara pantulan yang diterima di suatu titik pendengaran. Parameter ini penting dalam menciptakan kesan kedalaman dan imersi suara dalam ruang konser, karena manusia lebih sensitif terhadap suara yang datang dari samping dibandingkan dengan suara yang datang dari depan atau belakang (Barron, 2009).

Nilai LF yang tinggi menunjukkan bahwa sebagian besar energi suara yang diterima oleh pendengar berasal dari samping, yang berkontribusi pada kesan luas (*spaciousness*) dan kedalaman suara. Idealnya, nilai LF untuk ruang konser berkisar antara 0,15 hingga 0,35, tergantung pada ukuran dan bentuk ruang (Beranek, 2004).

7) Center Time (Ts)

Center Time (Ts) adalah parameter akustik yang mengukur titik waktu di mana setengah dari energi total suara yang diterima telah terkumpul. Parameter ini digunakan untuk menggambarkan keseimbangan antara energi suara awal dan energi suara pantulan dalam ruang. Nilai Ts yang rendah menunjukkan bahwa sebagian besar energi suara tiba lebih awal, yang biasanya dikaitkan dengan kejernihan suara yang tinggi. Sebaliknya, nilai Ts yang tinggi menunjukkan bahwa energi suara lebih tersebar dalam waktu, yang dapat meningkatkan kesan kehangatan tetapi dapat mengurangi kejelasan bicara (Kuttruff, 2016).

Parameter utama dalam kualitas akustik ruang mencakup waktu dengung, kejelasan suara, tingkat kebisingan latar, rasio suara langsung terhadap suara pantulan, dan kejelasan bicara Standar C50 dan C80 memainkan peran penting dalam menentukan kualitas kejelasan wicara dan musik dalam berbagai jenis ruang. Dengan memahami dan mengontrol parameter-parameter ini, desain akustik yang optimal dapat dicapai, sehingga mendukung fungsi ruang secara maksimal.

2. Metode Perbaikan Akustik Ruang

a. Pendekatan Geometri Ruang dalam Desain Akustik Ruang

Desain akustik ruang merupakan bidang *multidisiplin* yang menggabungkan prinsip-prinsip fisika, arsitektur, dan teknik untuk menciptakan lingkungan akustik yang optimal. Salah satu aspek fundamental dalam desain akustik adalah geometri ruang, yang secara signifikan mempengaruhi cara gelombang suara berpropagasi, dipantulkan, dan diserap dalam suatu ruangan. Pemahaman terhadap pendekatan geometri ruang sangat penting dalam perancangan auditorium, teater, studio rekaman, dan ruang-ruang lainnya yang membutuhkan kualitas akustik tinggi.

Pengaruh Geometri Ruang terhadap Propagasi Suara

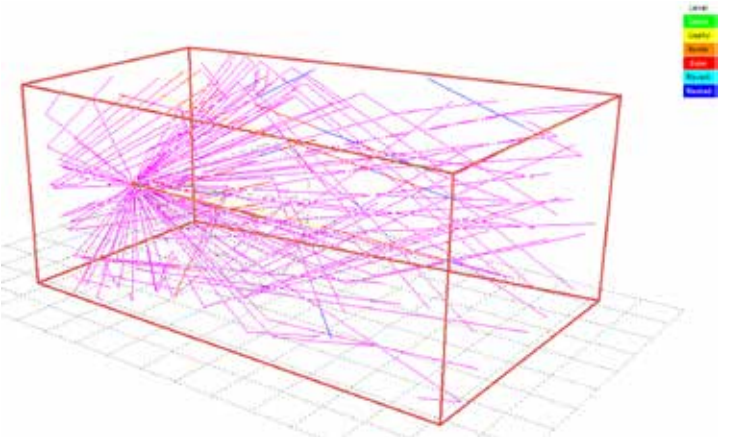
Geometri ruang menentukan bagaimana suara menyebar dan berinteraksi dengan permukaan ruangan. Beberapa faktor utama yang berkontribusi dalam hal ini meliputi:

1) Dimensi dan Bentuk Ruang

Dimensi ruang memainkan peran penting dalam pembentukan resonansi dan distribusi gelombang suara. Ruang dengan dimensi yang tidak proporsional dapat menyebabkan distorsi akustik seperti *flutter echo* dan *standing wave* (Everest & Pohlmann, 2015). Bentuk ruang juga berpengaruh terhadap difraksi dan pemantulan suara. Ruang berbentuk kubus, misalnya, cenderung menghasilkan resonansi yang lebih kuat karena kesamaan panjang gelombang suara dengan panjang dinding.

2) Konsep Ray Tracing dalam Geometri Akustik

Pendekatan berbasis geometri sering menggunakan teknik *ray tracing* untuk memodelkan pergerakan gelombang suara dalam ruang. Dalam metode ini, suara dianggap sebagai kumpulan sinar yang merambat dalam lintasan lurus hingga bertemu dengan suatu permukaan, di mana mereka dapat dipantulkan atau diteruskan (Kuttruff, 2016). Metode ini sangat efektif dalam menganalisis distribusi energi suara di dalam ruangan.



Gambar 4. Penggunaan konsep ray-tracing pada analisis akustik ruang
Sumber: Penulis, 2025

Prinsip-Prinsip Geometri dalam Desain Akustik

Beberapa prinsip desain berbasis geometri yang umum diterapkan dalam perancangan akustik ruang meliputi:

1) Refleksi dan Difusi Suara

Refleksi suara terjadi ketika gelombang suara bertemu dengan suatu permukaan dan dipantulkan kembali ke dalam ruangan. Untuk menghindari refleksi yang tidak diinginkan, desain akustik sering menggunakan bentuk ruang yang kompleks, seperti permukaan lengkung atau miring, guna menyebarkan energi suara secara merata (Cox & d'Antonio, 2016).

2) Pengendalian Waktu Dengung (Reverberation Time)

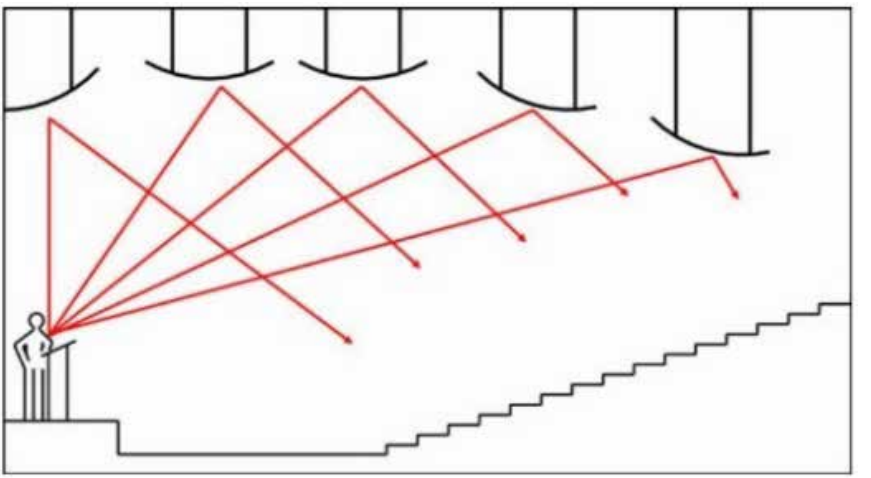
Waktu dengung merupakan parameter penting dalam desain akustik yang ditentukan oleh volume ruang dan distribusi permukaan reflektif. Geometri ruang dapat dimanfaatkan untuk mengontrol distribusi energi suara sehingga waktu dengung berada dalam kisaran yang optimal untuk tujuan tertentu, misalnya sekitar 1,5–2,0 detik untuk ruang konser dan kurang dari 0,5 detik untuk studio rekaman (Beranek, 2004).

3) Penempatan dan Orientasi Pemantul Suara

Dalam ruang besar seperti auditorium dan gedung konser, reflektor suara digunakan untuk mendistribusikan suara secara merata ke seluruh bagian ruangan. Permukaan reflektif dengan bentuk cekung dapat memperkuat energi suara ke area pendengar tertentu, sementara permukaan berbentuk cembung digunakan untuk menghindari fokus suara yang tidak merata (Long, 2005).

4) Hindari mendesain permukaan datar yang luas

Hindari menggunakan desain bidang yang datar dan luas tanpa perlakuan material akustik. Bidang yang datar dan luas tanpa perlakuan material akustik akan menjadi pemantul bunyi yang sempurna dan meningkatkan gaung dalam ruang.



Gambar 5. Konsep pemantul bunyi
Sumber: ***https://www.konsultasi-akustik.com***

Gambar 6. Penggunaan elemen pemantul suara (bentuk cembung, putih, pada langit-langit ruang) pada ruangan pentas Royal Albert Hall – London
Sumber: ***https://britishthoughts.uk***

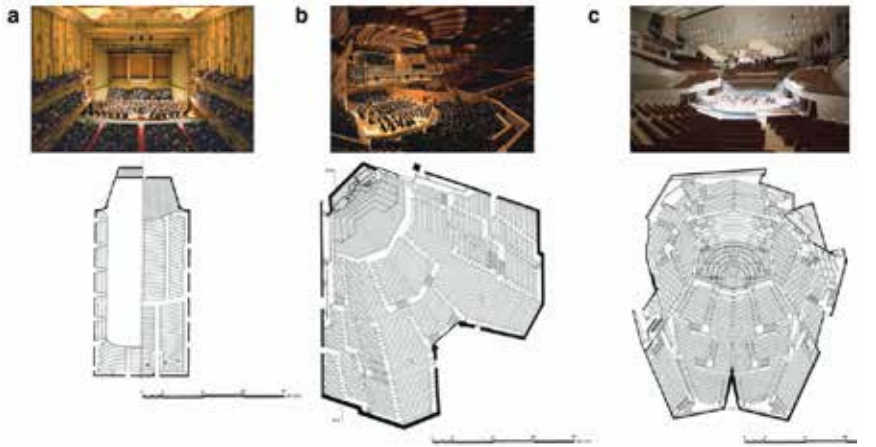
Gambar 7. Penerapan material pemantul pada area langit-langit panggung
Sumber: ***https://happho.com***

Aplikasi Pendekatan Geometri dalam Desain Ruang Akustik

Beberapa contoh penerapan pendekatan geometri dalam desain akustik ruang meliputi:

1) Auditorium dan Gedung Konser

Pada auditorium dan gedung konser, geometri ruang harus dirancang untuk menghasilkan distribusi suara yang merata. Bentuk ruang seperti *shoebox* (menggunakan proporsi kotak sepatu), *vineyard,* dan *fan-shaped* memiliki karakteristik akustik yang berbeda. Auditorium dengan bentuk *shoebox* sering digunakan dalam desain ruang konser karena refleksi lateral yang baik, yang meningkatkan kejelasan suara (Barron, 2009).



Gambar 8. Contoh interior dan layout concert hall; a. Shoebox shape (Boston Symphony Hall), b. Fan-shape (Munich Philharmonie Hall), c. Vineyard shape (Berlin Philharmonie Hall)

Sumber: Hidaka & Nishihara, 2015

2) Studio Rekaman

Dalam desain studio rekaman, penggunaan bentuk non-paralel pada dinding dan langit-langit membantu mengurangi resonansi yang tidak diinginkan. Bentuk ruang yang kompleks juga digunakan untuk mencegah terjadinya akumulasi energi suara di titik-titik tertentu (Hidaka & Beranek, 2000).

3) Ruang Perkantoran dan Kelas

Pada ruang perkantoran terbuka dan ruang kelas, pendekatan geometri ruang digunakan untuk mengurangi kebisingan latar dan meningkatkan kejelasan ucapan. Langit-langit dengan bentuk berundak atau berkontur dapat membantu mengoptimalkan penyebaran suara dan mengurangi pantulan yang berlebihan (Bradley, 2003).

4) Bangunan peribadatan

Bangunan peribadatan memiliki tantangan unik dalam desain akustiknya karena bentuk geometrinya yang sering kali tinggi dan panjang dengan langit-langit berkubah atau berkonstruksi besar.

Geometri ini dapat menyebabkan waktu dengung yang panjang, yang berkontribusi pada suasana khusyuk dalam ibadah tetapi dapat mengurangi kejelasan ucapan. Untuk mengatasi hal ini, bentuk lengkungan dan struktur ruang digunakan untuk mendistribusikan suara secara merata ke seluruh jemaat (Beranek, 2004).

Tantangan dalam Pendekatan Geometri Akustik

Meskipun pendekatan berbasis geometri menawarkan berbagai keunggulan, terdapat beberapa tantangan dalam implementasinya, seperti:

- Kompleksitas Perhitungan

  Simulasi berbasis geometri membutuhkan perangkat lunak dan sumber daya komputasi yang cukup besar untuk mendapatkan hasil yang akurat.

- Variabilitas Bentuk Ruang

  Desain ruang yang kompleks dapat menghasilkan distribusi suara yang sulit diprediksi tanpa bantuan simulasi digital.

- Integrasi dengan Faktor Desain Lainnya

  Desain akustik sering kali harus dikombinasikan dengan aspek estetika dan fungsionalitas ruang, yang dapat membatasi fleksibilitas dalam pengaturan geometri.

Pendekatan geometri ruang dalam desain akustik merupakan aspek fundamental yang berkontribusi terhadap kualitas akustik ruang. Dengan memahami interaksi antara bentuk ruang, refleksi suara, difusi, dan waktu dengung, desainer dapat menciptakan lingkungan akustik yang optimal sesuai dengan kebutuhan spesifik ruang tersebut. Meskipun terdapat beberapa tantangan dalam penerapannya, kemajuan dalam teknologi simulasi dan perangkat lunak akustik terus meningkatkan efektivitas pendekatan ini.

b. Pendekatan Material dalam Desain Akustik Ruang

Desain akustik ruang merupakan elemen krusial dalam menciptakan kenyamanan auditori, baik dalam lingkungan kerja, pendidikan, hiburan, maupun peribadatan. Pemilihan material menjadi salah satu faktor utama dalam perancangan akustik ruang, mengingat material memiliki karakteristik yang berbeda dalam menyerap, memantulkan, atau memecah energi suara. Oleh karena itu, pemahaman terhadap pendekatan material dalam desain akustik sangat penting untuk mencapai hasil yang optimal sesuai dengan fungsi ruang tersebut.

Karakteristik Material dalam Akustik Ruang

Material dalam desain akustik dikategorikan berdasarkan sifatnya dalam berinteraksi dengan gelombang suara, yakni material penyerap suara *(sound absorbers)*, pemantul suara *(sound reflectors)*, dan penyebar suara *(diffusers)*.

1) Material Penyerap Suara

Material penyerap suara digunakan untuk mengurangi energi suara dalam ruang. Material ini biasanya memiliki struktur berpori yang memungkinkan gelombang suara masuk dan diubah menjadi energi panas. Material penyerap suara dibagi menjadi tiga kategori:

- Penyerap Berpori

  Penyerap berpori bekerja dengan cara menyerap energi suara ke dalam material berstruktur mikro atau makro pori. Material ini efektif dalam menyerap frekuensi menengah hingga tinggi. Contoh material penyerap berpori meliputi busa akustik, wol mineral, karpet, dan tekstil akustik (Cox & d'Antonio, 2016). Efektivitas material ini bergantung pada ketebalan dan densitas material serta frekuensi suara yang datang.

- Penyerap Membran

  Penyerap membran bekerja dengan prinsip resonansi, di mana permukaan fleksibel seperti panel kayu tipis atau vinil bergetar akibat gelombang suara dan menyerap energi pada frekuensi rendah. Material ini sering digunakan dalam ruangan yang membutuhkan kontrol bass, seperti studio rekaman dan ruang konser (Kuttruff, 2016). Penyerap membran memiliki efisiensi lebih tinggi pada frekuensi rendah dibandingkan penyerap berpori.

- Penyerap Panel Berlubang

  Penyerap ini terdiri dari panel berlubang atau bertekstur dengan rongga udara di belakangnya, yang menciptakan efek resonansi Helmholtz untuk menyerap suara dalam rentang frekuensi tertentu. Contoh umum dari penyerap ini adalah panel kayu berlubang dan plafon akustik berlubang yang digunakan dalam auditorium dan perkantoran untuk mengurangi gema tanpa menghilangkan terlalu banyak energi suara (Beranek, 2004).

Gambar 9. Penyerap membran, lebih umum dikenal dengan nama Basstrap

Sumber: Penulis, 2022

Gambar 10. Penyerap berpori (coklat-abu), dan penyerap panel berpori (coklat)
Sumber: Penulis, 2022

Gambar 11. Penerapan 3 jenis material penyerap pada desain ruang dalam Gereja Sta. Theresia, Sedayu – Yogyakarta
Sumber: Penulis, 2022

2) Material Pemantul Suara

Material pemantul suara digunakan untuk mengarahkan dan memperkuat distribusi suara dalam ruang. Biasanya, material ini memiliki permukaan keras dan halus seperti kaca, beton, atau kayu solid yang dapat memantulkan gelombang suara dengan efisien (Beranek, 2004)

3) Material Penyebar Suara

Material penyebar suara berfungsi untuk menghindari pemusatan energi suara pada titik tertentu dengan cara memecahkan energi suara dan mendistribusikannya secara merata. Material ini sering digunakan dalam auditorium dan studio rekaman untuk meningkatkan kualitas suara secara keseluruhan (Kuttruff, 2016). Pada prinsipnya semakin kasar permukaan bidang maka semakin diffuse bidang atau material tersebut.

Gambar 12. Penerapan bentuk permukaan ruang yang diffuse pada bidang plafon masjid Nabawi – Madinah

Sumber: ***www.dreamstime.com***

Gambar 13. Penerapan bentuk permukaan ruang yang diffuse pada dinding dan plafon, De Doelen concert halls – Rotterdam

Sumber: ***www.rogiervanderheide.com***

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Performa Material Akustik

Dalam penerapan material akustik, beberapa faktor utama yang menentukan performanya meliputi:

- Koefisien Serap bunyi (α)

  Nilai antara 0 sampai 1 (atau 0 sampai 100) yang menunjukkan persentase energi bunyi yang diserap oleh material tertentu. Semakin besar nilai koefisien menunjukkan semakin tinggi kemampuan material tersebut untuk menyerap energi bunyi. Sebuah material baru dianggap sebagai material penyerap bunyi jika memiliki koefisien serap bunyi di atas 0.4 (atau 40).

- Koefisien Difusi

  Menunjukkan seberapa baik material dapat memecahkan dan menyebarkan energi bunyi ke segala arah, ini penting untuk menghindari gema yang tidak diinginkan. Semakin besar nilai koefisien menunjukkan semakin tinggi kemampuan material tersebut untuk memecah energi bunyi.

- *Noise Reduction Coefficient* (NRC)

  Rata-rata koefisien serap bunyi pada frekuensi 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, dan 2000 Hz, digunakan untuk menilai efektivitas penyerap bunyi.

- *Sound Transmission Class* (STC)

  Skala numerik yang mengukur kemampuan material dalam menghalangi transmisi bunyi antar-ruang.

- *Transmission Loss* (TL)

  Ukuran kehilangan energi bunyi saat melewati suatu material atau struktur, yang berhubungan dengan kemampuan isolasi suara suatu material.

Pemilihan material akustik yang tepat dengan mempertimbangkan faktor-faktor ini dapat meningkatkan kualitas akustik ruang secara signifikan.

Aplikasi Material dalam Berbagai Jenis Ruang

Berbagai jenis ruang memerlukan strategi penggunaan material yang berbeda tergantung pada kebutuhan akustiknya.

1) Auditorium dan Gedung Konser

Pada auditorium dan gedung konser, kombinasi material penyerap dan pemantul suara sangat penting untuk menciptakan kejelasan suara yang optimal. Dinding samping sering kali menggunakan bahan reflektif seperti kayu atau panel akrilik untuk mendukung refleksi lateral, sementara langit-langit dan bagian belakang ruangan menggunakan material penyerap untuk mengontrol gema (Barron, 2009).

Gambar 14. Penerapan material serap, diffuse dan pantul pada Auditorium
Sumber: Interdesign Group, 2020

Gambar 15. Potongan (atas) dan interior (bawah) ruang Auditorium Perwacy – Yogyakarta, dengan penerapan material pantul, penyerap, dan difuser.
Sumber: Penulis, 2015 (atas), Limbong, 2021 (bawah)

2) Studio Rekaman

Studio rekaman memerlukan peredaman suara yang tinggi untuk mencegah kebocoran suara dan kontrol akustik yang ketat untuk menghasilkan rekaman berkualitas. Oleh karena itu, dinding dan langit-langit sering kali dilapisi dengan panel akustik berbahan busa atau serat mineral untuk menyerap suara dengan efektif (Hidaka & Beranek, 2000).

3) Ruang Kelas dan Perkantoran

Dalam ruang kelas dan kantor, penggunaan material akustik bertujuan untuk meningkatkan kenyamanan komunikasi dan mengurangi gangguan suara dari lingkungan sekitar. Panel akustik berbasis kain atau gypsum berpori sering digunakan pada dinding dan langit-langit untuk menyerap kebisingan dan meningkatkan kejelasan ucapan (Bradley, 2003).

4) Bangunan Peribadatan

Bangunan peribadatan seperti gereja, masjid, dan kuil memiliki kebutuhan akustik yang unik karena harus mempertahankan keseimbangan antara kejelasan ucapan dan kualitas refleksi suara untuk menciptakan suasana yang khusyuk. Dalam desain akustik gereja, misalnya, dinding dan langit-langit sering kali menggunakan material pemantul suara seperti batu alam atau kayu keras untuk mendukung resonansi alami ruang. Sementara itu, di dalam masjid, pengurangan waktu dengung dapat dilakukan dengan menambahkan karpet tebal dan panel penyerap suara di area tertentu untuk meningkatkan kejelasan ceramah (Beranek, 2004).

Gambar 16. Penerapan bentuk diffuse dan 3 jenis material penyerap serta material diffuse pada bangunan Gereja Sta. Theresia, Salam – Jawa Tengah

Sumber: Penulis, 2020

Gambar 17. Penerapan bentuk diffuse dan 3 jenis material penyerap serta material diffuse pada bangunan Gereja St. Yohanes Rasul, Pringwulung – Yogyakarta

Sumber: Amisani, 2021

Pendekatan material dalam desain akustik ruang merupakan aspek penting yang menentukan kenyamanan dan kualitas suara dalam berbagai lingkungan. Dengan memahami karakteristik masing-masing material dan mengimplementasikannya secara strategis sesuai dengan kebutuhan ruang, dapat diperoleh hasil akustik yang optimal. Meskipun terdapat tantangan dalam pemilihan dan penerapan material, kemajuan teknologi material akustik terus memungkinkan inovasi dalam desain ruang yang lebih baik.

Pemanfaatan Simulasi Dalam Optimasi Akustik

1. Pengenalan Simulasi Akustik Ruang

a. Apa Itu Simulasi Akustik

Simulasi akustik adalah metode berbasis komputasi yang digunakan untuk menganalisis, memprediksi, dan mengoptimalkan performa akustik suatu ruang atau lingkungan. Metode ini memungkinkan para insinyur, arsitek, dan peneliti untuk memodelkan berbagai aspek propagasi suara dalam suatu ruang dengan tujuan meningkatkan kualitas akustiknya sesuai dengan kebutuhan spesifik. Dengan kemajuan teknologi digital, simulasi akustik telah menjadi alat yang esensial dalam desain ruang-ruang dengan persyaratan akustik tinggi, seperti gedung konser, teater, studio rekaman, ruang kelas, dan ruang pertemuan.

Simulasi akustik adalah proses yang melibatkan model matematis dan algoritma numerik untuk merepresentasikan bagaimana gelombang suara merambat dalam suatu ruang atau lingkungan tertentu. Simulasi ini membantu dalam memvisualisasikan fenomena akustik seperti refleksi, difraksi, absorpsi, dan reverberasi yang terjadi pada permukaan dan material dalam ruangan.

Dengan menggunakan perangkat lunak berbasis fisika, simulasi akustik memungkinkan pengguna untuk mengevaluasi dan mengoptimalkan desain ruang dengan mempertimbangkan parameter-parameter penting seperti waktu dengung (*reverberation*

time), indeks kejelasan (*clarity index*), dan distribusi energi suara. Hal ini penting dalam memastikan kenyamanan akustik dan kejelasan suara dalam berbagai aplikasi.

Prinsip Dasar Simulasi Akustik

Beberapa prinsip utama yang menjadi dasar dalam simulasi akustik meliputi:

1) Propagasi Gelombang Suara

Gelombang suara merambat dalam medium udara atau material lain dengan kecepatan tertentu yang dipengaruhi oleh karakteristik medium tersebut. Proses ini melibatkan interaksi gelombang dengan permukaan yang dapat menyebabkan refleksi, difraksi, dan absorpsi.

2) Hukum Pemantulan dan Absorpsi

Saat gelombang suara mengenai suatu permukaan, sebagian energinya akan dipantulkan kembali ke dalam ruangan dan sebagian lagi diserap oleh material tersebut. Koefisien absorpsi suatu material sangat menentukan kualitas akustik dalam ruangan. Material dengan koefisien absorpsi tinggi akan mengurangi efek gema *(echo)*, sementara material reflektif akan memperpanjang waktu dengung.

3) Model Matematis

Simulasi akustik didasarkan pada model matematis seperti persamaan gelombang *(wave equation)*, metode pelacakan sinar *(ray tracing)*, dan metode elemen hingga *(finite element method)*. Model-model ini memungkinkan perhitungan yang akurat mengenai distribusi energi suara dalam suatu ruang.

Metode Simulasi Akustik

Terdapat berbagai metode yang digunakan dalam simulasi akustik, di antaranya:

1) Metode Ray Tracing

Metode ini bekerja dengan melacak lintasan sinar suara yang dipantulkan dalam suatu ruang. Pendekatan ini sering digunakan untuk mensimulasikan respons impuls ruangan dan distribusi energi suara. *Ray tracing* sangat cocok untuk ruangan besar dengan banyak permukaan reflektif, seperti auditorium dan stadion.

2) Metode Elemen Hingga (Finite Element Method - FEM)

FEM digunakan untuk mensimulasikan interaksi gelombang suara dengan geometri kompleks dalam skala kecil hingga menengah. Metode ini memecah domain simulasi menjadi elemen-elemen kecil dan menyelesaikan persamaan diferensial untuk setiap elemen. Metode ini banyak digunakan dalam desain alat musik, perangkat elektronik, dan sistem kontrol kebisingan.

3) Metode Batas Elemen (Boundary Element Method - BEM)

BEM mirip dengan FEM tetapi lebih fokus pada batas permukaan objek dibandingkan seluruh volume. Metode ini sangat efektif dalam memodelkan interaksi suara dengan struktur kompleks seperti fasad bangunan dan sistem peredam kebisingan.

4) Metode Hybrid

Pendekatan *hybrid* menggabungkan berbagai metode simulasi untuk memperoleh hasil yang lebih akurat dan efisien. Contohnya, metode *ray tracing* dapat dikombinasikan dengan metode elemen hingga untuk mendapatkan simulasi yang lebih realistis dalam berbagai kondisi akustik.

Manfaat dan Aplikasi Simulasi Akustik

Simulasi akustik memiliki berbagai manfaat dalam desain dan pengoptimalan akustik ruang, antara lain:

1) Desain Akustik Ruang

Simulasi akustik membantu arsitek dan insinyur dalam merancang ruang dengan karakteristik akustik yang optimal.

Misalnya, dalam desain aula konser, simulasi dapat digunakan untuk mengoptimalkan bentuk ruangan dan jenis material untuk memastikan kualitas suara yang merata di seluruh area pendengar.

2) Pengendalian Kebisingan

Dalam lingkungan industri dan perkotaan, simulasi akustik digunakan untuk merancang sistem peredam kebisingan, baik dalam bangunan maupun transportasi. Contohnya, desain dinding peredam suara di pinggir jalan tol dapat disimulasikan untuk memastikan efektivitasnya dalam mengurangi polusi suara.

3) Optimalisasi Performa Produk

Dalam industri manufaktur, simulasi akustik digunakan untuk merancang produk yang memiliki performa akustik optimal, seperti *speaker, headphone,* dan alat musik. Dengan simulasi, produsen dapat menguji berbagai desain tanpa harus membuat prototipe fisik secara berulang.

4) Evaluasi Lingkungan Akustik

Simulasi akustik juga digunakan dalam perencanaan kota untuk mengevaluasi dampak kebisingan dari lalu lintas, industri, dan aktivitas manusia lainnya terhadap lingkungan sekitar. Hal ini membantu perencana kota dalam menetapkan regulasi dan kebijakan terkait kebisingan.

Tantangan dan Keterbatasan Simulasi Akustik

Meskipun simulasi akustik menawarkan banyak keuntungan, ada beberapa tantangan dan keterbatasan yang perlu diperhatikan:

1) Kompleksitas Perhitungan

Simulasi akustik membutuhkan sumber daya komputasi yang besar, terutama untuk model dengan geometri kompleks dan frekuensi tinggi. Hal ini dapat memperpanjang waktu komputasi dan memerlukan perangkat keras yang mumpuni.

2) Ketepatan Model Material

Akurasi hasil simulasi sangat bergantung pada data karakteristik material yang digunakan dalam model. Variasi kecil dalam koefisien absorpsi atau refleksi suatu material dapat menghasilkan perbedaan yang signifikan dalam hasil simulasi.

3) Validasi dengan Pengukuran Nyata

Simulasi akustik perlu divalidasi dengan data pengukuran lapangan untuk memastikan kesesuaian antara prediksi dan kondisi nyata. Oleh karena itu, eksperimen dan pengujian langsung tetap diperlukan sebagai bagian dari proses desain akustik.

Simulasi akustik adalah alat yang sangat bermanfaat dalam desain dan optimasi akustik ruang. Dengan berbagai metode yang tersedia, simulasi ini memungkinkan prediksi yang akurat terhadap perilaku suara dalam berbagai lingkungan. Meskipun terdapat beberapa tantangan dalam implementasinya, kemajuan dalam teknologi komputasi terus meningkatkan efektivitas dan efisiensi simulasi akustik. Dengan demikian, simulasi akustik akan terus menjadi bagian integral dalam berbagai bidang, mulai dari arsitektur hingga industri audio dan teknik lingkungan.

b. Keunggulan dan Keterbatasan Metode Simulasi

Dalam bidang akustik bangunan, simulasi digital telah menjadi metode yang semakin diandalkan untuk menganalisis dan mengoptimalkan kualitas akustik suatu ruang. Dengan kemajuan teknologi komputasi, perangkat lunak simulasi seperti ODEON, CATT-Acoustic, dan EASE memungkinkan para profesional untuk memprediksi karakteristik akustik sebuah ruang tanpa harus melakukan pengukuran langsung di lapangan. Penggunaan simulasi dalam analisis akustik memberikan berbagai manfaat, termasuk efisiensi dalam waktu dan biaya serta kemampuan untuk mengeksplorasi berbagai skenario desain secara fleksibel. Namun, sebagaimana metode ilmiah lainnya, simulasi akustik juga

memiliki keterbatasan yang perlu diperhatikan agar hasil yang diperoleh dapat diinterpretasikan dengan tepat. Bagian ini akan menguraikan keunggulan dan keterbatasan metode simulasi akustik guna memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai penerapan teknologi ini dalam perancangan ruang.

Keunggulan Metode Simulasi Akustik

1) Efisiensi dalam Waktu dan Biaya

Salah satu keunggulan utama metode simulasi akustik adalah kemampuannya dalam menghemat waktu dan biaya. Dalam pendekatan konvensional, pengujian kualitas akustik ruang memerlukan pembangunan prototipe fisik atau pengukuran langsung di lokasi yang telah selesai dibangun. Proses ini dapat memakan waktu lama dan membutuhkan sumber daya yang signifikan. Dengan menggunakan simulasi digital, analisis akustik dapat dilakukan sebelum tahap konstruksi dimulai. Hal ini memungkinkan perancang untuk mengidentifikasi dan mengatasi potensi permasalahan akustik sejak tahap awal, sehingga mengurangi risiko kesalahan desain yang dapat berdampak pada biaya rekonstruksi atau modifikasi di kemudian hari.

2) Fleksibilitas dalam Eksplorasi Desain

Simulasi akustik memungkinkan eksplorasi berbagai skenario desain secara cepat dan efisien. Perubahan variabel seperti jenis material penyerap suara, bentuk geometri ruangan, dan posisi sumber suara dapat diuji tanpa perlu melakukan modifikasi fisik. Sebagai contoh, seorang perancang dapat mensimulasikan dampak perubahan material dinding dari beton ke panel kayu untuk mengevaluasi perbedaan karakteristik waktu dengung *(reverberation time)*. Demikian pula, variasi dalam tata letak kursi dalam auditorium dapat dianalisis untuk menentukan konfigurasi yang optimal dalam penyebaran suara.

3). Kemampuan Analisis Multidimensional

Perangkat lunak simulasi akustik tidak hanya memberikan hasil dalam bentuk numerik, tetapi juga menyediakan visualisasi yang memudahkan analisis. Beberapa fitur utama yang ditawarkan oleh perangkat lunak simulasi meliputi:

- Peta distribusi energi suara dalam bentuk grafik warna *(heatmap)*, yang menunjukkan daerah dengan intensitas suara tinggi atau rendah.
- Grafik waktu dengung (RT60) yang memberikan informasi mengenai seberapa lama suara bertahan dalam ruang.
- Animasi lintasan gelombang suara, yang menggambarkan bagaimana suara merambat dan berinteraksi dengan permukaan di dalam ruangan.

Dengan adanya fitur-fitur ini, pengguna dapat memahami pola perambatan suara secara lebih intuitif, sehingga mempermudah pengambilan keputusan dalam perancangan akustik ruang.

4) Evaluasi Berbagai Parameter Akustik secara Simultan

Metode simulasi memungkinkan analisis berbagai parameter akustik secara bersamaan, termasuk:

- Waktu dengung (RT60), yang menggambarkan seberapa lama suara bertahan di dalam ruangan.
- *Speech Transmission Index* (STI), yang mengukur kejelasan suara dalam ruang konferensi atau auditorium.
- Distribusi tekanan suara (SPL), yang menunjukkan penyebaran intensitas suara dalam ruangan.
- Indeks kejelasan suara (C50 dan C80), yang digunakan dalam evaluasi akustik ruang pertunjukan dan auditorium.

Dalam metode pengukuran konvensional, analisis terhadap parameter-parameter tersebut memerlukan serangkaian pengujian dengan peralatan khusus, sedangkan dalam simulasi, seluruh data dapat diperoleh dalam satu kali proses analisis.

5) Minim Gangguan terhadap Lingkungan Sekitar

Pengukuran akustik secara konvensional sering kali membutuhkan sumber suara berintensitas tinggi, seperti ledakan balon atau pengeras suara yang kuat, yang dapat menimbulkan gangguan bagi lingkungan sekitar. Dengan metode simulasi, proses analisis dapat dilakukan secara virtual tanpa perlu menghasilkan suara yang dapat mengganggu aktivitas lain di sekitar lokasi pengujian.

6) Kemudahan Kolaborasi dalam Proyek Arsitektur

Simulasi akustik juga memfasilitasi kolaborasi antar disiplin dalam proyek arsitektur dan teknik sipil. Hasil simulasi dapat dibagikan dengan arsitek, insinyur sipil, dan kontraktor untuk memastikan bahwa aspek akustik telah dipertimbangkan sejak awal proses perancangan. Dengan demikian, potensi masalah akustik yang dapat muncul akibat perubahan desain di tahap konstruksi dapat diminimalkan.

Keterbatasan Metode Simulasi Akustik

1) Ketergantungan pada Keakuratan Data Input

Keakuratan hasil simulasi akustik sangat bergantung pada data *input* yang dimasukkan ke dalam perangkat lunak. Faktor-faktor yang memengaruhi keandalan simulasi meliputi:

- Ketelitian model geometri ruang.
- Keakuratan data material, terutama nilai absorpsi dan hamburan suara.
- Presisi dalam menentukan posisi sumber suara dan penerima *(receiver)*. Jika terdapat ketidaktepatan dalam parameter input, hasil simulasi dapat berbeda secara signifikan dengan kondisi sebenarnya, sehingga validasi dengan pengukuran lapangan tetap diperlukan.

2) Keterbatasan dalam Memodelkan Fenomena Akustik yang Kompleks

Meskipun metode simulasi mampu memprediksi banyak aspek akustik, terdapat beberapa fenomena kompleks yang sulit direplika secara akurat, seperti:

- Difraksi suara pada struktur dengan geometri kompleks.
- Interaksi suara dengan material berpori, terutama pada frekuensi rendah.
- Efek non-linear dalam propagasi suara, yang dapat terjadi pada sistem elektroakustik yang kompleks.

Beberapa perangkat lunak akustik masih mengandalkan pendekatan berbasis *ray tracing* atau metode gelombang yang memiliki keterbatasan dalam menangkap fenomena difraksi dan propagasi suara secara rinci.

3) Tidak Mempertimbangkan Variabilitas Perilaku Manusia

Dalam simulasi akustik, kondisi ruangan sering kali dimodelkan dalam keadaan statis, tanpa mempertimbangkan keberadaan manusia yang dapat berpengaruh terhadap akustik ruangan. Faktor-faktor seperti pergerakan manusia, perubahan posisi furnitur, dan fluktuasi kelembaban udara dapat menyebabkan perbedaan antara hasil simulasi dan kondisi nyata.

4) Ketergantungan pada Perangkat Lunak dan Perangkat Keras

Simulasi akustik memerlukan perangkat lunak dan perangkat keras yang mumpuni. Beberapa perangkat lunak simulasi memiliki lisensi yang relatif mahal, sementara simulasi dengan resolusi tinggi membutuhkan komputer dengan spesifikasi tinggi untuk memproses perhitungan yang kompleks. Hal ini dapat menjadi kendala bagi individu atau institusi dengan anggaran terbatas.

5) Tidak Menggantikan Pengukuran Lapangan

Meskipun simulasi memberikan hasil yang akurat dalam banyak kasus, tetap diperlukan pengukuran langsung di lapangan untuk memvalidasi hasil prediksi. Hal ini disebabkan oleh adanya faktor lingkungan yang sulit direplika dalam simulasi, seperti kebocoran suara dari celah pintu dan jendela, perubahan temperatur, serta efek resonansi struktur bangunan.

Metode simulasi akustik merupakan alat yang sangat bermanfaat dalam analisis dan perancangan akustik ruang. Keunggulannya mencakup efisiensi waktu dan biaya, fleksibilitas dalam eksplorasi desain, serta kemampuan analisis multidimensional. Namun, untuk mendapatkan hasil yang optimal, keterbatasan metode ini harus dipahami dengan baik. Oleh karena itu, kombinasi antara simulasi digital dan pengukuran langsung di lapangan tetap menjadi pendekatan terbaik dalam mencapai kualitas akustik ruang yang optimal.

2. Software Simulasi Akustik yang Dapat Digunakan

a. I-SIMPA

I-SIMPA *(Integrated Simulation for Interior Acoustics)* adalah perangkat lunak simulasi akustik yang dirancang untuk memodelkan, menganalisis, dan mengoptimalkan akustik ruang dalam berbagai jenis bangunan. Dengan pendekatan berbasis fisika dan algoritma *ray tracing*, I-SIMPA memungkinkan pengguna untuk memprediksi perilaku suara di dalam ruangan secara akurat, termasuk distribusi tekanan suara, waktu dengung *(reverberation time)*, dan berbagai parameter akustik lainnya.

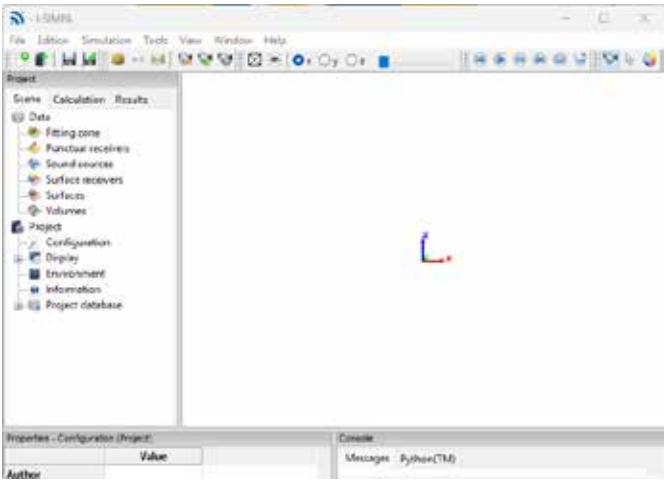
Perangkat lunak ini dirancang untuk mendukung kebutuhan praktis dan penelitian dalam bidang akustik ruangan, baik untuk aplikasi sederhana seperti ruang pertemuan kecil hingga ruang dengan kompleksitas tinggi seperti auditorium, ruang konser, dan tempat ibadah. I-SIMPA menyediakan antarmuka yang intuitif dan

alat analisis yang komprehensif, memungkinkan pengguna untuk memvisualisasikan efek dari berbagai konfigurasi desain, bahan akustik, serta posisi sumber dan penerima suara.

Keunggulan I-SIMPA terletak pada kemampuannya mengintegrasikan model geometri ruangan dengan simulasi fisik, sehingga dapat memberikan prediksi akustik yang mendekati kondisi nyata. Selain itu, perangkat lunak ini mendukung format file standar industri untuk impor dan ekspor data, sehingga mempermudah integrasi dengan perangkat lunak desain lainnya seperti CAD.

Dengan fitur-fitur canggih dan fleksibilitasnya, I-SIMPA telah menjadi alat yang penting bagi arsitek, akustisi, dan peneliti untuk mengevaluasi dan meningkatkan kualitas akustik ruang. Perangkat lunak ini tidak hanya membantu dalam tahap desain tetapi juga sebagai alat edukasi dan penelitian untuk memahami prinsip dasar akustik ruangan secara lebih mendalam.

User Interface I-SIMPA



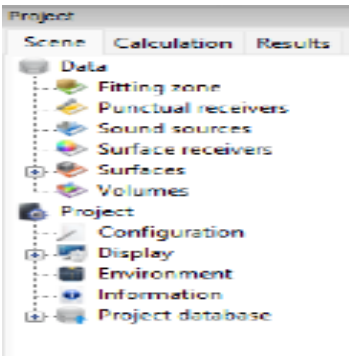
1) Menu Bar

I-SIMPA memiliki *Menu Bar* yang terdiri dari beberapa menu

utama untuk memfasilitasi berbagai fungsi dalam perangkat lunak.

- *File* : Untuk membuat, membuka, menyimpan, dan mengekspor proyek.
- *Edit* : Berisi alat untuk mengedit elemen dalam proyek.
- *View* : Untuk mengatur tampilan antarmuka, termasuk mengaktifkan atau menonaktifkan jendela tertentu.
- *Simulation* : Menjalankan simulasi akustik dan mengatur parameter.
- *Tools* : Berisi alat tambahan seperti pengukuran dan analisis data.
- *Help* : Akses ke dokumentasi dan informasi tentang perangkat lunak.

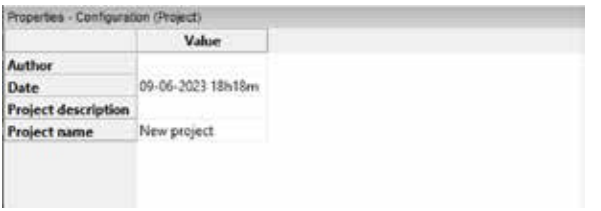
2) *Project Window*



Pada *Project Window* kita dapat mengisikan judul proyek, penulis, catatan, suhu, tekanan udara, kelembapan. Pada *Project* sebagai pusat navigasi utama untuk mengelola struktur proyek secara hierarkis, mencakup geometri ruangan, sumber suara, material akustik, dan hasil simulasi. Melalui jendela ini, pengguna dapat dengan mudah menambahkan, menghapus, atau mengedit elemen-elemen proyek untuk menyesuaikan model akustik yang dianalisis. Dengan tampilan yang terorganisir, *Project Window* membantu pengguna memahami hubungan antar komponen serta memastikan semua

elemen yang dibutuhkan dalam simulasi telah terdefinisi dengan benar.

3) *Properties Window*



Properties Window menyediakan detail spesifik dan opsi pengeditan untuk setiap elemen yang dipilih dalam Project Window, memungkinkan pengguna menyesuaikan berbagai parameter seperti karakteristik sumber suara, sifat material akustik, serta dimensi dan posisi geometri. Jendela ini memudahkan modifikasi langsung tanpa perlu membuka menu tambahan, sehingga mempercepat proses konfigurasi proyek. Dengan fitur ini, pengguna dapat mengoptimalkan properti akustik ruangan untuk mendapatkan hasil simulasi yang lebih akurat sesuai dengan kebutuhan analisis.

4) *Console Window*

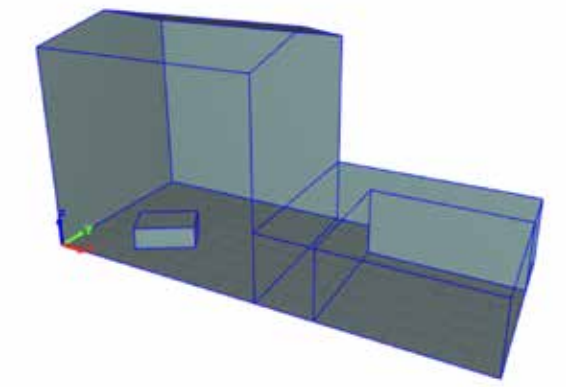
Console Window berfungsi sebagai pusat informasi mengenai proses eksekusi dalam I-SIMPA, menampilkan log simulasi, status perintah, serta pesan kesalahan atau peringatan yang muncul selama pengolahan data. Jendela ini sangat berguna untuk *debugging* karena memberikan umpan balik secara *real-time* terhadap parameter yang digunakan dalam simulasi.

Dengan informasi yang tercatat di *Console Window,* pengguna dapat mengidentifikasi dan memperbaiki kesalahan dengan lebih efisien, memastikan bahwa simulasi berjalan dengan lancar dan menghasilkan *output* yang valid.

5) Icon Bar

Toolbar ini memungkinkan pengguna mengakses fitur penting dengan cepat, seperti pengaturan proyek, manipulasi geometri, konfigurasi sumber suara, dan menjalankan simulasi.

6) Workspace



Workspace merupakan area kerja utama dalam I-SIMPA yang digunakan untuk menampilkan dan memodifikasi model 3D dari ruang yang dianalisis. Di dalamnya, pengguna dapat melakukan berbagai manipulasi visual seperti *zoom,* rotasi, dan pan untuk memeriksa geometri secara lebih mendetail. *Workspace* juga menjadi tempat utama untuk menentukan posisi sumber suara, material permukaan, serta titik penerima, yang semuanya berpengaruh terhadap hasil simulasi akustik. Dengan tampilan interaktif ini, pengguna dapat dengan mudah menyesuaikan dan mengevaluasi model guna mendapatkan analisis akustik yang lebih optimal.

b. EASE Focus

EASE Focus merupakan perangkat lunak simulasi akustik yang dikembangkan oleh AFMG (Ahnert Feistel Media Group) untuk membantu perancangan sistem *sound reinforcement*. *Software* ini menjadi salah satu *tools* paling penting dalam industri audio profesional, memungkinkan para *engineer* dan desainer sistem untuk memvisualisasikan dan mengoptimalkan konfigurasi *speaker* sebelum implementasi fisik. Dalam dunia tata suara profesional, perencanaan yang matang menjadi kunci keberhasilan sebuah sistem audio. EASE Focus hadir sebagai solusi yang memungkinkan simulasi prediktif dari berbagai aspek kinerja sistem, termasuk distribusi tekanan suara (SPL), cakupan frekuensi, dan *intelligibility.* Kemampuan simulasi ini sangat berharga untuk menghemat waktu, biaya, dan tenaga dalam proses instalasi sistem audio. *Software* ini dirancang dengan fokus pada kemudahan penggunaan namun tetap menyediakan fitur-fitur komprehensif. Pengguna dapat dengan mudah mengimpor data *loudspeaker* dari berbagai manufaktur terkemuka, merancang konfigurasi *array,* dan menganalisis prediksi performa sistem dalam ruang tiga dimensi.

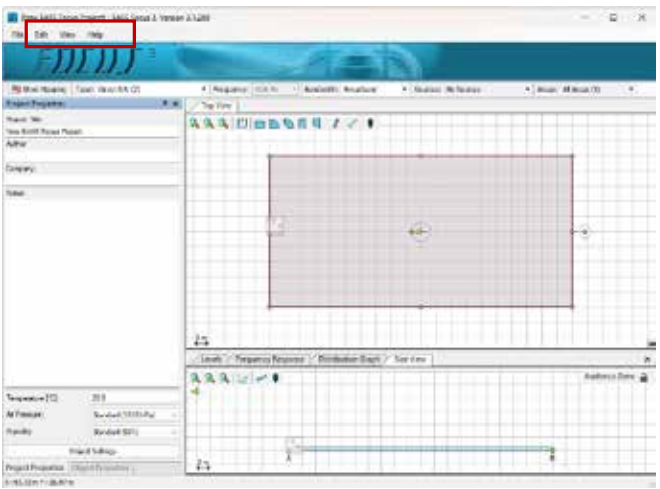
Beberapa keunggulan utama EASE Focus meliputi:

- *Interface* yang intuitif dengan visualisasi 3D
- *Database loudspeaker* yang ekstensif dari berbagai manufaktur
- Kemampuan simulasi distribusi SPL yang akurat
- Fitur optimasi *array* otomatis
- Kalkulasi parameter akustik penting seperti STI *(Speech Transmission Index)*
- Ekspor hasil simulasi dalam format laporan profesional

Penguasaan EASE Focus menjadi semakin penting mengingat tren industri yang mengarah pada simulasi digital sebagai tahap standar dalam perancangan sistem audio. Kemampuan untuk

menggunakan *software* ini secara efektif telah menjadi keterampilan yang sangat dicari dalam industri audio profesional.

Pengenalan User Interface EASE Focus



1) ***Menu Bar:***

Terletak di bagian atas jendela utama, berisi opsi menu seperti:

- *File* : Untuk membuka, menyimpan, atau membuat proyek baru.
- *Edit* : Untuk melakukan pengeditan pada proyek, seperti mengubah properti elemen.
- *View* : Untuk mengontrol tampilan antarmuka, termasuk zoom dan mode visualisasi.
- *Tools* : Berisi alat tambahan seperti pengaturan frekuensi atau perhitungan.
- *Help* : Untuk mengakses dokumentasi dan panduan penggunaan.

2) *Project Properties*

Pada *Project Properties* kita dapat mengisikan judul proyek, penulis, catatan, suhu, tekanan udara, kelembapan. Pada Project *Setting* kita dapat mengatur *setting* terdapat ketinggian telinga orang ketika duduk dan berdiri.

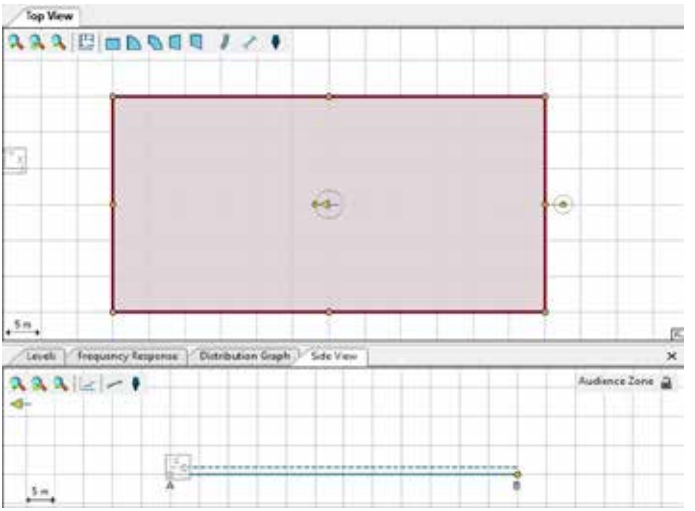
3) *Object Properties*

Pada *Object Properties* kita dapat mengatur ukuran *Surface* atau *object* ruangan yang akan di simulasi

4) *Icon Bar*

Berisi ikon-ikon untuk akses cepat ke fungsi utama, seperti *zoom in, zoom out, scale to fit,* menggambar *rectangle sound source* (memasukan *loudspeaker*) hingga *layout.*

5) Workspace/ Bidang Kerja



Area ini adalah tempat utama untuk bekerja dengan tata letak *speaker* dan visualisasi cakupan suara.

Studi Kasus
Perbaikan Kualitas Akustik

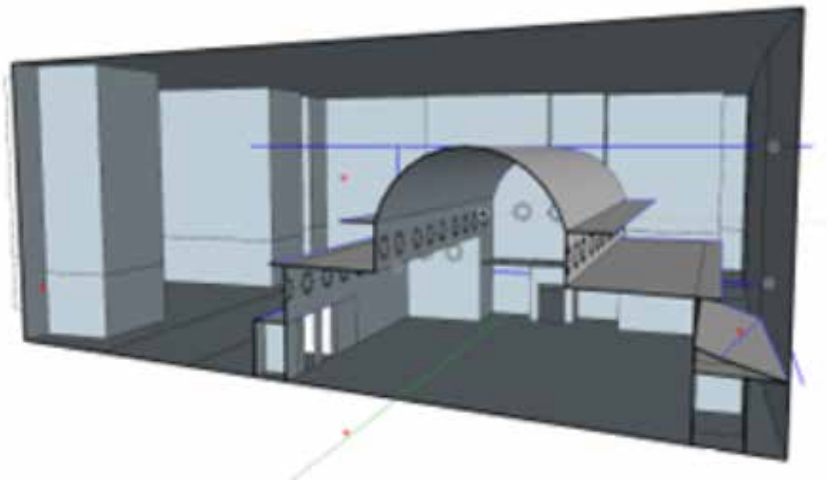
1. Penanganan Kebisingan (Studi Kasus Gereja St. Yusup Bintaran)

Gereja Santo Yoseph Bintaran adalah sebuah gereja Katolik. Bentuk bangunannya mencerminkan fungsi gereja. Massa bangunan terdiri dari konstruksi persegi panjang dengan kubah atau atap setengah lingkaran. Dua massa persegi panjang dengan atap datar berdiri di kedua sisi massa tersebut. Gambar skematik pada gambar di bawah ini menggambarkan potongan gereja serta rencana tapaknya. Ruang gereja berbentuk persegi panjang dengan panggung di ujung bangunan, dan halaman gereja agak luas dengan tetangga di dekatnya, sehingga ada kemungkinan besar suara masuk ke dalam gereja. Gereja ini juga hampir sepenuhnya dikelilingi oleh jalan raya.

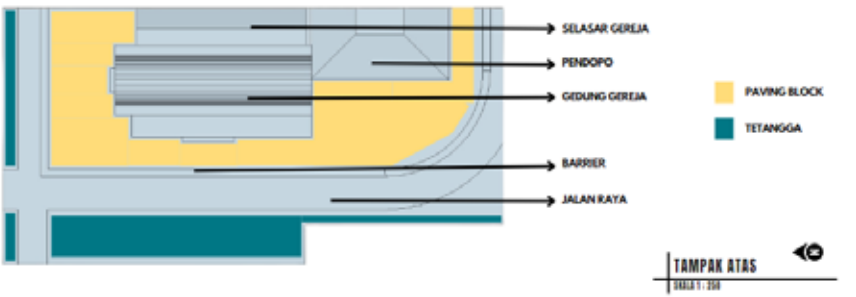
Material

Akustik ruang dipengaruhi oleh material interior yang digunakan, oleh karena itu pemasangan material akustik sebagian besar difokuskan pada interior bangunan. Karena spesifikasi material pemantul yang ada saat ini pada bangunan memiliki waktu dengung yang panjang. Penambahan material dapat mengurangi waktu dengung dengan cara menyerap suara dan bukan memantulkannya kembali. Mengingat status Gereja Bintaran sebagai bangunan bersejarah budaya, perawatan khusus harus dilakukan

untuk mempertahankan bagian-bagian tertentu. Bangunan saat ini memiliki material interior sebagai berikut.



Gambar 18. Potongan dari 3D modeling Gereja Santo Yusup Bintaran
Sumber: Hutagalung & Ola, 2023



Gambar 19. Site Plan Skematik Gereja Santo Yusup Bintaran
Sumber: Hutagalung & Ola, 2023

Titik Kebisingan

Titik 1 (P1) terletak di sisi utara gereja, berdekatan dengan pintu gerbang dan jalan raya. Titik 2 (P2) terletak di sisi barat daya gereja, dekat dengan tikungan jalan raya. Titik 3 (P3) terletak di sisi barat, dekat dengan gerbang masuk dan Jalan Raya Bintaran. Titik 4 (P4) terletak di sisi selatan gereja, dekat dengan tempat parkir dan jalan raya.

Gambar 20. Titik pengukuran kebisingan
Sumber: Hutagalung & Ola, 2023

a. Hasil Pengukuran

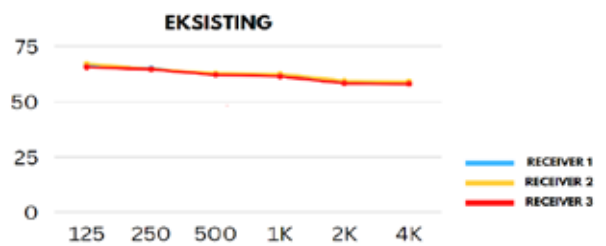
Hasil pengukuran menunjukkan bahwa perhitungan Leq-menit untuk aktivitas di dalam gedung gereja dan lalu lintas kendaraan adalah 78,54 dB(A). Pengukuran Leq-menit untuk hari kerja (Senin-Jumat) dan hari libur (Sabtu-Minggu) adalah 80,00 dB(A), sedangkan pengukuran Leq-menit untuk setiap sesi (pagi, siang, sore, dan malam) adalah 60,00 dB(A). Kriteria kebisingan gereja konvensional (NCB) berkisar antara 25,00 hingga 35,00 dB(A), sedangkan tingkat kebisingan sekitar (LNP) adalah 55,00 dB(A).

Penelitian ini mengevaluasi teknik manajemen kebisingan dengan menggunakan receiver di tiga bagian Gereja Santo Yusup Bintaran, sejajar dengan altar. Selain itu, kebisingan diposisikan di jalan raya untuk memudahkan penyebaran suara di sekitar Gereja Santo Yusup Bintaran Yogyakarta. Survei ini bertujuan

untuk memperoleh data yang ada secara langsung. Selanjutnya, data tersebut disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak CATT untuk mengetahui parameter SPL (dB). Hasil dari simulasi ini akan disandingkan dengan rekomendasi desain yang telah ditetapkan sebelumnya. Temuan simulasi dari kondisi saat ini disandingkan dengan parameter standar yang digunakan untuk operasional gereja.

Simulasi ini menggunakan material yang sudah ada, dengan menggunakan sumber bising tanpa mengubah atau menambahkan material peredam. Simulasi saat ini dilakukan dua kali: satu kali dengan pintu tertutup dan satu kali dengan pintu terbuka. Hasil dari kedua simulasi tersebut dapat dikontraskan, yang menggambarkan variasi kebisingan yang masuk dengan pintu tertutup dan terbuka.

eksisting						
receiver	nilai SPL (dB)					
	125	250	500	1K	2K	4K
1	66.6	65.0	62.2	61.8	58.6	58.2
2	67.2	64.7	62.9	62.6	59.5	59.2
3	65.6	64.6	62.1	61.4	58.3	58.0



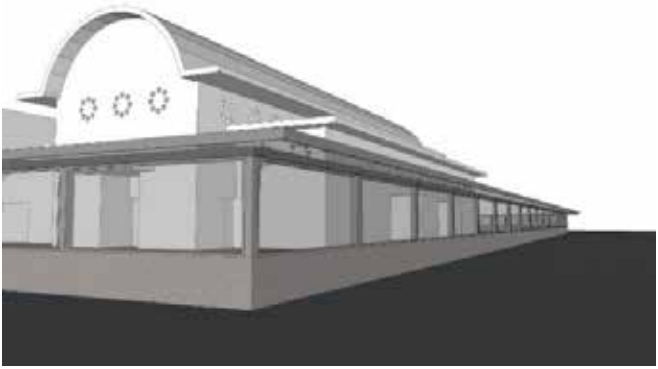
Gambar 21. Hasil studi simulasi kondisi eksisting

Sumber: Hutagalung & Ola, 2023

Simulasi Penambahan Barrier

Ketinggian penerima diatur agar sesuai dengan ketinggian pintu Gereja, yaitu 2 meter. Desain penghalang yang baru menggunakan penghitungan suara, dengan penerima diposisikan pada ketinggian 2,5 meter dan sumber pada 1,5 meter, yang mensimulasikan manusia yang mengoperasikan mobil atau sepeda motor. Desain penghalang

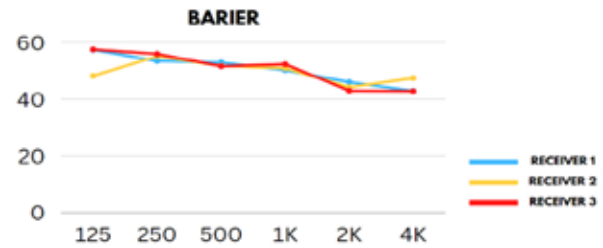
dengan ketinggian 2,5 meter yang terbuat dari beton dan mika direkomendasikan berdasarkan data penghitungan suara. Mika digunakan untuk memungkinkan orang yang berjalan-jalan atau berkendara dari luar gereja dapat melihat ke dalam gereja, sehingga tidak terhalang. Penghalang dengan kanopi ini juga memberikan keteduhan bagi orang yang lewat.



Gambar 22. Penambahan barrier

Sumber: Hutagalung & Ola, 2023

Barrier						
receiver	nilai SPL (dB)					
	125	250	500	1K	2K	4K
1	57.4	53.4	52.9	50.2	46.0	42.9
2	48.2	55.1	51.7	50.9	44.2	47.4
3	57.5	55.9	51.6	52.3	43.0	42.8



Gambar 23. Hasil studi simulasi kondisi penambahan barrier

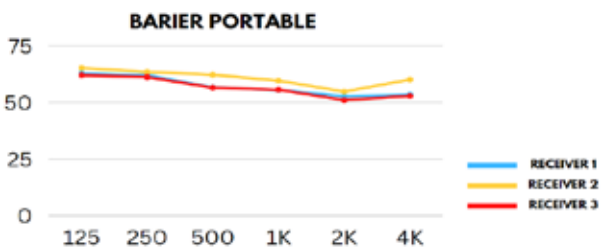
Sumber: Hutagalung & Ola, 2023

Simulasi Penambahan Barrier Portable

Jarak standar antara penghalang portabel dan pintu untuk mengurangi kebisingan dipengaruhi oleh beberapa aspek, termasuk

jenis dan desain penghalang, jenis dan intensitas kebisingan, dan persyaratan khusus dari keadaan tersebut. Jarak sekitar 3 hingga 5 kaki antara penghalang portabel dan pintu masuk dapat mengurangi transmisi kebisingan; namun, jarak yang tepat yang diperlukan untuk pengurangan kebisingan yang berhasil mungkin berbeda. Selain jarak antara penghalang dan pintu, menggunakan bahan penyerap suara pada penghalang, menerapkan sistem pintu ganda, dan menggunakan segel dan pengupasan cuaca adalah metode lebih lanjut untuk mengurangi transmisi kebisingan. pintu yang dirancang untuk meminimalkan ruang dan mencegah kebocoran.

Barrier portable						
receiver	nilai SPL (dB)					
	125	250	500	1K	2K	4K
1	66.6	65.0	62.2	61.8	58.6	58.2
2	67.2	64.7	62.9	62.6	59.5	59.2
3	65.6	64.6	62.1	61.4	58.3	58.0



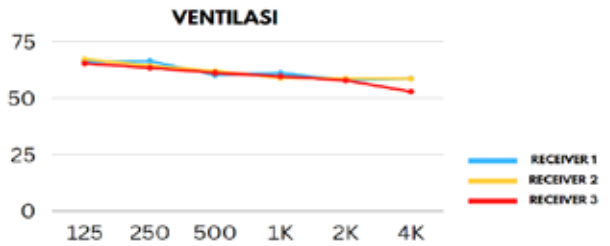
Gambar 24. Hasil studi simulasi kondisi penambahan barrier portable

Sumber: Hutagalung & Ola, 2023

Simulasi Penambahan Elemen pada Ventilasi

Peredam suara sangat penting dalam mengurangi kebisingan karena dapat mengurangi suara dari luar. Mereka memiliki kerapatan mulai dari 30 g/cm^3 hingga 100 g/cm^3, meskipun penampilannya hampir sama dengan wol kaca. Rockwool, bahan insulasi akustik, tersedia dalam bentuk gulungan atau lembaran sebagai produk serat mineral ringan yang mampu menyerap panas dan suara.

ventilasi						
receiver	nilai SPL (dB)					
	125	250	500	1K	2K	4K
1	66.1	66.3	60.2	61.0	58.0	58.7
2	67.2	64.3	61.9	58.9	58.6	58.2
3	65.3	63.3	61.1	59.6	58.6	57.8



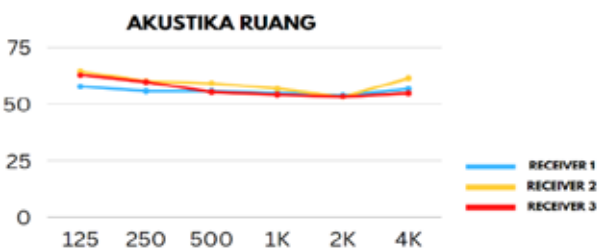
Gambar 25. Hasil studi simulasi kondisi penambahan elemen pada ventilasi

Sumber: Hutagalung & Ola, 2023

Simulasi Penambahan Material Akustika Ruang

Simulasi dilakukan dengan memasukkan komponen akustik ke dalam lingkungan. Hasilnya ditampilkan dalam tabel berikut.

akustika ruang						
receiver	nilai SPL (dB)					
	125	250	500	1K	2K	4K
1	62.4	57.7	55.7	54.9	53.9	56.6
2	64.4	60.0	59.1	56.8	53.2	61.3
3	62.7	59.7	55.3	54.2	53.3	54.8



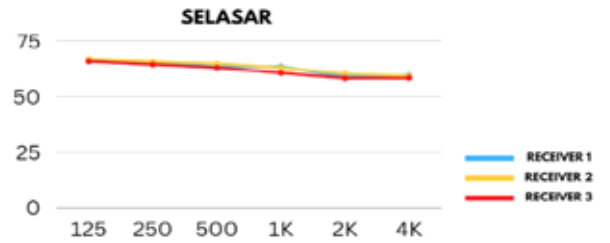
Gambar 26. Hasil studi simulasi kondisi penambahan material akustik ruang dalam

Sumber: Hutagalung & Ola, 2023

Simulasi Penambahan Elemen pada Dinding Selasar

Bahan peredam suara dimasukkan ke dalam dinding koridor di Gereja Santo Yusup Bintaran di Yogyakarta untuk simulasi ini. Tabel berikut ini menyajikan hasil dari simulasi tersebut

selasar						
receiver	nilai SPL (dB)					
	125	250	500	1K	2K	4K
1	66.8	65.3	63.3	61.4	58.9	59.6
2	67.0	65.6	64.7	62.9	60.2	59.3
3	65.7	64.3	62.9	60.6	58.3	58.4



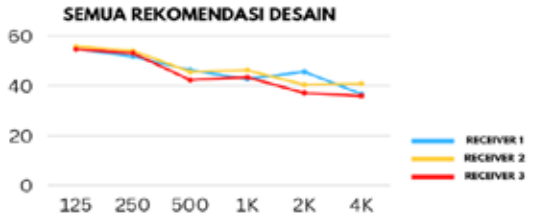
Gambar 27. Hasil studi simulasi kondisi penambahan elemen pada dinding selasar

Sumber: Hutagalung & Ola, 2023

Simulasi Penggabungan Semua Rekomendasi

Simulasi dilakukan dengan mengintegrasikan semua rekomendasi desain, yang dapat menjadi panduan untuk perbaikan Gereja Santo Yusup Bintaran di masa depan.

penggabungan semua desain rekomendasi						
receiver	nilai SPL (dB)					
	125	250	500	1K	2K	4K
1	54.8	51.6	46.3	42.7	45.6	36.7
2	55.8	54.0	45.6	46.2	40.4	40.8
3	54.6	53.0	42.3	43.4	37.1	35.9



Gambar 28. Hasil studi simulasi kondisi penggabungan semua teknik penanganan kebisingan

Sumber: Hutagalung & Ola, 2023

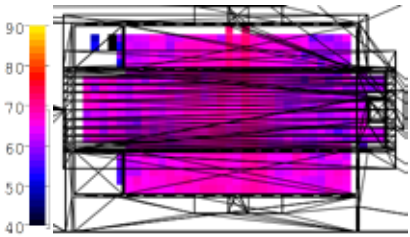
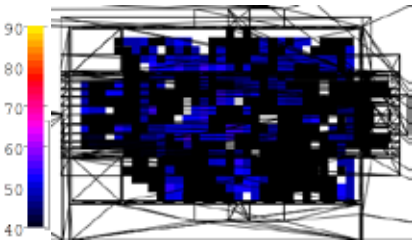
b. Komparasi Kondisi

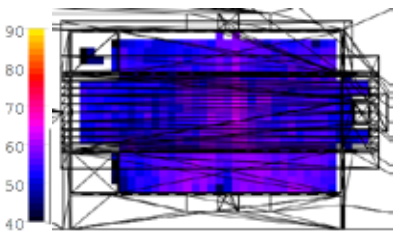
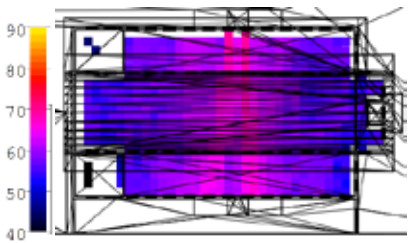
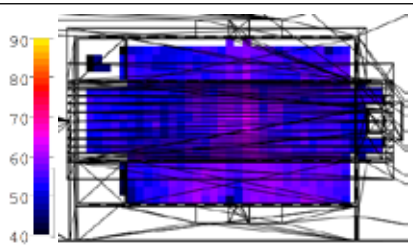
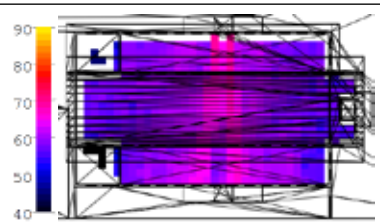
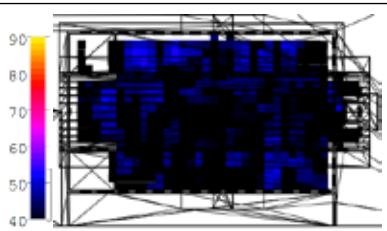
Enam kondisi dievaluasi untuk membandingkan kemungkinan desain yang diusulkan. Usulan awal melibatkan pemasangan penghalang di sekitar area yang ada; saran berikutnya adalah

memasukkan bahan peredam ke dalam sistem ventilasi Gereja; rekomendasi ketiga adalah memasang penghalang portabel di setiap pintu masuk; yang keempat melibatkan penambahan bahan akustik; yang kelima mengusulkan integrasi bahan peredam ke dalam dinding lorong; dan saran terakhir adalah menggabungkan semua opsi desain yang diusulkan. Hasil dari enam perbandingan parameter kebisingan akustik dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas unggul dari enam solusi yang diusulkan.

Parameter Sound Pressure Level (SPL) pada frekuensi 4 kHz dapat dianalisis untuk mendapatkan nilai yang optimal untuk desain. Setiap frekuensi memberikan hasil yang berbeda dari setiap simulasi. Saran desain untuk setiap alternatif telah disertakan untuk menyoroti perbedaan yang terjadi. untuk menunjukkan variasi warna yang terjadi antara kemungkinan saat ini dan alternatif. Seperti yang telah diantisipasi, semakin dalam rona warna, semakin unggul kualitas akustik yang ditunjukkan.

Tabel 1. Komparasi paad hasil studi 6 opsi

No	Hasil Simulasi
A	
1	

2	
3	
4	
5	
6	

Untuk menentukan nilai optimal untuk desain yang diusulkan, tabel di atas dapat digunakan untuk membandingkan parameter Sound Pressure Level (SPL) pada 4kHz untuk setiap alternatif. Setiap

frekuensi memberikan hasil yang berbeda dari setiap simulasi. Rekomendasi desain untuk setiap pilihan telah digunakan untuk menyoroti perbedaan yang dihasilkan. untuk mengilustrasikan variasi warna yang terjadi antara pilihan saat ini dan pilihan alternatif. Seperti yang telah diantisipasi, semakin dalam rona warna, semakin unggul kualitas akustik yang ditunjukkan.

Tabel 2. Hasil rate pada masing-masing rekomendasi desain

Komparasi	1	2	3	4	5	6
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Tabel 3. Hasil rate pada masing-masing rekomendasi desain

REKOMENDASI	RATE
PENAMBAHAN ELEMEN PEREDAM PADA VENTILASI	★☆☆☆☆
PENAMBAHAN ELEMEN PEREDAM PADA DINDING SELASAR	★½☆☆☆
PENAMBAHAN AKUSTIKA RUANG	★★☆☆☆
PENAMBAHAN BARIER PORTABLE DI TIAP PINTU	★★★☆☆
PENAMBAHAN DESAIN BARIER MENGELILINGI GEREJA	★★★★☆
SEMUA REKOMENDASI DESAIN	★★★★★

c. Kesimpulan

Temuan simulasi menunjukkan bahwa proposal desain terdiri dari beberapa saran, yang dievaluasi terhadap enam kondisi. Usulan desain tersebut meliputi pemasangan penghalang yang mengelilingi area saat ini, penggabungan bahan peredam di area ventilasi Gereja, penempatan penghalang portabel di setiap pintu masuk, penambahan bahan akustik, penerapan bahan peredam

pada dinding lorong, dan pembuatan taman. Temuan dari enam perbandingan parameter kebisingan akustik tersebut dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas dari enam opsi yang diusulkan. Hasil dari perbandingan ini akan menentukan hasil akhir. Analisis komparatif dari rekomendasi desain dengan menggunakan material yang ada.

Hasil percobaan simulasi dapat mengubah tingkat kebisingan yang masuk ke dalam ruang gereja dibandingkan dengan kualitas akustik yang ada. Nilai SPL rata-rata 35,00 dB(A) hampir selaras dengan norma Indonesia, dan SPL tersebut 85 persen sesuai dengan SPL yang dapat diterima untuk Gereja, karena mengakomodasi tingkat kebisingan internal. Setiap saran desain menunjukkan bahwa fokus peningkatan utama adalah penghalang gereja (opsi 1) karena tingkat tekanan suara (SPL) gereja yang sangat rendah.

2. Penanganan Akustik Ruang (Studi Kasus Gereja St. Yusup Bintaran)

Gereja Santo Yusup Bintaran yang terletak di Jalan Bintaran Kidul No. 5, Wirogunan, Kecamatan Mergangsan, Yogyakarta, DIY, merupakan bangunan cagar budaya yang telah berdiri sejak tahun 1934. Gereja Bintaran saat ini digunakan untuk peribadatan umat Katolik, namun dengan bertambahnya jumlah jemaat mengharuskan adanya pemasangan sistem akustik yang memfasilitasi kegiatan peribadatan umat Katolik. Untuk memenuhi peraturan cagar budaya, perlu dilakukan perbaikan akustik tanpa mengubah tampilan visual atau struktur utama bangunan lebih dari 20%.

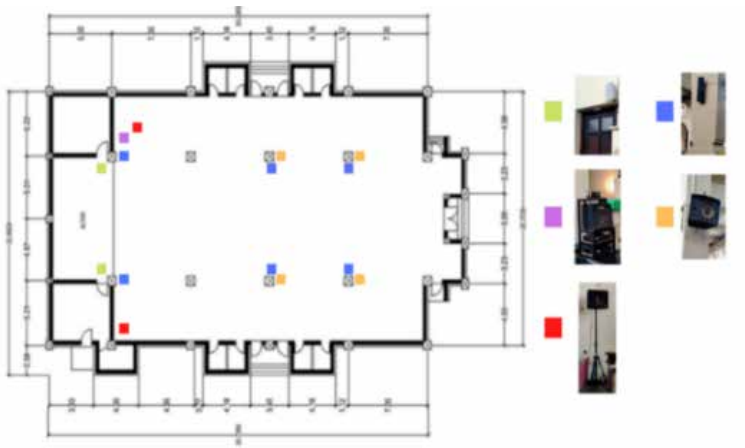
Di ujung bangunan, terdapat ruang persegi panjang yang menampilkan panggung yang berfungsi sebagai altar di Gereja Bintaran. Altar ini dikonfigurasikan seperti panggung, dengan ketinggian yang melebihi daerah sekitarnya. Ruang pertemuan diisi dengan umat yang duduk memanjang sesuai dengan bentuk bangunan, menghadap langsung ke altar. Fasilitas pengakuan dosa

digunakan di sayap kiri dan kanan untuk memenuhi persyaratan Ekaristi Tobat. Bahan-bahan pemantul suara yang digunakan dalam struktur memiliki koefisien penyerapan suara yang sama seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Koefisien serap bunyi pada material

Material	Koefisien Serapan Bunyi						
	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Beton	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05
Lantai Ubin	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Kayu Pintu	0,14	0,1	0,06	0,08	0,1	0,1	0,1
Gypsum	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05

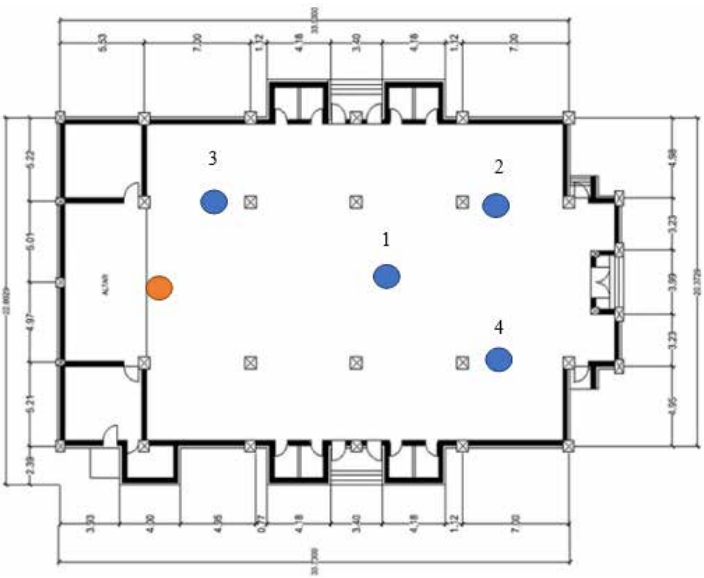
Pada Gambar 29, pola area sumber suara sistem suara digambarkan. Berdasarkan posisi pendengar, jenis dan fungsi sistem suara yang digunakan saat ini diposisikan dengan tepat. Sistem suara ditempatkan untuk menjangkau seluruh pendengar, tetapi tanpa mempertimbangkan jumlah yang tepat yang dibutuhkan. *Speaker* monitor, *speaker* berdiri, dan *speaker* kolom adalah jenis pengeras suara yang digunakan. Meskipun sudah ditempatkan sesuai dengan jenis audiens, namun area yang dijangkau oleh audiens belum tercakup secara merata oleh ketiga jenis pengeras suara tersebut. Sehingga mengurangi kejernihan suara yang dihasilkan bagi penonton.



Gambar 29. Peletakan ***sound system*** eksisting

Sumber: Febriana & Ola, 2023

Gambar 30 menggambarkan pengukuran Waktu Dengung (RT). Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat RT60 dan sumber suara yang dihasilkan oleh balon yang diletuskan. Pengukuran dilakukan di beberapa lokasi di antara penonton yang dekat dengan sumber suara sistem akustik buatan. Perbandingan RT60 dibuat melalui eksperimen yang dilakukan di empat lokasi yang ditunjukkan dengan warna biru, dengan balon eksperimen ditunjukkan oleh lingkaran oranye.



Gambar 30. Titik pengukuran RT60

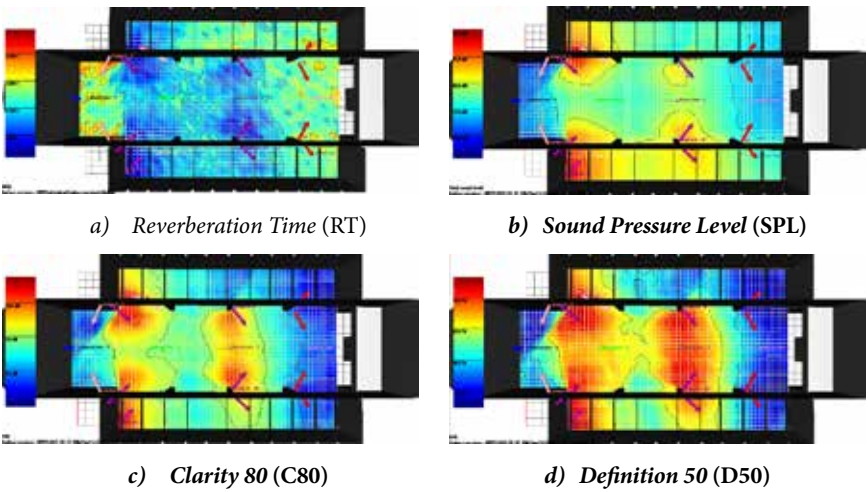
Sumber: Febriana & Ola, 2023

Tabel 5 menampilkan data yang diperoleh dari pengukuran Waktu Dengung (RT), sesuai dengan titik-titik yang diilustrasikan pada Gambar 30. Meskipun ada beberapa perbedaan, angka yang dihasilkan oleh titik 1 dan 4 secara signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan titik-titik lainnya. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai Waktu Dengung (RT) tidak sesuai dengan norma yang dapat diterima.

Tabel 5. Nilai hasil pengukuran

Titik	Nilai RT60	Titik	Nilai RT60
1	3.85	3	3.21
2	3.11	4	3.41

Data dikumpulkan dari kondisi saat ini untuk bertindak sebagai panduan untuk simulasi yang konsisten dengan kondisi saat ini. Parameter RT60, SPL, C80, dan D50 ditentukan melalui simulasi.



a) Reverberation Time (RT) **b) *Sound Pressure Level* (SPL)**

***c) Clarity 80* (C80)** ***d) Definition 50* (D50)**

Gambar 31 Hasil simulasi eksisting berdasarkan parameter

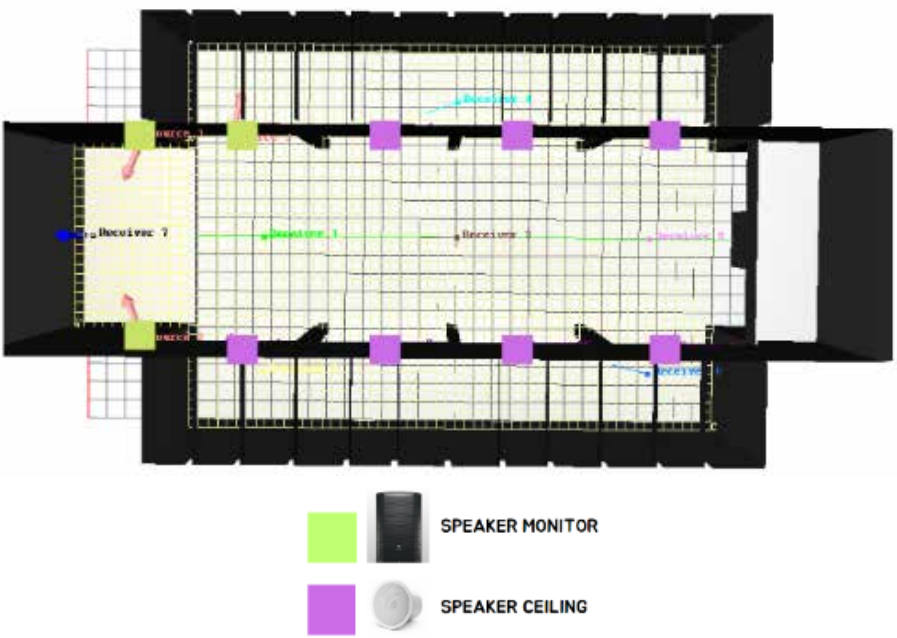
Sumber: Febriana & Ola, 2023

Nilai maksimum Waktu Dengung yang dihasilkan oleh simulasi pada Gambar 31 adalah 3,95 detik. Tingkat Tekanan Suara mencapai nilai puncak 90,28 dB pada simulasi (b). Nilai maksimum untuk Kejelasan 80 pada simulasi (c) adalah 13,99 detik. Nilai maksimum untuk *Definition 50* pada simulasi (d) adalah 90%. Hasil simulasi yang diperoleh untuk setiap parameter menunjukkan bahwa area di dekat sumber suara sistem suara memiliki kualitas yang cukup baik. Kualitas akustik yang dihasilkan sangat buruk ketika area tersebut berada jauh dari *sound system.* Ketika gelombang suara tidak maksimal, gelombang suara saling bertabrakan satu sama

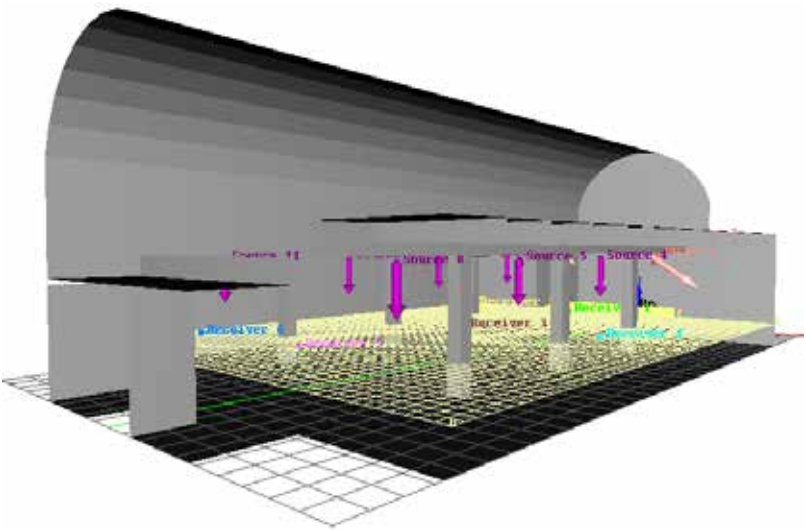
lain akibat suara yang dipantulkan dari material. Area atau posisi belakang memiliki kualitas yang rendah.

a. Rekomendasi Penataan *Sound System*

Konfigurasi ulang sistem suara merupakan rekomendasi desain awal. Desain sistem suara yang diusulkan melibatkan modifikasi pada posisi dan orientasi sistem suara yang didistribusikan di seluruh area gereja yang luas. Speaker dikalibrasi sesuai dengan tujuannya, jumlahnya disesuaikan dengan kebutuhan audiens, dan orientasi sumber suara dimodifikasi. Opsi ini menggunakan speaker monitor dan speaker plafon. Lokasi dan orientasi speaker diilustrasikan pada Gambar 32 di bawah ini.



a) **Tampak atas penataan *sound system***

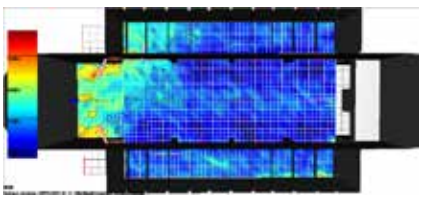


a) **Tampak Perspektif *Sound System***

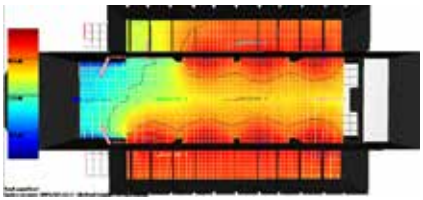
Gambar 32. Titik peletakan sound system

Sumber: Febriana & Ola, 2023

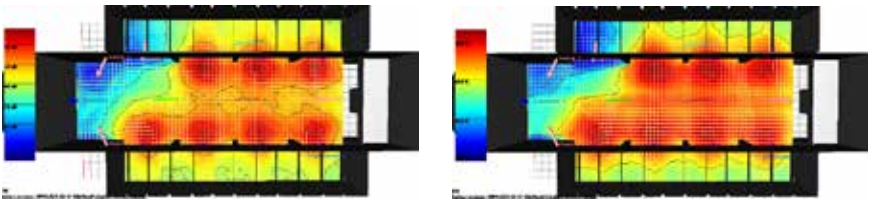
Untuk menghindari perbedaan kualitas suara, disarankan untuk mengatur sistem suara sehingga parameter pengukuran didistribusikan secara merata ke seluruh area audiens. Setelah menentukan jenis penataan tata suara dan jenis tata suara yang akan digunakan, selanjutnya dilakukan simulasi untuk mengetahui efek apa saja yang timbul ketika terjadi perubahan posisi dan arah penembakan tata suara. Pengukuran parameter dilakukan melalui simulasi.



a) Reverberation Time (RT)



***b) Sound Pressure Level* (SPL)**



c) ***Clarity 80*** **(C80)** *d)* ***Definition 50*** **(D50)**

Gambar 33. Hasil simulasi penataan ***sound system***

Sumber: Febriana & Ola, 2023

Pada Gambar 33 nilai maksimum sebesar 3.98 detik dicapai oleh nilai yang dihasilkan oleh simulasi (a). Tingkat Tekanan Suara pada simulasi (b) mencapai nilai maksimum 84 dB. Nilai maksimum *Clarity 80* pada simulasi (c) adalah 10,14 detik. Simulasi (d) menunjukkan bahwa *Definition 50* dapat mencapai nilai maksimum 87%. Area parameter pengukuran bidang penonton terdistribusi secara merata di seluruh bagian, seperti yang ditunjukkan pada hasil simulasi.

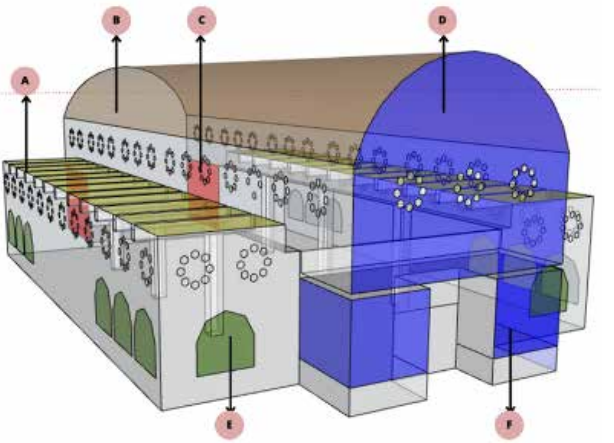
b. Rekomendasi Material Akustik dengan *Sound System.*

Pemilihan material didasarkan pada fakta bahwa Gereja Bintaran adalah bangunan cagar budaya. Visual dan material bangunan asli tidak akan berubah lebih dari 20% jika dilakukan perbaikan. Material akustik yang dipilih memiliki sifat menyerap, mencegah sumber suara memantul dalam waktu yang lama, dan dengan demikian mengurangi nilai waktu dengung. Tabel 6 menunjukkan koefisien serap material akustik.

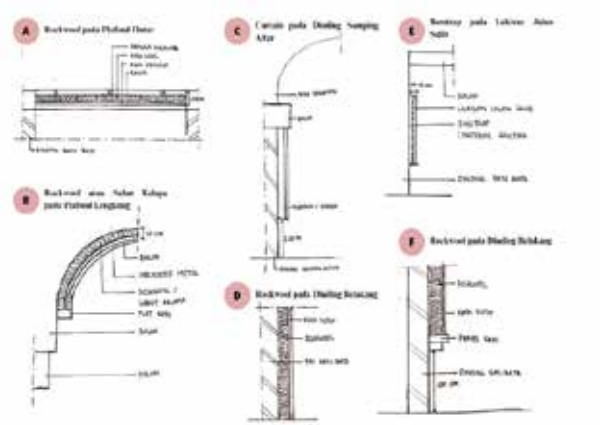
Tabel 6. Koefisien serap material akustik

Material Akustik	Koefisien Serapan Bunyi						
	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Bass Trap	0,11	0,24	0,64	1	1	0,8	
Cotton Curtain (0.5kg/m3)	0,3	0,45	0,65	0,56	0,59	0,71	0,71
Perforated Veneered 50mm, 1mm holes, 3mm spacing	0,2	0,56	0,82	0,87	0,7	0,53	
Rockwoll 50mm, 40kg/m3	0,23	0,59	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86

Penggabungan bahan akustik ke dalam struktur yang ada terjadi di area-area tertentu; secara khusus, sebuah perangkap bass ditempelkan di bagian belakang lukisan dengan memotongnya, sehingga memberikan karya seni dengan tujuan ganda. b) Tirai menghiasi dinding yang mengelilingi altar dan dapat diubah untuk merefleksikan tema Ekaristi. Veneer berlubang dan bahan akustik khusus dipasang pada lengkungan atap. d) Rockwell dipasang pada langit-langit datar. e) Rockwool diposisikan pada dinding di belakang jemaat. Gambar 34 memberikan rekomendasi untuk penggabungan bahan akustik.



a) Perletakan material akustik bangunan



b) Potongan material akustik

Basstrap pada lukisan dan *rockwool* pada plafon

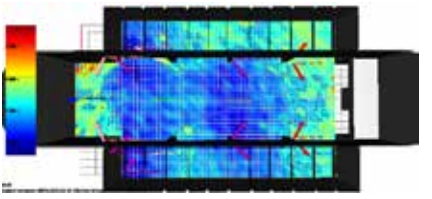
Curtain dan *rockwool* pada dinding

Perfoted pada plafon

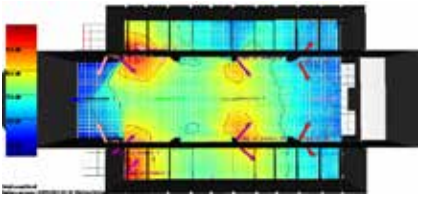
c) Tampilan visual material

Gambar 34. Rekomendasi material akustik

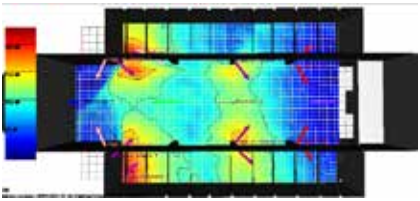
Sumber: Febriana & Ola, 2023



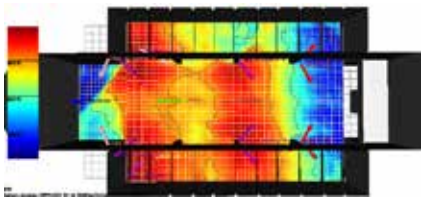
a) Reverberation Time (RT)



b) Sound Pressure Level **(SPL)**



***c) Clarity 80* (C80)**



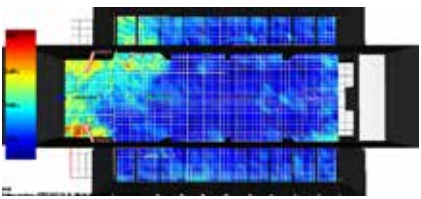
***d) Definition 50* (D50)**

Gambar 35. Hasil simulasi material akustik dengan ***sound system*** eksisting
Sumber: Febriana & Ola, 2023

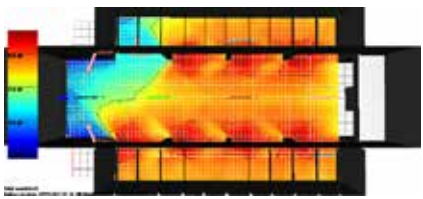
Simulasi (a) *Reverberation Time* menghasilkan nilai puncak 2,79 detik pada Gambar 35. Simulasi (b) menunjukkan bahwa *Sound Pressure Level* mencapai nilai puncak 89,74 dB. Simulasi (c) menunjukkan bahwa *Clarity 80* mencapai nilai puncak 23,06 detik. Simulasi (d) menghasilkan nilai puncak 80% untuk *Definition 50*. Temuan simulasi menunjukkan bahwa parameter pengukuran lapangan audiens tidak terdistribusi secara merata di seluruh bagian.

c. Rekomendasi Material Akustik dengan Rekomendasi Penataan *Sound System*

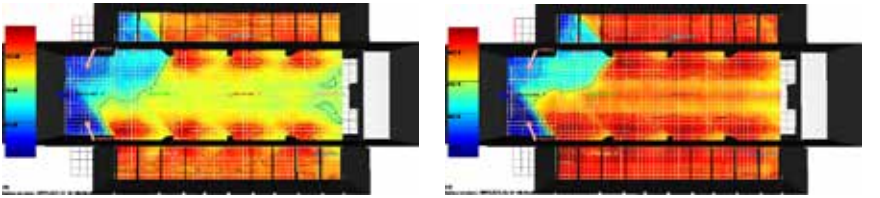
Menggunakan rekomendasi pengaturan tata suara dan rekomendasi material akustik adalah rekomendasi berikutnya. Gambar 36 adalah hasil dari simulasi. Kualitas yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik dan mendekati standar yang ada saat ini. Area cakupan sumber suara yang tidak merata masih membatasi beberapa area karena hanya mencakup area tertentu saja. Kualitas hasil yang kurang memuaskan, terutama jika jauh dari sumber suara. Bagian ini secara singkat menyajikan hasil dan mendiskusikannya.



a) Reverberation Time (RT)



***b) Sound Pressure Level* (SPL)**



***c) Clarity 80* (C80)** ***d) Definition 50* (D50)**

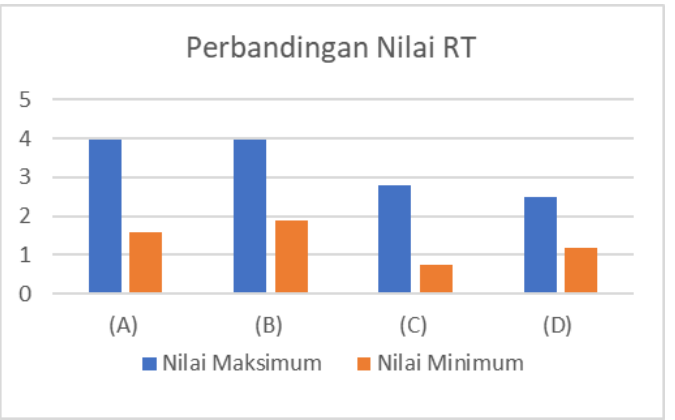
Gambar 36. Hasil simulasi rekomendasi ***sound speaker*** dan rekomdasi material akustik

Sumber: Febriana & Ola, 2023

Simulasi (a) menghasilkan nilai pada Gambar 36 yang mencapai maksimum 2,50 detik. Simulasi (b) menghasilkan tingkat tekanan suara yang mencapai nilai maksimum 80 dB. Nilai maksimum kejernihan 80 pada simulasi (c) adalah 9,58 detik. Simulasi (d) mencapai nilai maksimum 94% untuk *Definition 50*. Menurut hasil simulasi, area parameter yang diukur pada bidang penonton terdistribusi secara merata di seluruh area.

d. Studi Komparasi *Reverberation Time* (RT)

Membandingkan nilai T-30 antara kondisi eksisting dan rekomendasi perbaikan akustik adalah langkah pertama dalam meninjau parameter RT60. Perbandingan terdiri dari metode perbandingan yang mengandalkan data nilai maksimum dan minimum, serta gambar hasil simulasi untuk eksisting dan tiga rekomendasi yang akan dipresentasikan secara makro dan mikro. Rekomendasi Satwiko pada tahun 2019 untuk volume ruang dan fungsi bangunan gereja adalah 1,50 detik sebagai standar. Terlepas dari efektif atau tidaknya standar tersebut digunakan dalam simulasi rekomendasi, standar tersebut tetap menjadi pedoman.



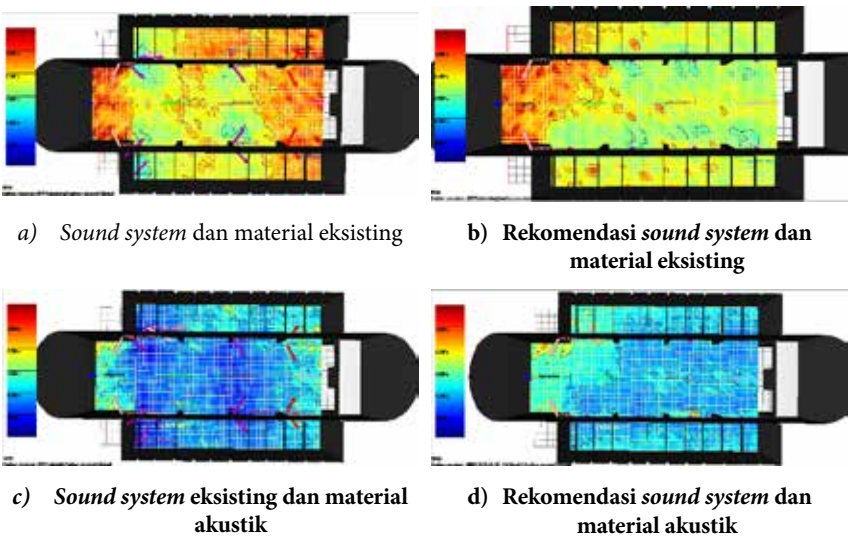
Grafik 1. Perbandingan ***Reverberation Time*** (RT)
Sumber: Febriana & Ola, 2023

Keterangan:

(a) *Sound System* dan Material Eksisting
(b) Rekomendasi *Sound System* dan Material Eksisting
(c) *Sound System* Eksisting dan Rekomendasi Material Akustik
(d) Rekomendasi *Sound System* dan Rekomendasi material Akustik

Nilai tertinggi dan terendah untuk setiap simulasi ditampilkan untuk mengilustrasikan nilai waktu dengung dalam grafik perbandingan. Ekstraksi data simulasi dari grafik bergantung pada nilai kasus terburuk, sementara simulasi yang sesuai dengan standar diperoleh. Pada (A) dan (B), nilai tertinggi tetap meningkat secara signifikan hingga melebihi 3,80. Nilai maksimum sesuai dengan nilai yang diperoleh dari hasil eksperimen yang diperoleh dari survei langsung yang dilakukan pada data yang ada. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa bahan yang saat ini digunakan tidak memiliki karakteristik penyerapan. Nilai maksimum pada (C) dan (D) adalah ≤3.00, yang mengindikasikan adanya penurunan. Penggabungan bahan penyerap akustik telah menyebabkan penurunan tingkat suara. Nilai minimum yang dihasilkan oleh (A), (B), dan (D) adalah di bawah satu detik, meskipun nilai minimum (C) juga di bawah satu detik. Speaker saat ini, ketika digunakan dengan bahan akustik

saat ini, menunjukkan nilai waktu dengung (RT) yang lebih rendah daripada pengaturan yang direkomendasikan dalam kedua skenario. Nilai waktu dengung adalah rekomendasi optimal (D) karena sesuai dengan norma yang ditentukan.



a) Sound system dan material eksisting

b) Rekomendasi *sound system* dan material eksisting

***c) Sound system* eksisting dan material akustik**

d) Rekomendasi *sound system* dan material akustik

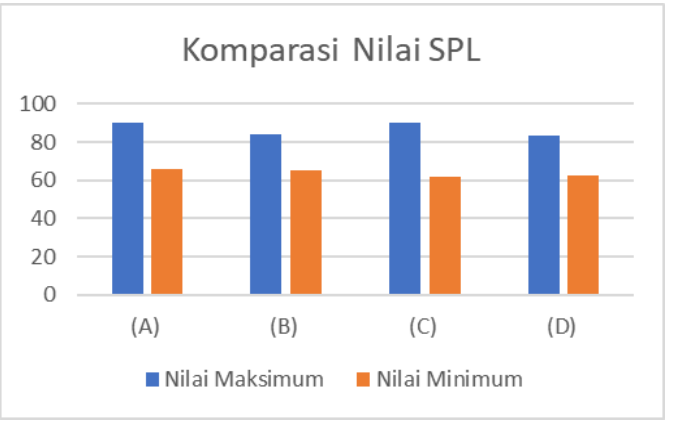
Gambar 37. Perbandingan simulasi berdasarkan parameter RT60

Sumber: Febriana & Ola, 2023

Nilai RT yang dihasilkan di dalam ruangan secara signifikan dipengaruhi oleh material yang digunakan, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 37. Penggunaan material (A) dan (B) menghasilkan nilai yang lebih unggul dibandingkan dengan simulasi yang menggunakan material akustik (C) dan (D). Area RT yang dihasilkan oleh bahan yang ada biasanya lebih besar pada jarak dari sumber suara karena volume pantulan yang dihadapi. Mengikuti panduan penempatan speaker menghasilkan waktu gema yang lebih seragam di area audiens, memastikan bahwa peserta tidak merasakan perbedaan antara posisi tempat duduk. Simulasi C dan D sangat didukung dibandingkan dengan simulasi lainnya berdasarkan nilai RT yang diterima.

e. Studi Komparasi *Sound Pressure Level* (SPL)

Parameter yang ditinjau untuk perbandingan berikutnya didasarkan pada nilai SPL yang dihasilkan oleh *speaker* dalam kondisi tertentu yang ada. Kebutuhan Gereja Bintaran membutuhkan 85.00 dB sebagai nilai standar yang direkomendasikan.

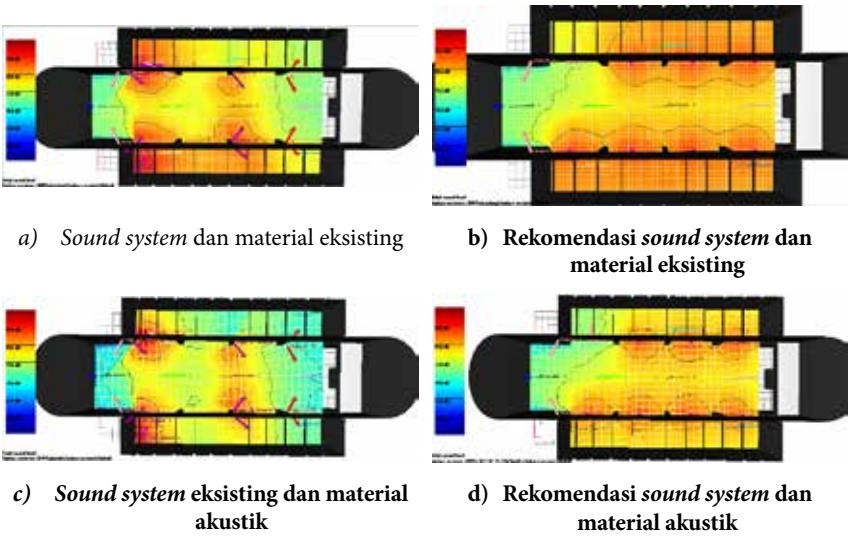


Grafik 2. Perbandingan ***Sound Pressure Level*** (SPL)
Sumber: Febriana & Ola, 2023

Keterangan:

(A) *Sound System* dan Material Eksisting
(B) Rekomendasi *Sound System* dan Material Eksisting
(C) *Sound System* Eksisting dan Rekomendasi Material Akustik
(D) Rekomendasi *Sound System* dan Rekomendasi material Akustik

Tabel Grafik 2 menunjukkan nilai SPL minimal dan maksimal yang dihasilkan oleh simulasi. Tabel grafik menampilkan nilai SPL terendah dan tertinggi yang dihasilkan oleh simulasi. Nilai maksimal yang ditampilkan antara A, B, C, dan D tidak terlalu jauh dari nilai maksimal rata-rata yaitu sekitar 80.00 dB. Dapat disimpulkan bahwa nilai ini sudah sesuai dengan nilai yang direkomendasikan atau nilai standar untuk kebutuhan Gereja Bintaran. Nilai minimum A dan B tidak berbeda jauh, namun nilai C dan D lebih rendah dari A dan B karena bahan pembuatnya.



a) Sound system dan material eksisting

b) Rekomendasi *sound system* dan material eksisting

***c) Sound system* eksisting dan material akustik**

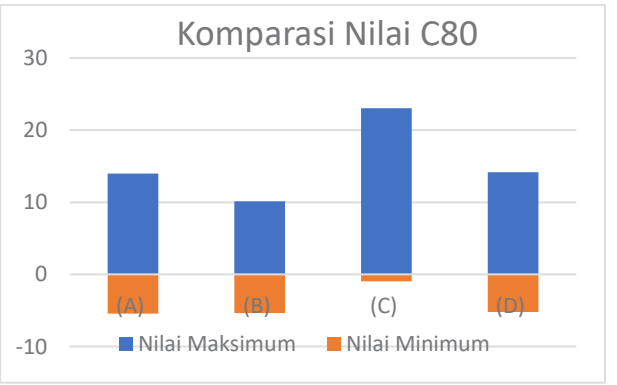
d) Rekomendasi *sound system* dan material akustik

Gambar 38. Perbandingan simulasi ***Sound Pressure Level*** (SPL)
Sumber: Febriana & Ola, 2023

Gambar 38 menyajikan data simulasi yang digunakan untuk membandingkan empat simulasi yang dilakukan. Penempatan titik-titik speaker mempengaruhi medan suara yang dihasilkan oleh simulasi. Pada simulasi A dan C, distribusi suara tidak merata, sehingga menghasilkan wilayah dengan tingkat tekanan suara (SPL) tinggi dan wilayah lain dengan SPL rendah. Penonton mengalami intensitas suara yang berbeda-beda di berbagai wilayah sebagai akibatnya. Simulasi B dan D memberikan distribusi sistem suara yang seragam berdasarkan posisi penonton, menghasilkan kekuatan yang sama di seluruh bagian penonton. Simulasi C dan D menunjukkan penurunan desibel sebagai akibat dari perubahan bahan akustik. Simulasi B dan D menawarkan rekomendasi yang sangat sesuai dengan nilai standar dan rentang kenyaringan yang dapat diterima, sehingga lebih unggul daripada simulasi lainnya.

f. Studi Komparasi *Clarity* 50 (C50)

Perbandingan akan dilakukan antara hasil simulasi yang didasarkan pada parameter C80. Untuk gereja dengan berbagai bagian di bagian depan, nilai C80 yang direkomendasikan adalah antara +8 dan -2 hingga +3, dan di bagian belakang, dari +5 hingga +9.

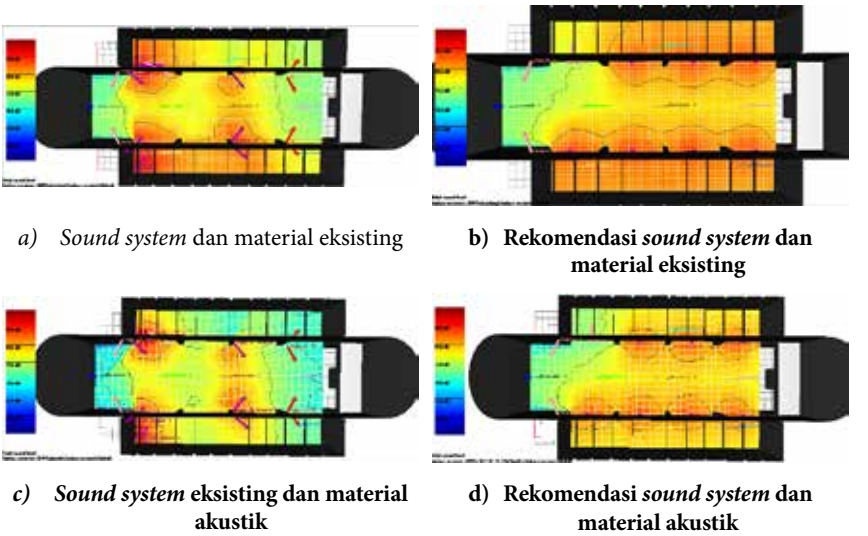


Grafik 3. Perbandingan ***Clarity 80*** (C80)
Sumber: Febriana & Ola, 2023

Keterangan:

(A) *Sound System* dan Material Eksisting
(B) Rekomendasi *Sound System* dan Material Eksisting
(C) *Sound System* Eksisting dan Rekomendasi Material Akustik
(D) Rekomendasi *Sound System* dan Rekomendasi material Akustik

Tabel Grafik 3 menunjukkan bahwa nilai maksimum A dan D menunjukkan perbedaan yang tidak mencukupi, dengan rata-rata lebih dari 10 dB, sementara nilai C mencapai lebih dari 20 dB. Perbedaan antara angka-angka ini dan nilai standar yang ada perlu dikurangi. Pengurangan nilai C80 setelah itu terjadi pada nilai puncak B dengan ±10,00 dB. Nilai minimum yang dicatat oleh A, B, dan D menunjukkan variasi yang minimal. Nilai C meningkat menjadi <-5,00 dB.



a) *Sound system* dan material eksisting

b) Rekomendasi *sound system* dan material eksisting

c) *Sound system* eksisting dan material akustik

d) Rekomendasi *sound system* dan material akustik

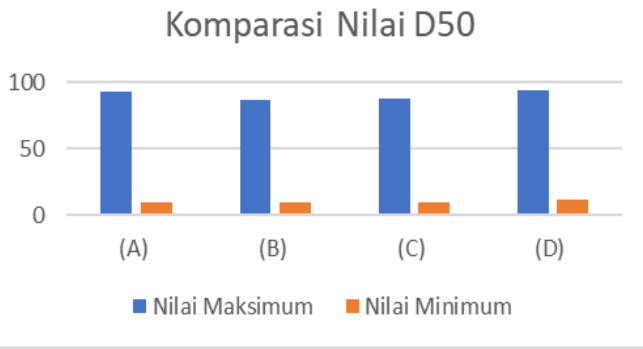
Gambar 39. Perbandingan simulasi ***Clarity 80*** (C80)
Sumber: Febriana & Ola, 2023

Perbandingan kedua pada Gambar 39 memerlukan evaluasi empat gambar simulasi untuk memastikan area cakupan sumber suara. Area cakupan pada A dan C terbatas pada sumber suara, sehingga menghasilkan kualitas yang tidak konsisten karena penempatannya hanya di beberapa lokasi. A dan C menunjukkan perbedaan nilai yang signifikan yang disebabkan oleh peningkatan bahan akustik yang digunakan dalam simulasi C. Pada B dan D, area yang dihasilkan hampir tersebar secara seragam karena sistem suara diposisikan pada titik yang sama satu sama lain. Perbedaan antara nilai B dan D tidak memadai relatif terhadap distribusi area yang sesuai.

g. Studi Komparasi *Definition 50* (D50)

Parameter D50 adalah faktor dalam membandingkan kualitas akustik gereja. Kejelasan kata-kata kalimat yang diucapkan diukur dengan menggunakan parameter D50. Untuk mengevaluasi kualitas fungsi suara di dalam gereja, parameter ini merupakan ukuran

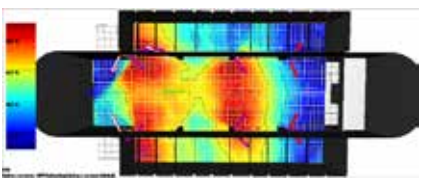
standar. Perbandingan langsung dilakukan antara empat simulasi yang telah dilakukan. Untuk mencapai kualitas yang baik, nilai standar D50 yang direkomendasikan adalah 60%.



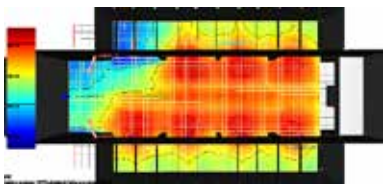
Grafik 4. Perbandingan ***Definition 50*** (D50)
Sumber: Febriana & Ola, 2023

Keterangan:
(A) *Sound System* dan Material Eksisting
(B) Rekomendasi *Sound System* dan Material Eksisting
(C) *Sound System* Eksisting dan Rekomendasi Material Akustik
(D) Rekomendasi *Sound System* dan Rekomendasi material Akustik

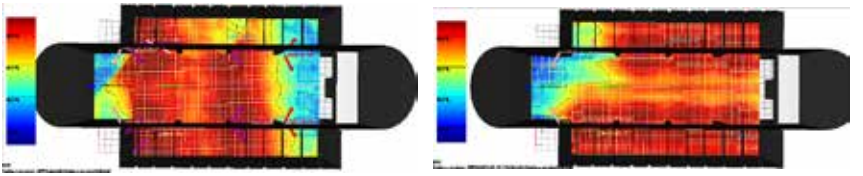
Grafik 4 menunjukkan nilai maksimum dan minimum dari empat opsi simulasi. Tidak banyak perubahan pada nilai minimum dan maksimum secara keseluruhan. Semua opsi memiliki nilai maksimum yang melebihi 80%, yang berarti sudah di atas standar yang direkomendasikan untuk fungsi gereja. Rata-rata 10% adalah nilai minimum. Untuk menentukan nilai ini secara akurat, kita harus memeriksa area penyebaran sumber suara pada gambar hasil simulasi.



a) Sound system dan material eksisting



b) Rekomendasi *sound system* dan material eksisting



c) *Sound system* eksisting dan material akustik

d) Rekomendasi s*ound system* dan material akustik

Gambar 40. Perbandingan ***Definition 50*** (D50)
Sumber: Febriana & Ola, 2023

Gambar 40 mengilustrasikan bahwa area cakupan sumber suara terbatas pada area depan dan tengah ketika membandingkan simulasi A dan C. Sumber suara di area belakang, meskipun menerima suara pantulan yang signifikan, memiliki nilai D50 yang rendah, yang menyebabkan persepsi pendengaran yang tidak teratur dan tidak jelas bagi pendengar. Output yang dihasilkan oleh C melampaui output A karena pemanfaatan bahan akustik. Simulasi B dan D menunjukkan cakupan sumber suara yang terdistribusi secara seragam di seluruh penonton, memastikan kejernihan yang konsisten di semua lokasi tempat duduk. Kualitas yang dihasilkan oleh B lebih rendah daripada D, disebabkan oleh bahan akustik yang digunakan di D.

h. Kesimpulan

Gereja Santo Yosep Bintaran merupakan bangunan cagar budaya yang masih beroperasi dan dilestarikan. Peningkatan akustik diperlukan untuk mengoptimalkan kapasitas karena meningkatnya jumlah umat. Pengaturan suara yang dioptimalkan dan peningkatan pada material akustik dapat menghasilkan kemajuan akustik. Peningkatan material akustik tidak boleh mengubah tampilan fisik bangunan lebih dari 20%, untuk memastikan konsistensi dengan material yang ada dan estetika asli dari struktur warisan.

Kualitas akustik dapat ditingkatkan dengan melaksanakan perbaikan yang disarankan. Gereja Bintaran membutuhkan

kemampuan untuk berbicara dan bermusik; oleh karena itu, modifikasi pada kualitas akustik di area tersebut telah diimplementasikan. Nilai RT60 yang optimal, sesuai dengan standar yang disetujui, adalah 1,5 detik. Tingkat tekanan suara yang disarankan untuk gereja adalah 85,00, namun lebih sesuai untuk akustik internal. Kualitas musik dinilai dengan menggunakan nilai C80, yang menunjukkan distribusi yang lebih seragam di antara para peserta dan berada di bawah 10,00 dB. Nilai parameter D50 adalah 80%, tetapi nilai rata-rata untuk kualitas D50 yang memuaskan adalah 60%.

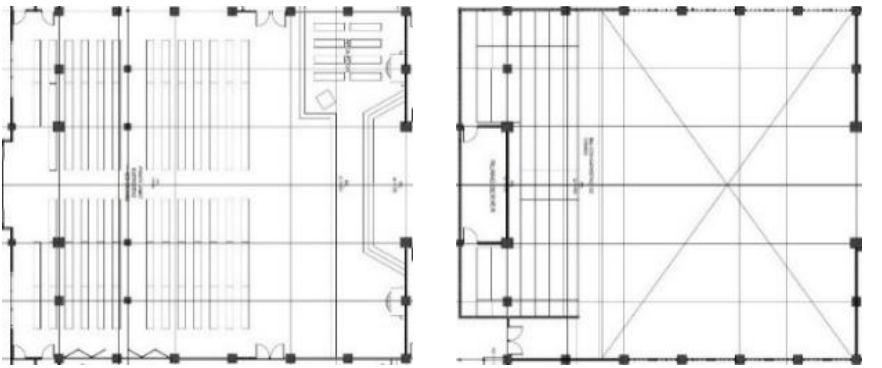
Semua rekomendasi yang disimulasikan dapat diurutkan dari yang paling unggul hingga yang paling rendah. Nilai kualitas dan parameter yang dihasilkan menentukan urutan rekomendasi. Perbandingan simulasi dan parameter juga digunakan untuk mendapatkan hasil ini. Urutan yang direkomendasikan untuk rekomendasi sistem suara dan rekomendasi material akustik adalah (D) Rekomendasi Sistem Suara dan Rekomendasi Material Akustik, (B) Rekomendasi Sistem Suara dan Material Eksisting, dan (C) Rekomendasi Sistem Suara dan Material Akustik Eksisting.

3. Perencanaan *Sound System* (Studi Kasus Gereja St. Pius X Karanganyar)

Gereja paroki St. Pius X Karanganyar adalah bangunan baru dengan luasan sekitar 1.000 m2 dan volume ruang sekitar 8.000 m3. Dalam proses perencanaan akustik dimulai dengan perbaikan kualitas akustik ruang sebelum masuk ke perencanaan titik *loudspeaker* (selanjutnya disingkat LS). Perencanaan titik peletakan menggunakan LS yang ada pada bangunan lama, yaitu; 6 unit LS twoway 12 inch dan 2 unit LS twoway 8 inch. Perencana memberikan dua opsi peletakan untuk kemudian dapat dipilih sesuai kebutuhan dan ketersediaan biaya.

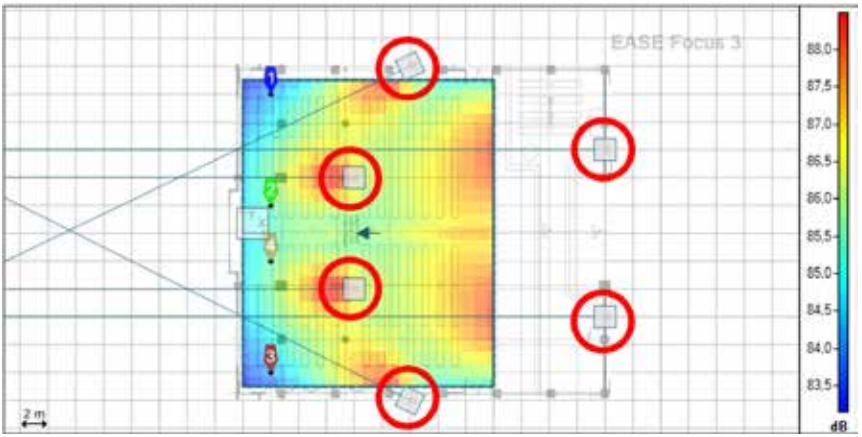
Pada ruangan ini digunakan beberapa standar acuan untuk menilai apakah kualitas bunyi yang sampai pada audian sudah baik:

- Maksimum SPL: 94 dB
- Minimum SPL: 15 dB lebih tinggi dari kebisingan latar belakang. Karena bangunan berada di tepi jalan raya maka asumsi kebisingan latar belakang sebesar 70 dB, maka minimum SPL adalah 85 dB
- Selisih antara satu titik dengan yang lain sebesar max 3 dB (khususnya untuk frekuensi tengah dan atas - 250 Hz keatas)
- Selisih antara nilai SPL minimum dan maksimum sebesar max. 6 dB [3]
- Bunyi merata di semua bagian umat.



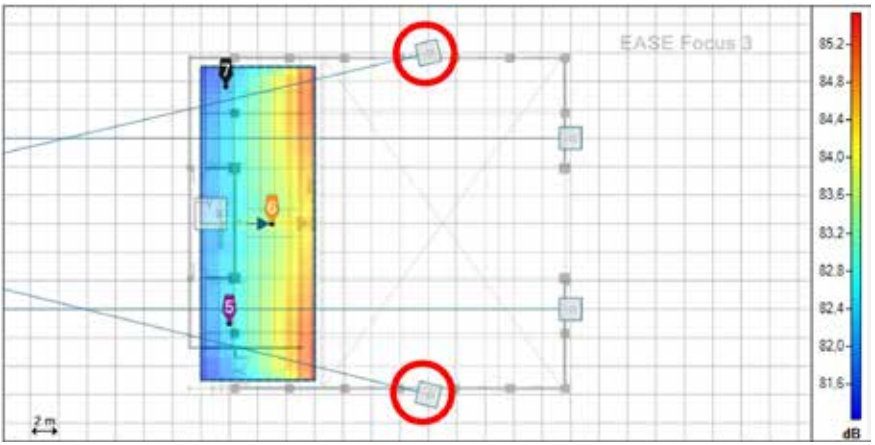
Gambar 41. Denah lantai 1 (kiri) dan balkon (kanan) gereja St. Pius X Karanganyar
Sumber: Penulis, 2024

Pada rekomendasi pertama dirancang dengan tatanan; 2 unit LS 12 inch ditempatkan pada bagian depan sebagai LS utama, 2 unit LS 12 inchi ditempatkan di bagian samping sebagai penguat untuk area belakang juga 2 unit LS 8 inch juga sebagai penguat untuk area belakang (Gambar 42). Sedangkan untuk area balkon menggunakan 2 unit LS 12 inch (Gambar 43).



Gambar 42. Peletakan *loudspeaker* dan hasil sebaran bunyi opsi 1, pada lantai 1 gereja St. Pius X Karanganyar

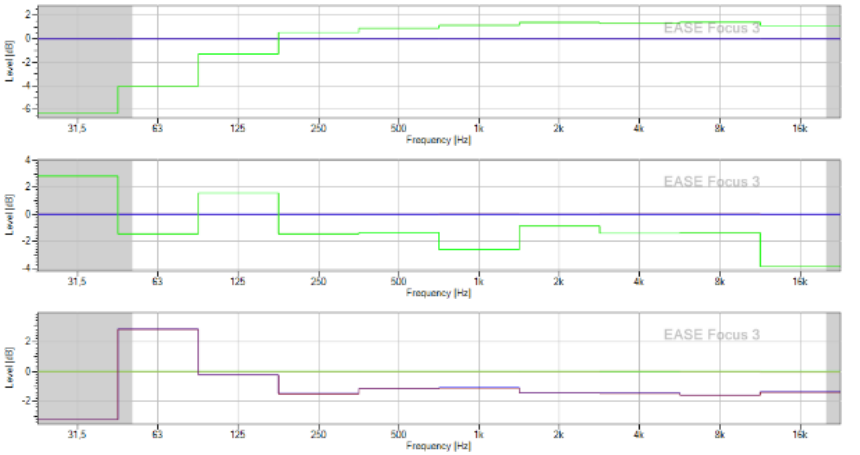
Sumber: Penulis, 2024



Gambar 43. Peletakan ***loudspeaker*** dan hasil sebaran bunyi opsi 1, pada lantai balkon gereja St. Pius X Karanganyar

Sumber: Penulis, 2024

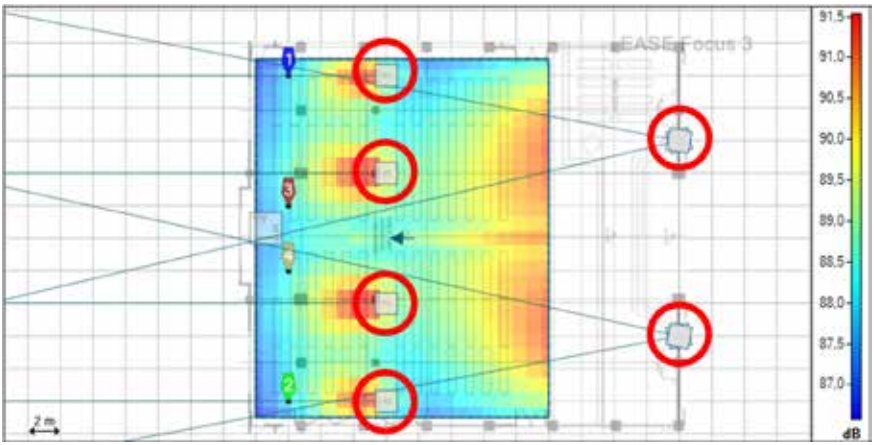
Hasil menunjukkan hanya area umat bagian pojok belakang yang masih memiliki nilai SPL minimum di bawah 85 dB, nilai SPL tertinggi diangka 88 dB dimana memiliki selisih sebesar 6 dB dengan SPL tertinggi di area umat bawah. Hal ini telah sesuai dengan nilai rujukan di atas. Pada frekuensi respon titik-titik amatan menunjukkan selisih lebih dari 3 dB hanya terjadi pada bunyi 16 kH pada audian di area tengah ruangan.



Gambar 44. Frekuensi respons opsi 1

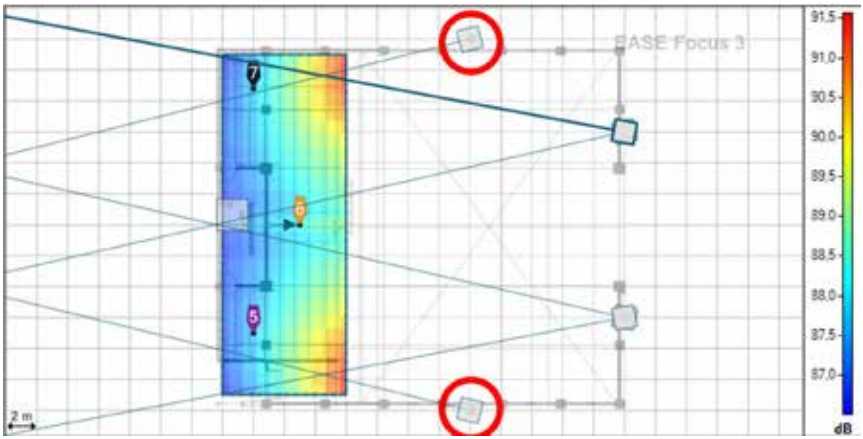
Sumber: Penulis, 2024

Pada rekomendasi kedua dirancang dengan tatanan; 4 unit LS 12 inch ditempatkan pada bagian depan sebagai LS utama, 2 unit LS 8 inch lama ditempatkan di bagian belakang sebagai penguat untuk area belakang (Gambar 45) dan 2 LS tambahan (baru) juga untuk penguat area belakang. Sedangkan untuk area balkon menggunakan 2 unit LS 12 inch (Gambar 46). Hasil menunjukkan bunyi lebih merata dibandingkan dengan opsi 1, dengan SPL minimum sebesar 87 dB, sudah disatas rekomendasi SPL minimum (Gambar 47). Selain itu juga selisih antara SPL minimum dan maksimum hanya sebesar 4 dB, jauh lebih baik dibandingkan dengan opsi 1. Selain itu tidak terdapat perbedaan SPL antara area umat lantai dasar dengan lantai balkon. Berbeda dengan opsi 1 dimana terdapat perbedaan SPL antara umat lantai dasar dengan lantai balkon. Pada hasil amatan frekuensi respon juga menunjukkan hasil yang jauh lebih baik dan merata. Nilai selisih maksimum antar titik amatan hanya sebesar kurang dari 2 dB. Hal ini menunjukkan bahwa opsi 2 jauh lebih direkomendasikan untuk diimplementasikan dibandingkan dengan opsi 1.



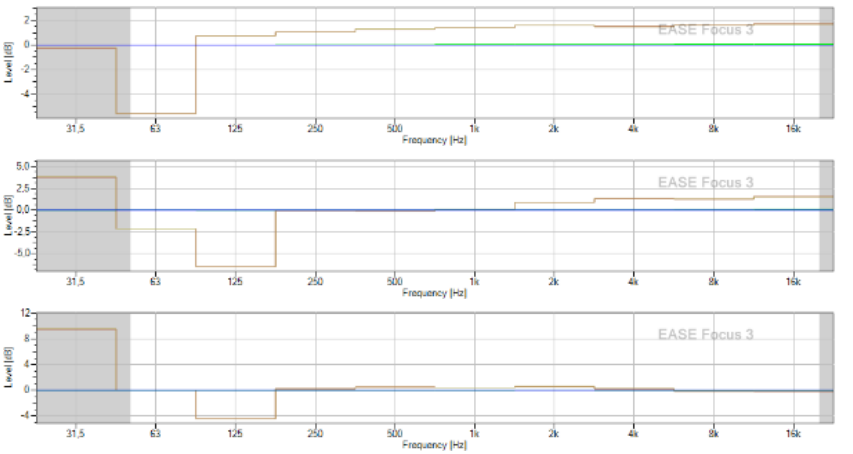
Gambar 45. Peletakan ***loudspeaker*** dan hasil sebaran bunyi opsi 2, pada lantai 1 gereja St. Pius X Karanganyar

Sumber: Penulis, 2024



Gambar 46. Peletakan ***loudspeaker*** dan hasil sebaran bunyi opsi 2, pada lantai balkon gereja St. Pius X Karanganyar

Sumber: Penulis, 2024

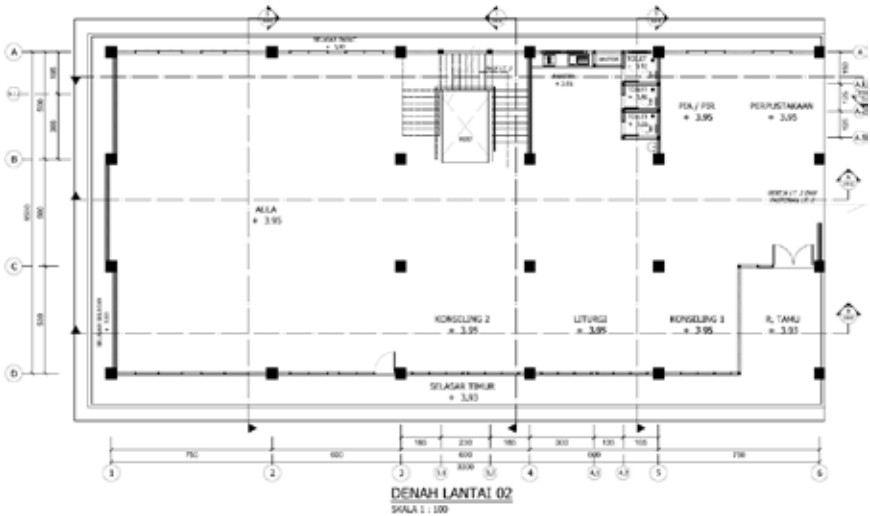


Gambar 47. Frekuensi respons opsi 2
Sumber: Penulis, 2024

4. Perencanaan Sound System (Studi Kasus Aula St. Pius X Karanganyar)

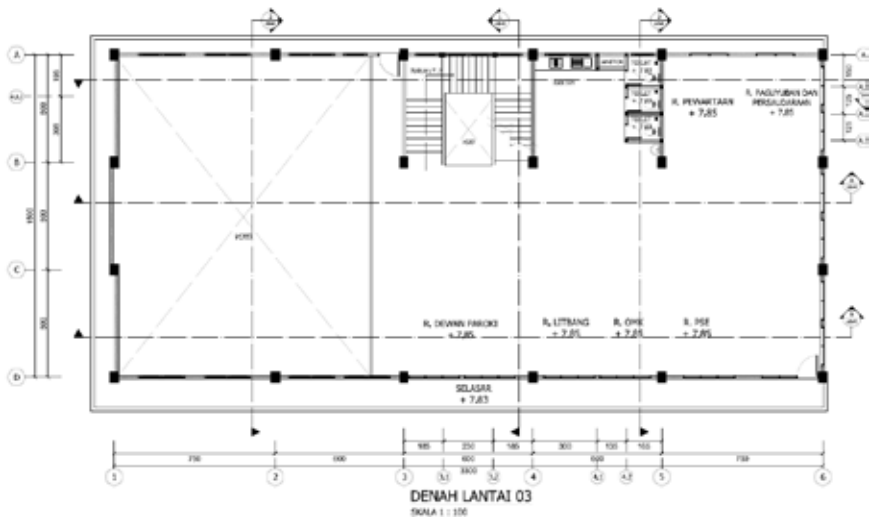
Aula paroki St. Pius X Karanganyar difungsikan sementara untuk kegiatan peribadatan karena bangunan gereja sedang dibangun ulang. Ruangan ini terdapat di lantai 2 dan 3 bangunan. Ruangan ini menggunakan *void* untuk menggabungkan area lantai 2 dan 3. Sayangnya meskipun telah menggunakan *void*, penggunaan ruang yang duduk di lantai 3 bagian belakang tidak dapat melihat langsung aktivitas pada area altar. Ruangan memiliki desain yang tidak simetris sehingga penataan posisi LS menjadi sulit, begitu juga dengan kendala jumlah *loudspeaker* yang tidak mencukupi.

Pihak gereja hanya memiliki 6 unit LS twoway 12 inch dan 2 unit LS twoway 8 inch. Pada kondisi eksisting LS diletakan 2 unit di depan lantai 2, dua unit di sisi kanan pada lantai 2, dua unit disisi kanan lantai 3 dan satu unit di sisi kiri lantai 3 belakang.



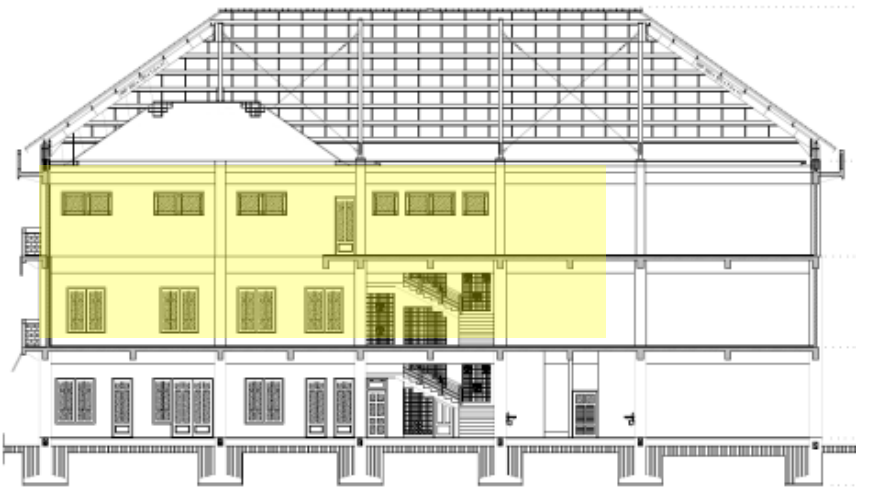
Gambar 48. Denah lantai 2 Aula Paroki St. Pius X Karanganyar

Sumber: Penulis, 2024



Gambar 49. Denah lantai 3 Aula Paroki St. Pius X Karanganyar

Sumber: Penulis, 2024

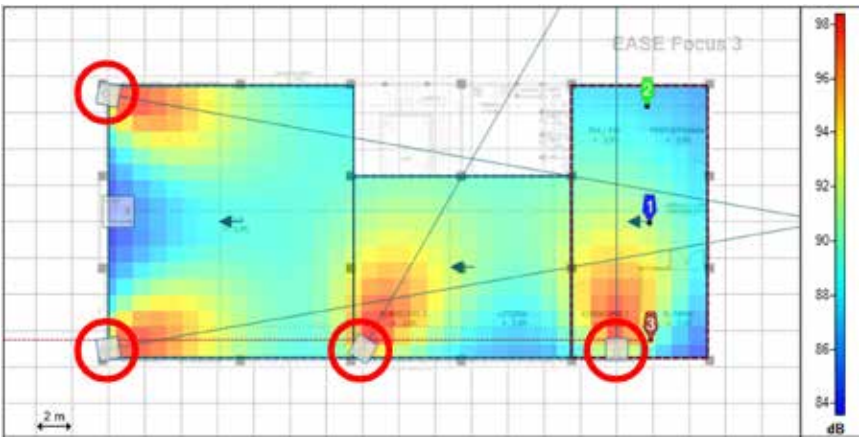


Gambar 50. Potongan memanjang bangunan Aula St. Pius X Karanganyar (warna kuning = area Aula)

Sumber: Penulis, 2024

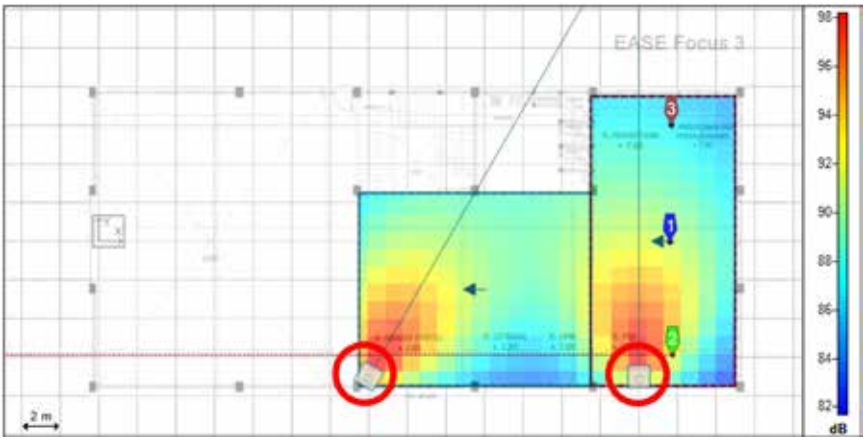
Pada ruangan ini digunakan beberapa standar acuan untuk menilai apakah kualitas bunyi yang sampai pada audian sudah baik:

- Maksimum SPL: 94 dB
- Minimum SPL: 15 dB lebih tinggi dari kebisingan latar belakang. Karena bangunan berada di tepi jalan raya maka asumsi kebisingan latar belakang sebesar 70 dB, maka minimum SPL adalah 85 dB
- Selisih antara satu titik dengan yang lain sebesar max 3 dB (khususnya untuk frekuensi tengah dan atas - 250 Hz keatas)
- Selisih antara nilai SPL minimum dan maksimum sebesar max. 6 dB [3]
- Bunyi merata di semua bagian umat.



Gambar 51. Peletakan loudspeaker dan hasil sebaran bunyi eksisting pada lantai 2 Aula Paroki St. Pius X Karanganyar.

Sumber: Penulis, 2024



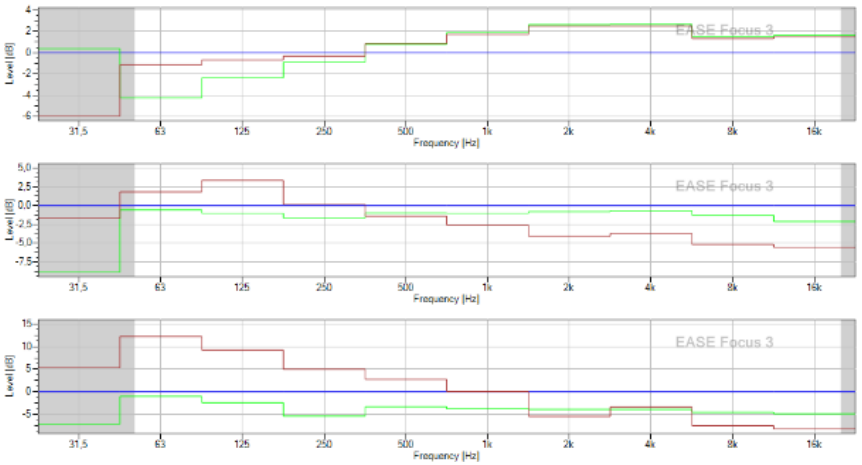
Gambar 52. Peletakan *loudspeaker* dan hasil sebaran bunyi eksisting pada lantai 3 Aula Paroki St. Pius X Karanganyar.

Sumber: Penulis, 2024

Pada penataan kondisi eksisting hasil simulasi menunjukkan nilai SPL tertinggi adalah 98 dB dan minimum 82 dB. Selisih antara SPL tertinggi dan terendah sebesar 16 dB. Secara grafis terlihat jika bunyi yang terjadi merata, namun yang menjadi permasalahan adalah bunyi datang tidak dari depan sama dengan arah visual pendengar khususnya untuk pendengar pada bagian tengah dan belakang. Kondisi ini secara psikologis membingungkan, karena

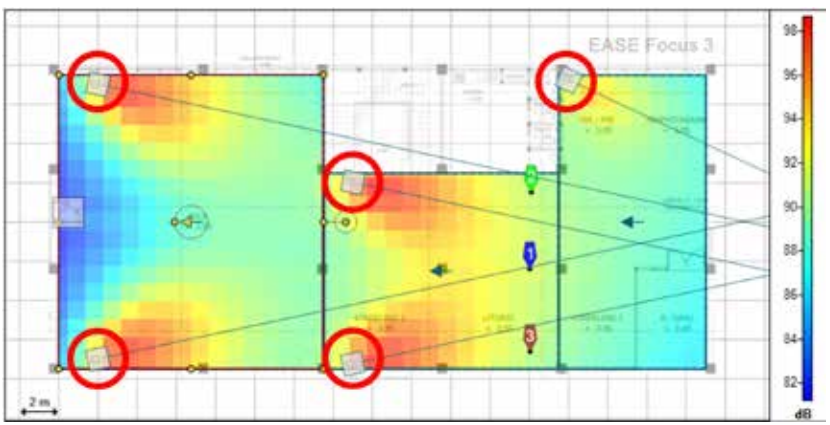
otak harus memproses satu kesatuan informasi namun dari stimulus yang datang dari arah berbeda. Bunyi yang datang dari samping juga mengakibatkan telinga memproses bunyi berat sebelah karena telinga kiri menerima bunyi lebih keras daripada telinga kanan.

Frekuensi respons pada kondisi eksisting menunjukkan perbedaan SPL yang tinggi antara satu titik pengamatan dengan titik yang lain. Perbedaan lebih besar dari 3 dB terjadi pada frekuensi bass dan frekuensi 1000 Hz ke atas. Kondisi ini akan mengakibatkan perbedaan kualitas yang terasa pada telinga audian.



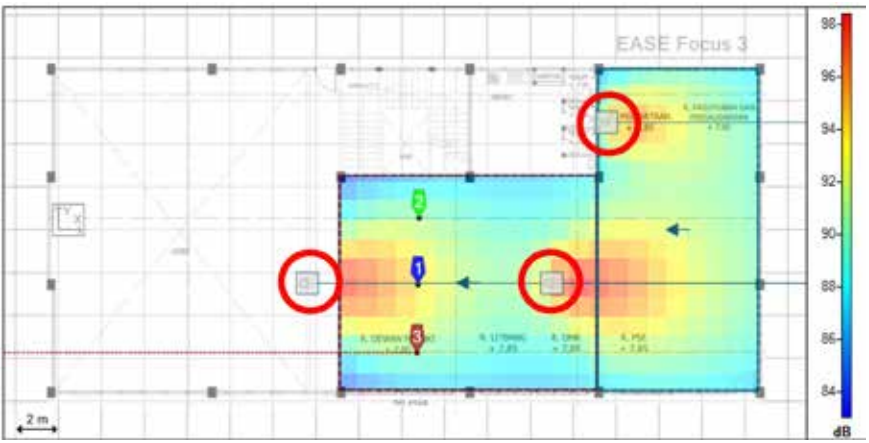
Gambar 53. Frekuensi respons kondisi eksisting

Sumber: Penulis, 2024



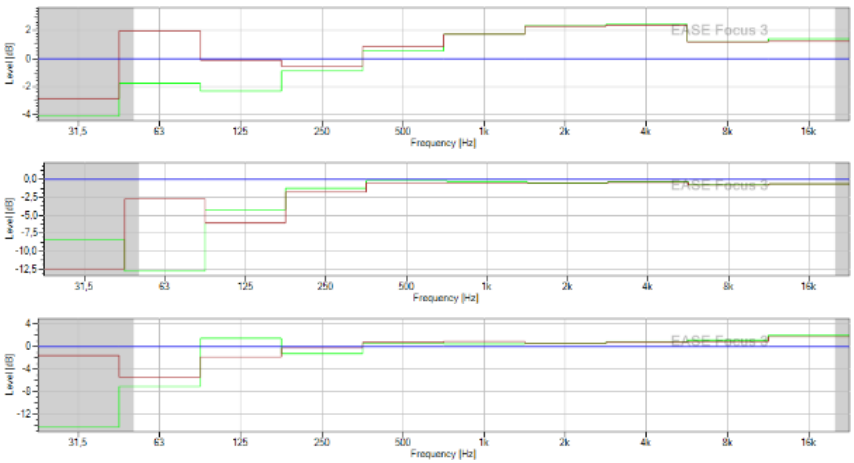
Gambar 54. Peletakan *loudspeaker* dan hasil sebaran bunyi perbaikan pada lantai 2 Aula Paroki St. Pius X Karanganyar.

Sumber: Penulis, 2024



Gambar 55. Peletakan *loudspeaker* dan hasil sebaran bunyi perbaikan pada lantai 3 Aula Paroki St. Pius X Karanganyar.

Sumber: Penulis, 2024



Gambar 56. Frekuensi respons kondisi perbaikan

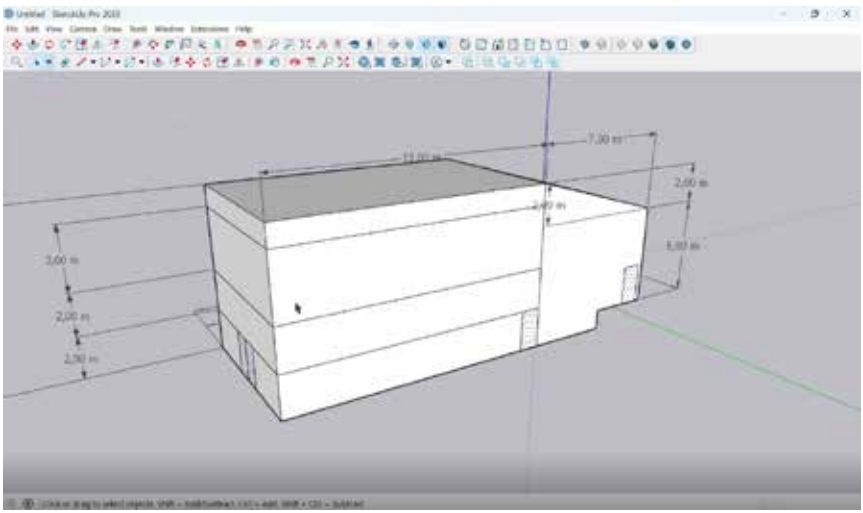
Sumber: Penulis, 2024

Tutorial
Penggunaan Software Simulasi

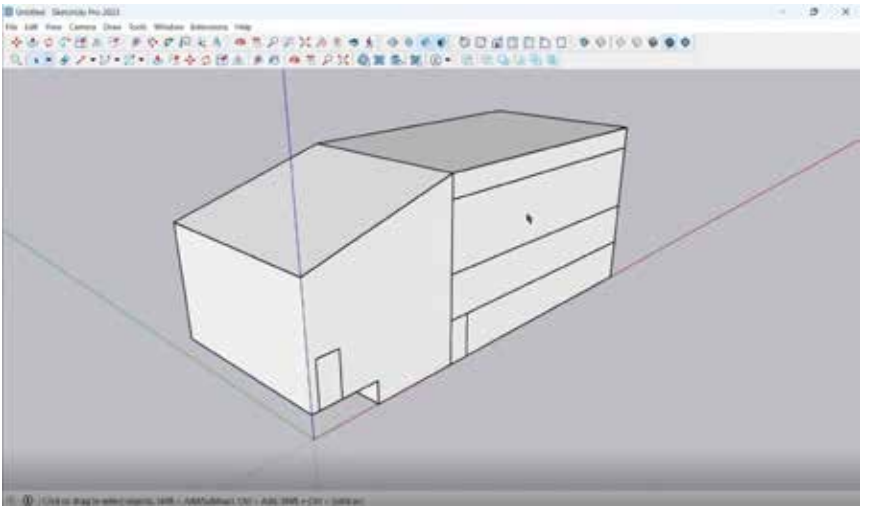
1. Simulasi Perbaikan Akustik Ruang dengan I-SIMPA

a. Persiapan Modeling pada SketchUp dan I-SIMPA

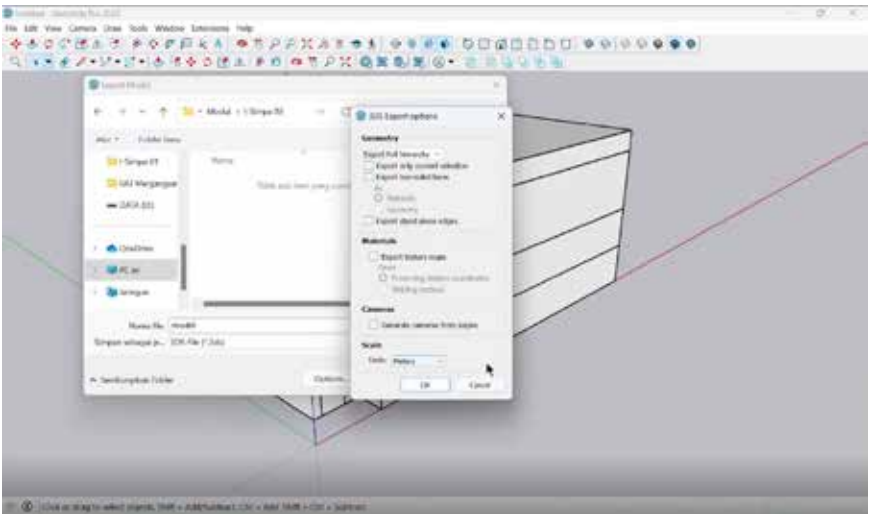
Sebelum meng-*import* modeling ke dalam Software I-SIMPA, persiapkan modeling dengan setiap surface yang materialnya sama, di-*grouping* terlebih dahulu di SketchUp (prinsip modeling sama seperti di Modul I-SIMPA Kebisingan)



Seleksi surface yang memiliki material yang sama



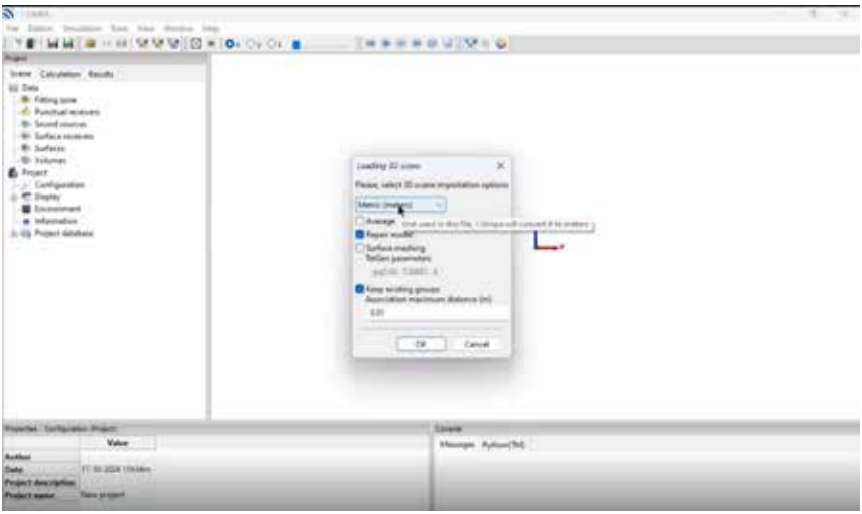
Setelah semua surface telah ter-*grouping* dengan jenis material yang sama, pastikan setiap sisi luar surface bewarna putih dan surface abu-abu menghadap ke sisi dalam



Lakukan export model ke file 3ds:

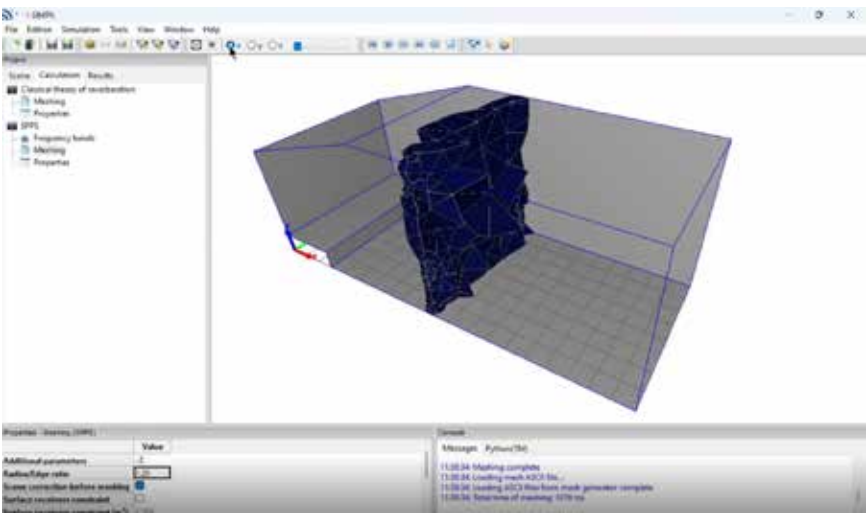
- Klik “File” > “Export” > “3D Model”
- Pastikan Geometry Export adalah “Full Hierarchy”
- Pastikan unit dalam satuan “meter”
- Klik “Ok”

Setelah modeling ter-*export* dari SketchUp, buka software I-SIMPA, klik "File" > "Import New Scene" > pilih modeling yang digunakan.



Pastikan unit sudah dalam "meters", "Repair model" dan "Keep existing groups" tercentang

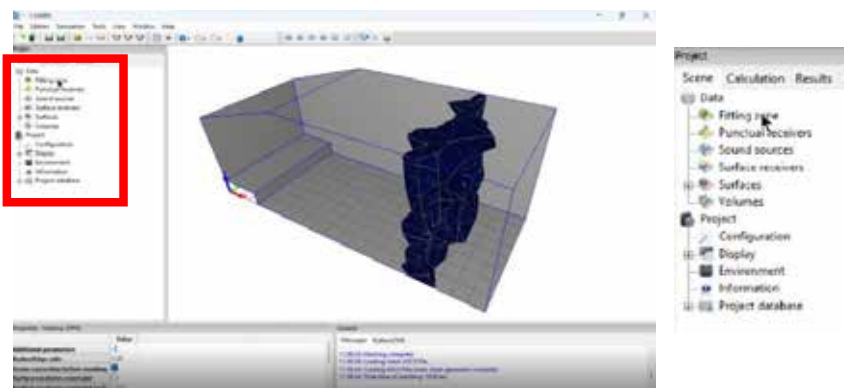
b. Pengaturan Model pada I-SIMPA



Sebelum ke tahap simulasi, pastikan grid pada model bisa dibuat atau tidak untuk melihat error pada model. Mengecek grid pada model:

- Klik “Calculation” > “SPSS” > “Meshing” pada window sebelah kiri
- Pada “Properties-Meshing (SPPS)” pada window kiri bawah, ubah “Radius/Edge Ratio” menjadi 1.2
- Klik icon “Meshing” pada ToolBar
- Klik “SPPS” pada pop-up window Display Mesh

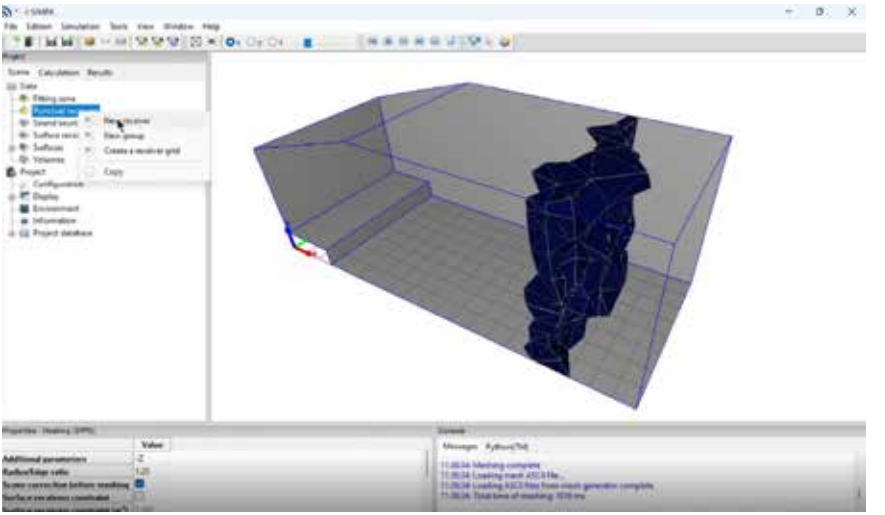
Untuk tahap simulasi akustik ruang ada hal-hal yang perlu diperhatikan pada “Data” dan “Project” pada tab “Scene” di window sebelah kiri seperti: punctual receivers, sound sources, surface receivers, dan surfaces



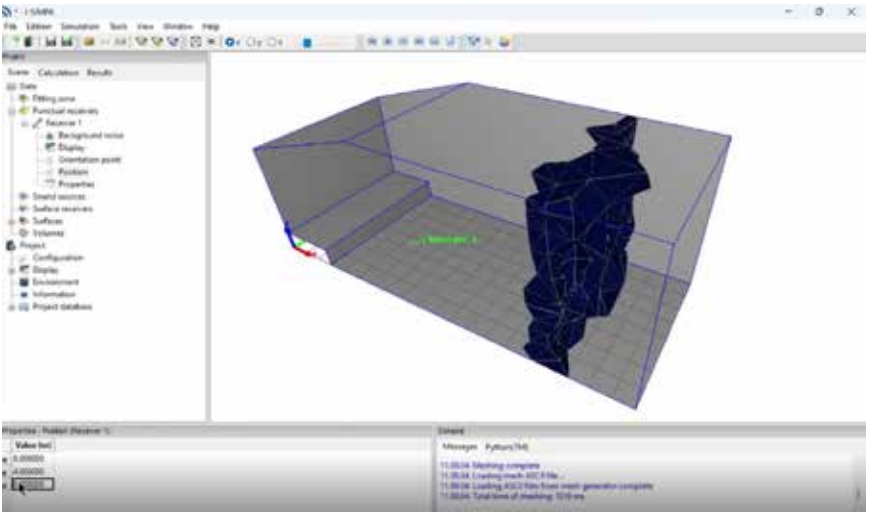
c. Pengaturan Penerima Bunyi pada I-SIMPA

Tahap ini dilakukan untuk meletakkan sensor penerima kualitas bunyi atau diasumsikan sebagai “manusia” ataupun “responden”

- Klik kanan pada “Punctual Receivers”
- New Receiver

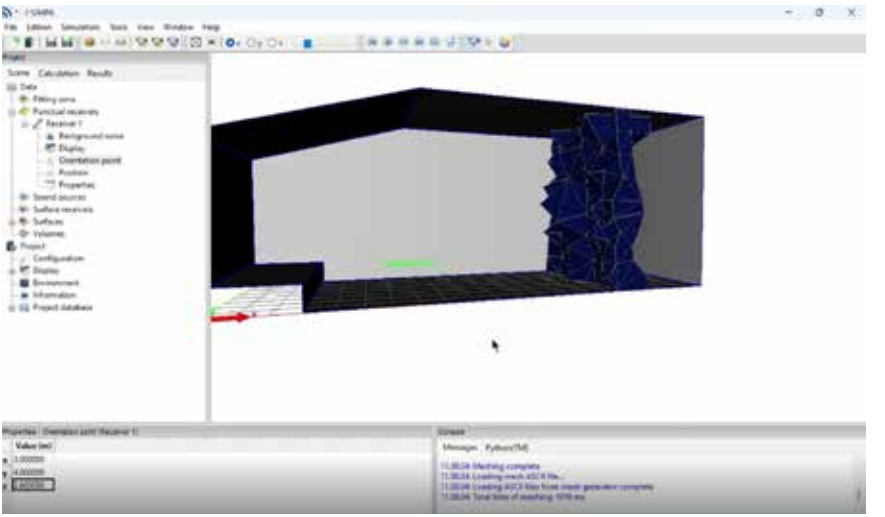


Setelah receiver terbuat akan ada muncul beberapa opsi, pada modul kali ini hanya berfokus meletakkan sensor sehingga hanya akan memakai opsi “Orientation point” yang berfungsi sebagai arah menghadap receiver ke sumber bunyi. Dan opsi “Position” sebagai titik letak sensor receiver.



Untuk meletakkan sensor yang harus dilakukan adalah mensunting titik letak sensor pada opsi “Position”. Untuk mengubah

titik letak sensor, ubah angka X, Y, dan Z pada window “Properties – Position” di kiri bawah

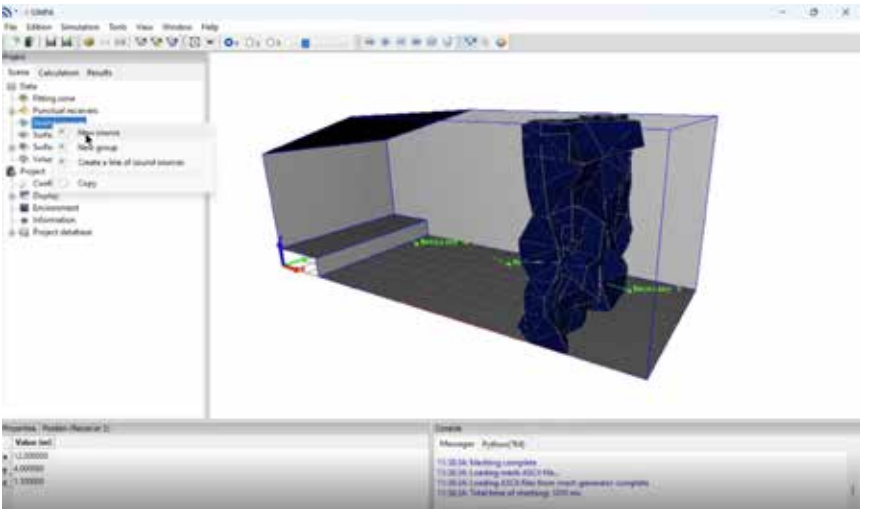


Setelah receiver terbuat, hal selanjutnya adalah mengarahkan receiver ke arah sumber bunyi dengan menggunakan opsi “Orientation Point”. Untuk mengubah arah, lakukan sama seperti mengubah “Position”

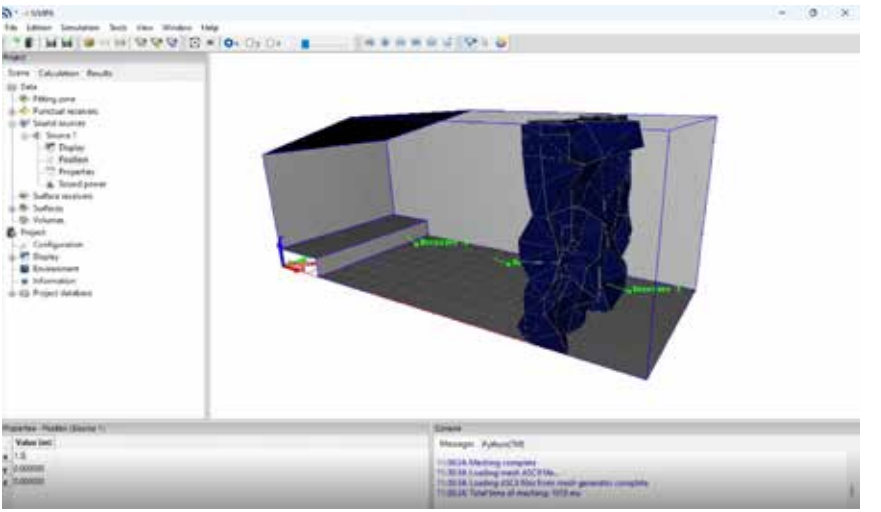
Catatan:
Receiver pada studi akustik ruang dibuat minimal ada 3 receiver (depan, tengah, dan belakang). wajib ditambahkan apabila ada receiver di area balkon!

d. Pengaturan Sumber Bunyi pada I-SIMPA

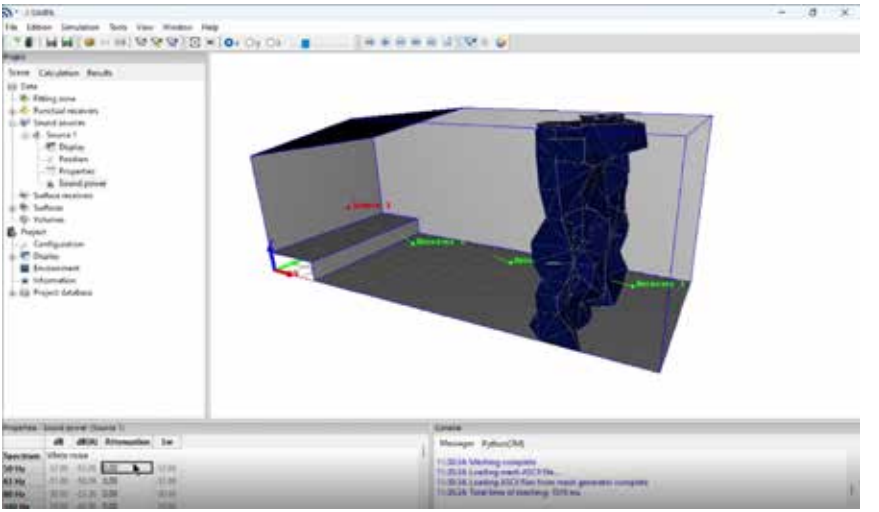
Tahap ini dilakukan untuk meletakkan sumber bunyi, sound sources pada studi akustik ruang biasanya diasumsikan sebagai sound system atau speaker.



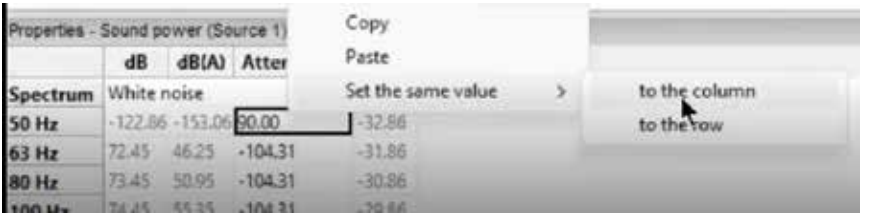
- Klik kanan pada “Sound Sources” > “New Source”



Letakkan sumber bunyi di panggung ataupun letak sound system diletakkan menggunakan opsi “Position”. Cara mengubah titik letak sumber bunyi sama seperti “Position” pada “Punctual Receivers”



Ubah power bunyi pada opsi "Sound Power" pada bagian "Properties – Sound Power". Isi angka attenuation pada setiap frekuensi disesuaikan dengan kebutuhan.



Apabila seluruh frekuensi memiliki angka attenuation yang sama, bisa lakukan dengan cara:

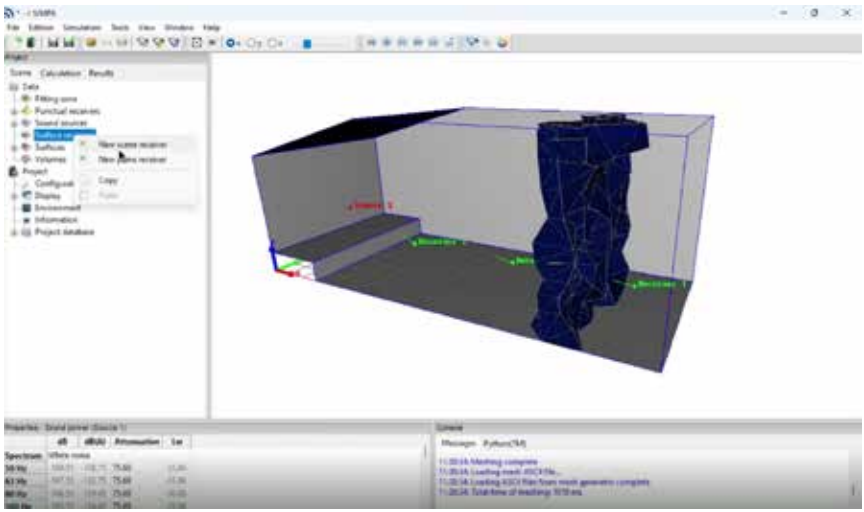
- Isi angka pada salah satu frekuensi
- Klik kanan pada angka tersebut
- Pilih "Set the same value"
- Klik "to the coloumn"

e. Meletakkan Plane dan Menerapkan Jenis Material

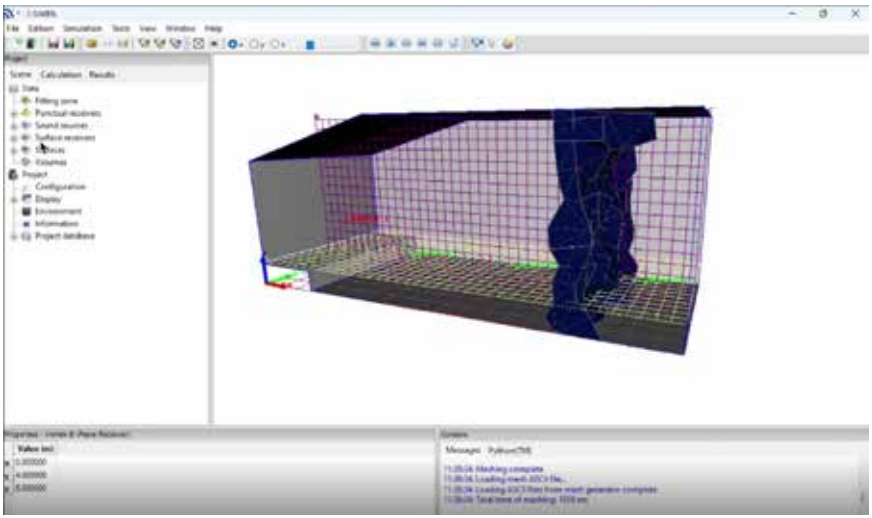
1) *Surface Receivers*

Tahap ini dilakukan untuk meletakkan plane dari receivers dalam berbentuk lapisan untuk memudahkan dalam membaca

hasil simulasi



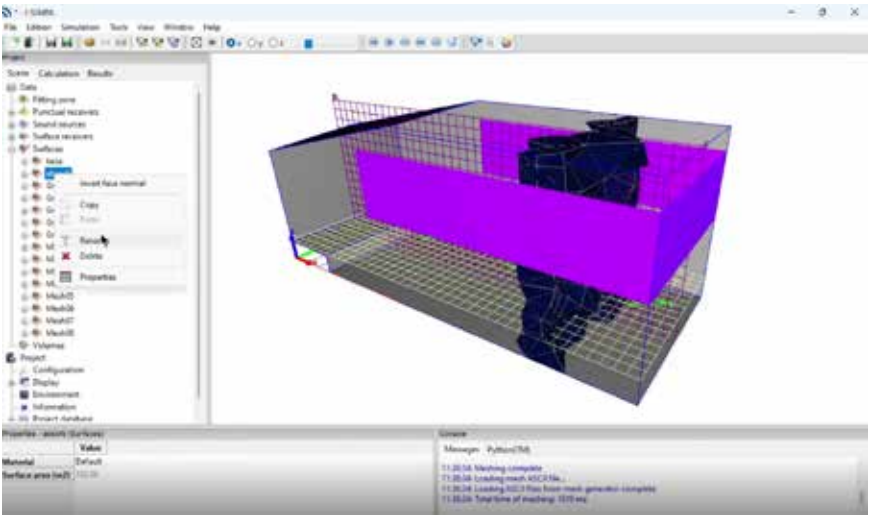
- Klik kanan pada “Surface Receivers” > “New Plane Receiver”



Buatlah plane receiver secara horizontal (setinggi receiver yang telah disunting sebelumnya) dan vertikal dengan mengubah titik opsi “Vertex A”, “Vertex B”, dan “Vertex C”

2) *Surface*

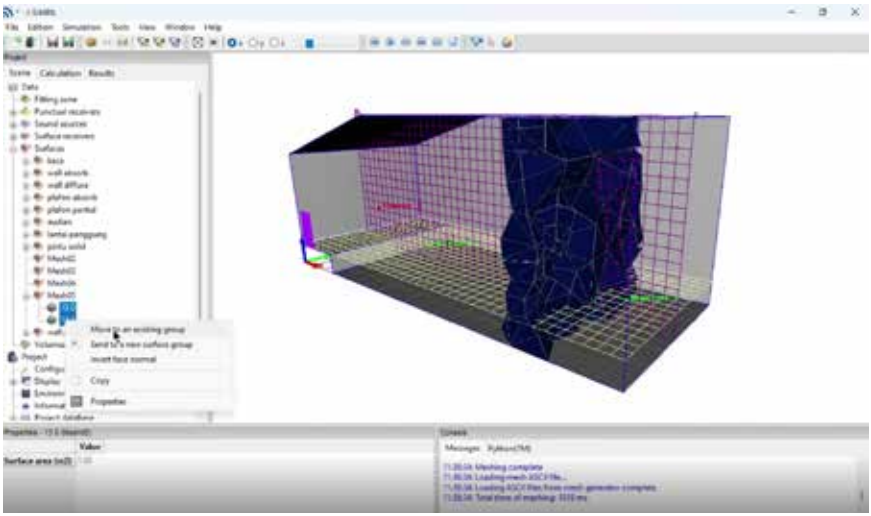
Tahap ini dilakukan untuk memberikan nilai koefisien absorb ataupun diffuse pada surface yang telah digrouping di SketchUp



Pada opsi "Surface" akan ada beberapa "mesh". "mesh" tersebut adalah surface modeling yang sudah tergrouping melalui SketchUp. Ubah nama "mesh" menjadi nama material yang ingin digunakan untuk memudahkan dalam memberikan nilai koefisien absorb ataupun diffuse.

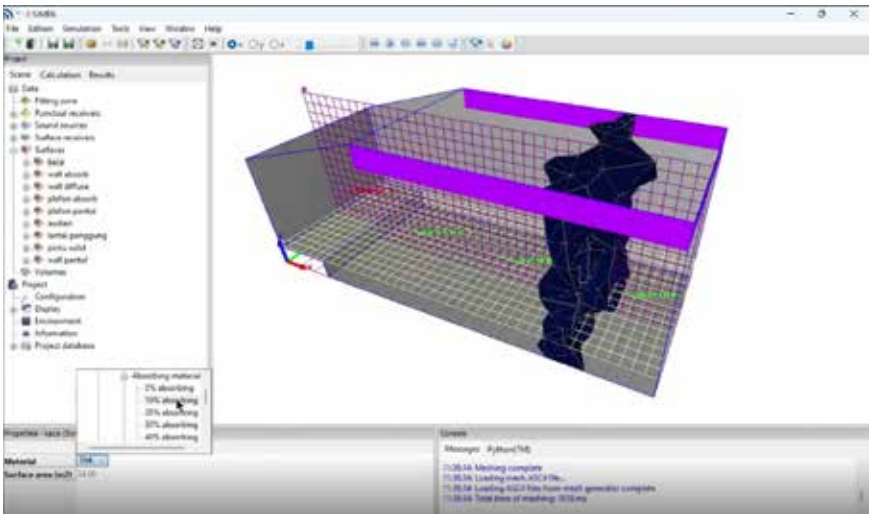
Untuk mengganti nama "mesh" menjadi nama material:

- Klik kanan pada salah satu mesh
- Klik "rename"
- Ganti menjadi nama material sesuai keinginan



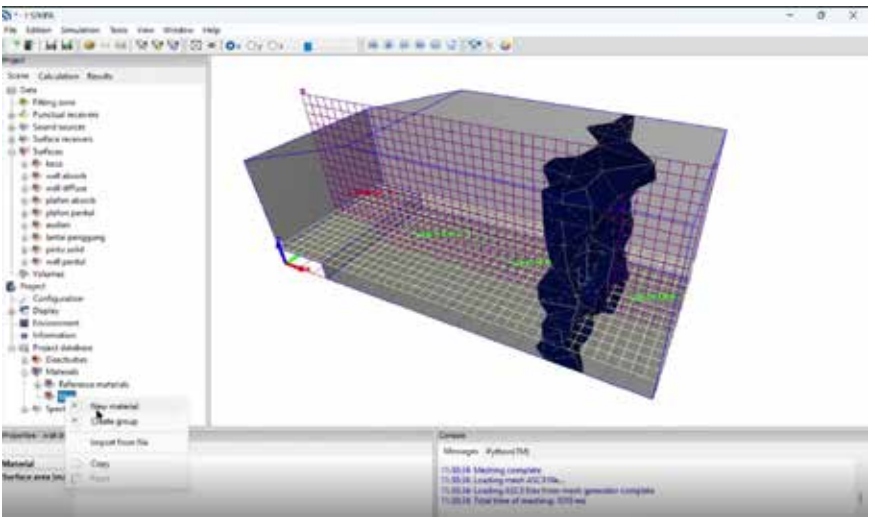
Apabila ada "mesh" yang terpisah dari grouping bisa memindahkan "mesh" tersebut dengan memindahkan ke "mesh" yang sudah ada:

- Klik "mesh" yang ingin dipindah
- Pilih bagian mesh sambil tombol shift ditekan
- Klik kanan, pilih "Move to an existing group"
- Pilih group mesh (material) yang dituju



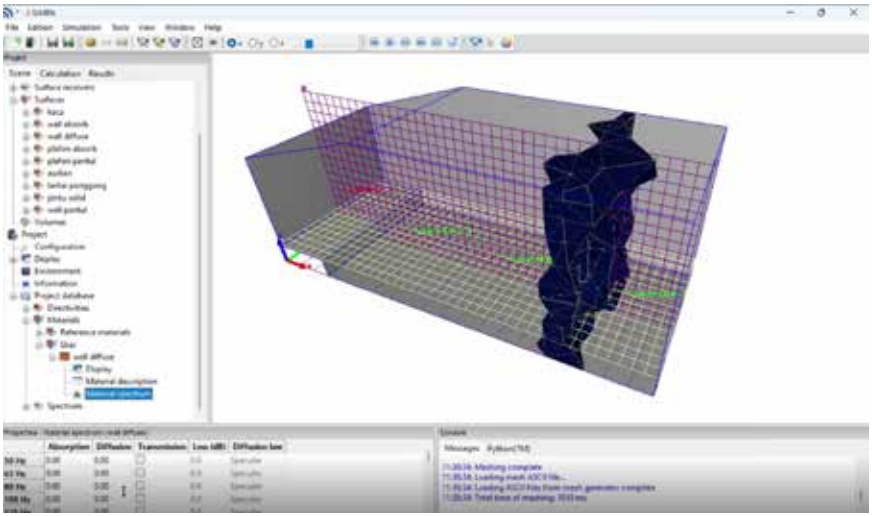
Untuk mengubah angka absorber pada setiap material bisa dilakukan dengan cara:

- Klik kanan material yang ingin diubah angka absorbernya, klik “Properties”
- Pada window “Properties”, klik “Default” pada section Material
- Ubah “Default” menjadi “Absorbing Material” Pilih angka absorber sesuai dengan jenis material



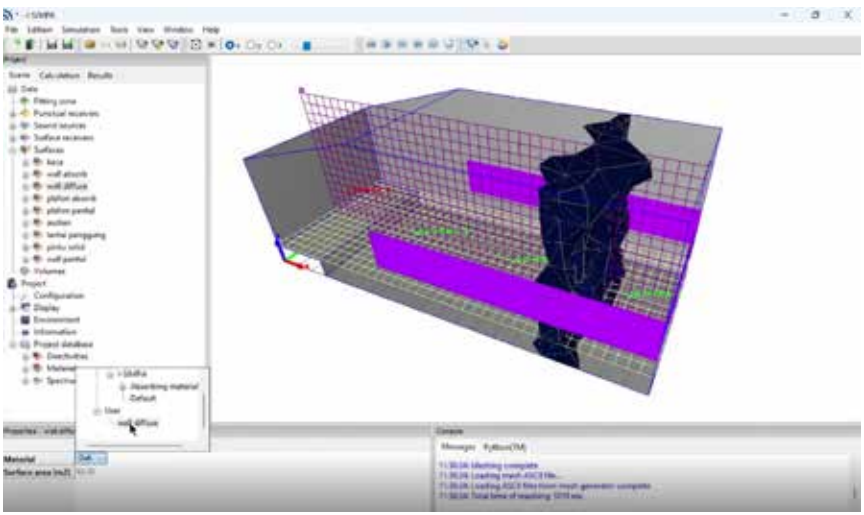
Untuk mengubah angka material yang memiliki diffuse bisa dilakukan dengan cara membuat material custom, hal pertama yang dilakukan adalah:

- Pada “Project”, pilih “Project Database”, klik “Material”
- Klik kanan pada “User”, pilih “New Material”



Setelah material diberi nama hal selanjutnya yang dilakukan adalah:

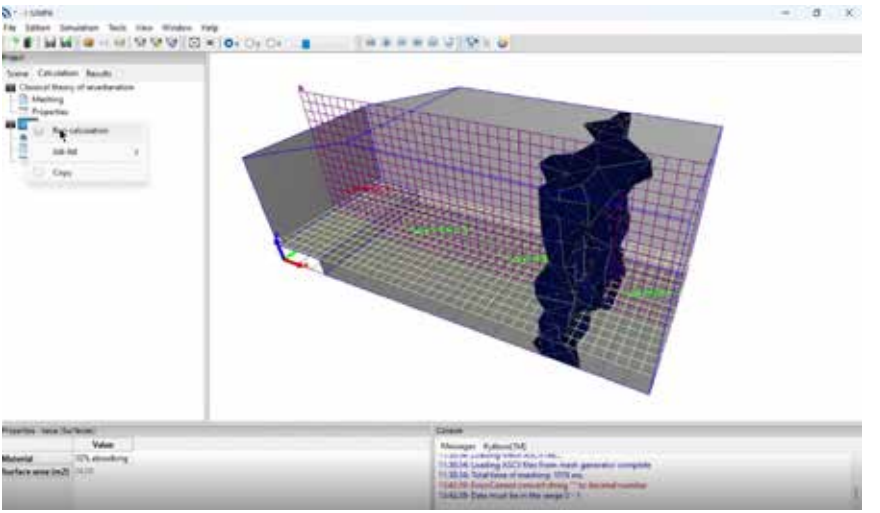
- Klik "Material Spectrum"
- Pada "Properties – Material Spectrum" anda bisa memasukkan angka absorb dan diffuse sesuai dengan material diffuse yang anda inginkan
- Angka absorb dan diffuse bisa didapatkan dari teori-teori yang sudah ada (modul, jurnal, dan sebagainya)



Setelah material custom terbuat, kembali lagi material pada "Surface" yang ingin memiliki angka transmission loss, dengan cara:

- Klik kanan material yang ingin memakai material custom, klik "Properties"
- Pada window "Properties", klik "Default" pada section Material, ubah "Default" menjadi "User", pilih material custom yang sudah dibuat

f. Menjalankan Simulasi

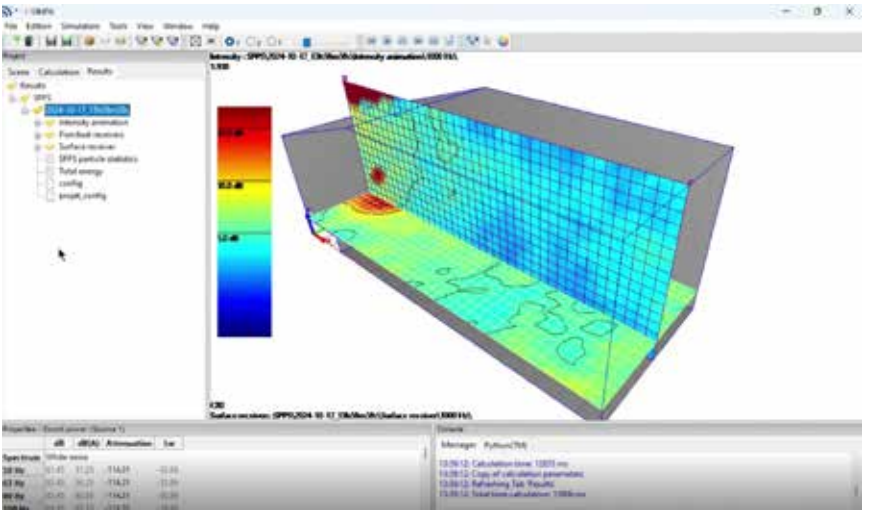


Jika sudah memasuki semua receiver, source, plan receiver, dan material bisa lakukan simulasi dengan cara:

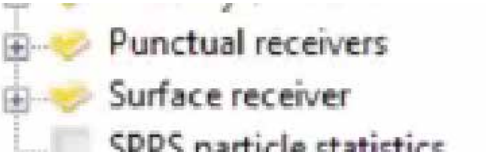
- Klik "Calculation" pada window sebelah kiri
- Klik kanan pada "SPPS", pilih "Run Calculation"

g. Membaca Hasil

Hasil dari simulasi akustik ruang menggunakan I-SIMPA dapat melihat beberapa parameter utama dari studi akustik seperti: reverberation time, clarity, definition dan EDT.



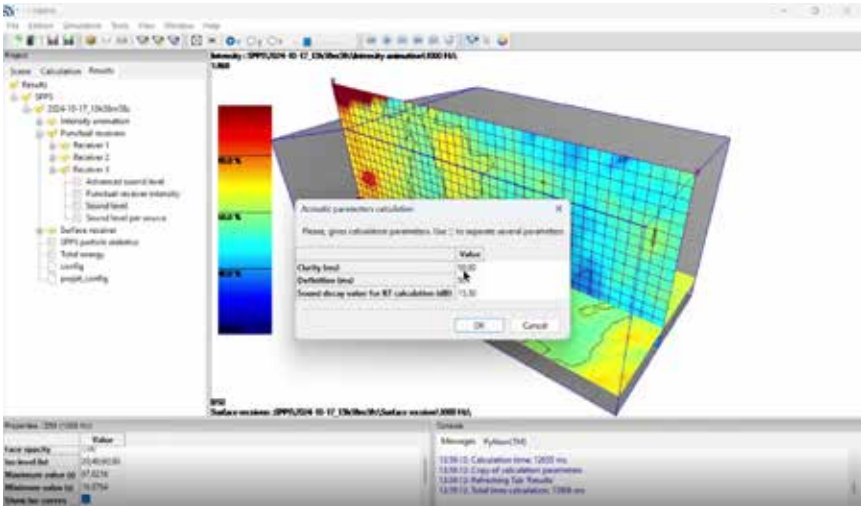
Untuk melihat hasil simulasi bisa klik “Results” pada window di sebelah kiri, klik “SPPS”



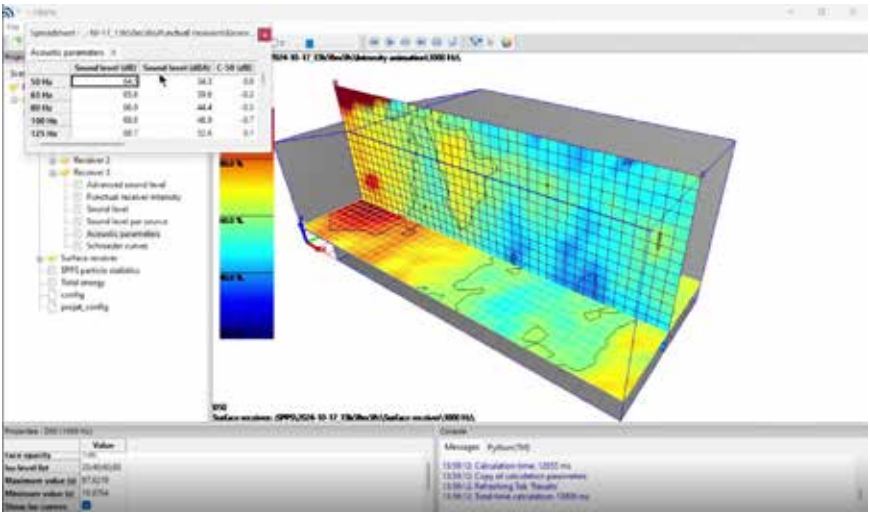
Ada terdapat dua hasil simulasi:

- Punctual receivers : Melihat simulasi secara detail dari setiap receivers yang ada
- Surface receiver : Melihat simulasi secara keseluruhan

1) *Punctual Receivers*



Klik "Punctual Receiver", pilih salah satu receiver (direkomendasikan receiver yang letaknya ada di paling belakang), klik kanan pada "Sound level", klik "Ok"

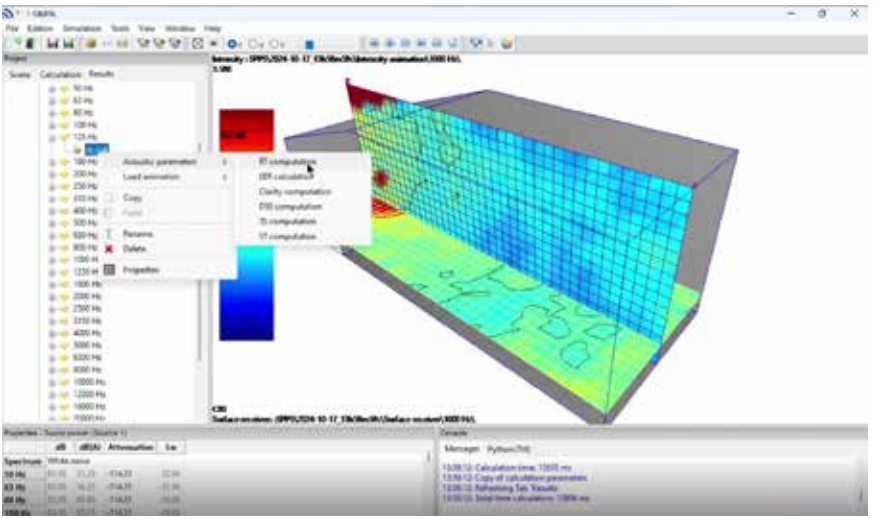


Klik "Acoustic parameter" dan hasil detail dari receiver yang dipilih akan terlihat. Hasil yang keluar adalah tabel dengan parameter sound level, C-50/80, D-50, Ts, RT15/30, EDT dan ST.

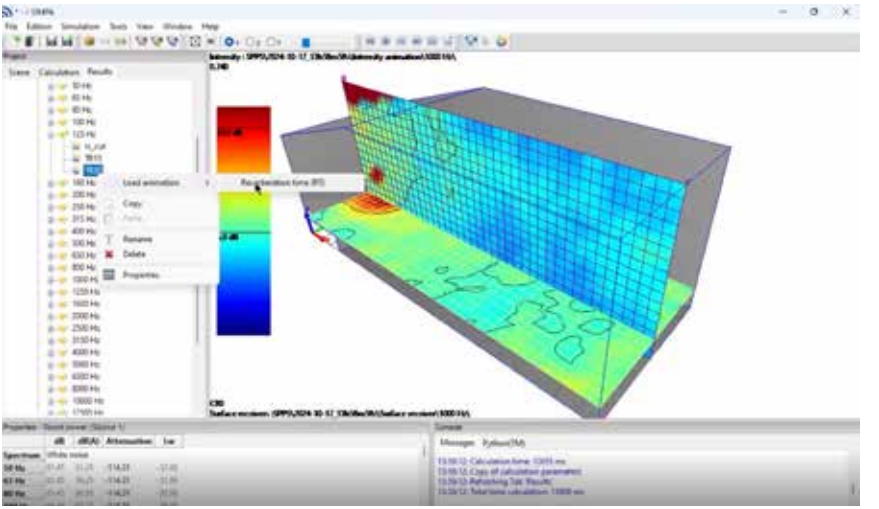
Sesuaikan hasil simulasi dengan teori untuk mengetahui kesesuaian akustik ruang

2) ***Surface Receivers***

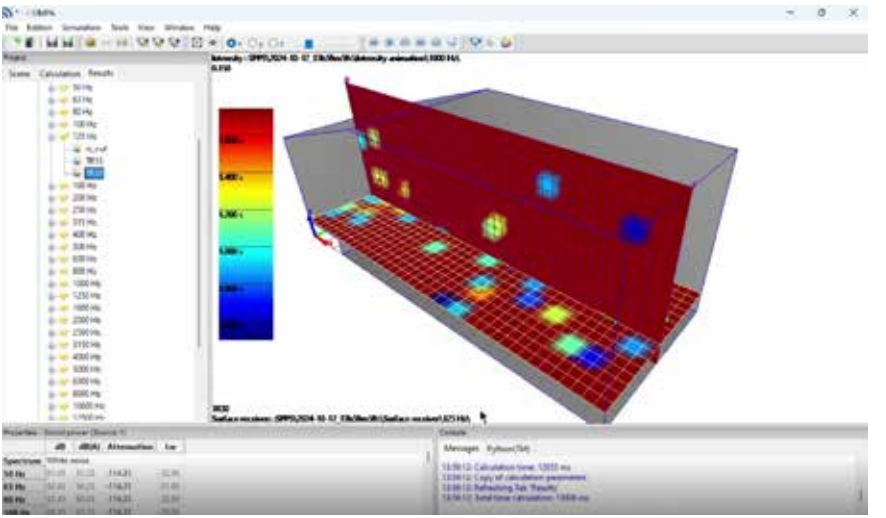
Untuk melihat hasil simulasi secara keseluruhan pada "Surface Receiver" hanya dapat dilakukan pada masing-masing frekuensi inti, seperti pada frekuensi 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz, dan 4000Hz



Klik pada "Surface Receiver", klik kanan salah satu frekuensi yang ingin dilihat hasil simulasinya, klik kanan, pilih "Acoustic parameter" dan klik salah satu parameter akustik yang ingin disimulasikan



Akan muncul parameter akustik yang ingin disimulasikan, klik kanan, pilih “Load animation”



Hasil simulasi akan muncul, lakukan hal yang sama untuk frekuensi inti lainnya. Parameter akustik yang dapat disimulasikan pada “Surface Receiver” diantara lainnya adalah:

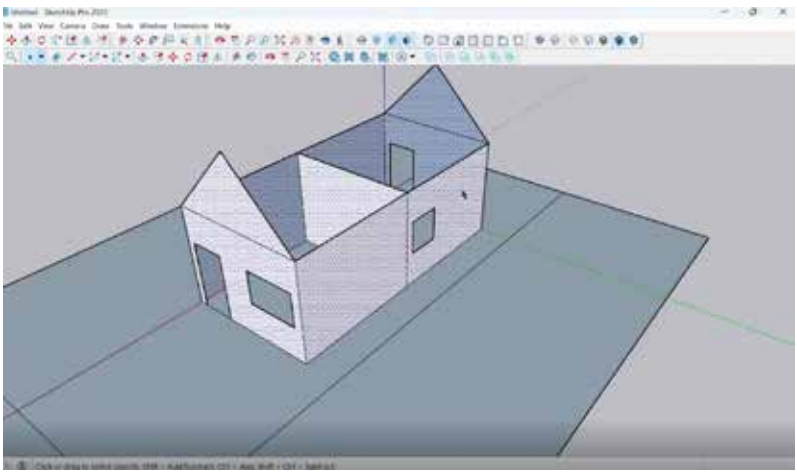
- TR30 (reverberation time)
- C50 (clarity)

- D80 (definition)
- EDT(Early Decay Time)

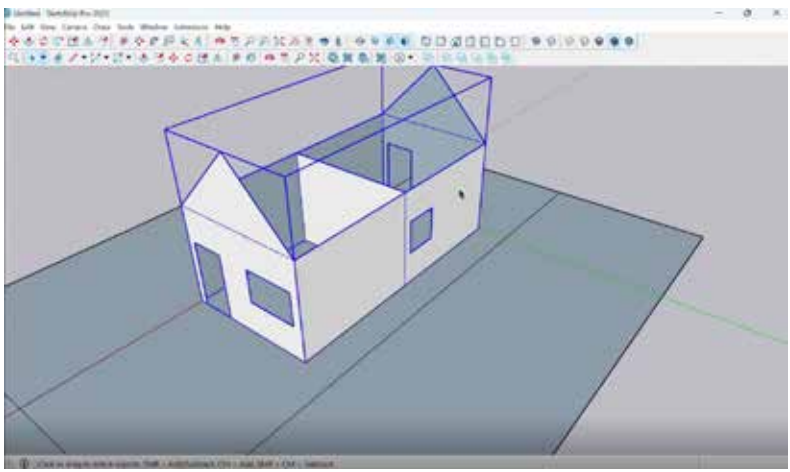
2. Simulasi Kebisingan dengan I-SIMPA

a. Persiapan Modeling *pada SketchUp* dan I-SIMPA

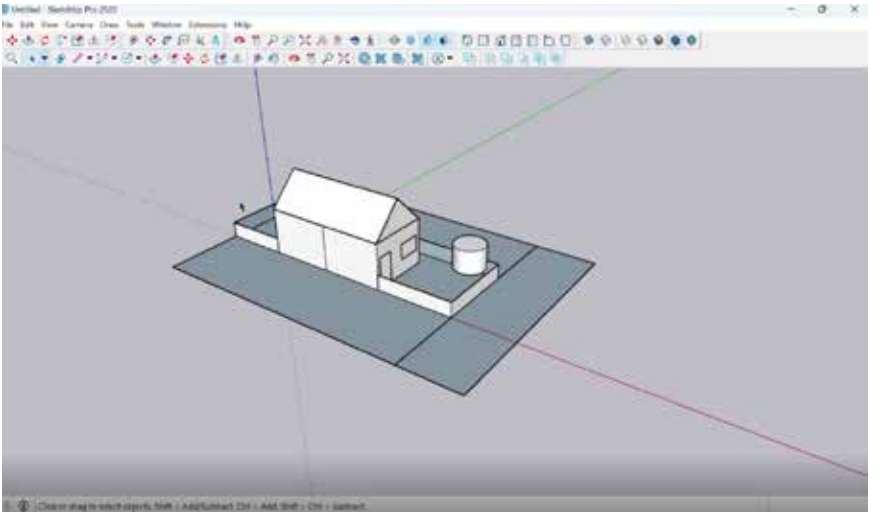
Sebelum meng-*import* modeling ke dalam Software I-SIMPA, alangkah baiknya mempersiapkan modeling dengan setiap surface yang materialnya sama, di-*grouping* terlebih dahulu di SketchUp.



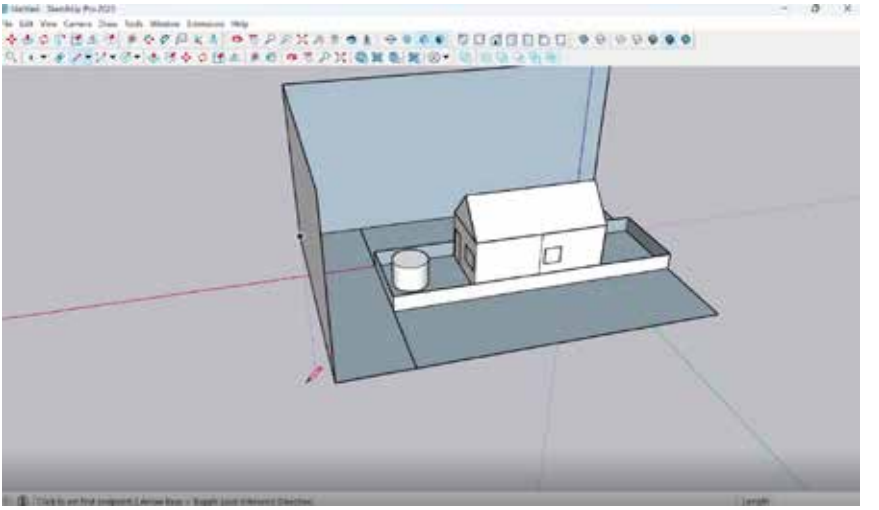
Seleksi surface yang memiliki material yang sama



Lakukan grouping pada setiap material

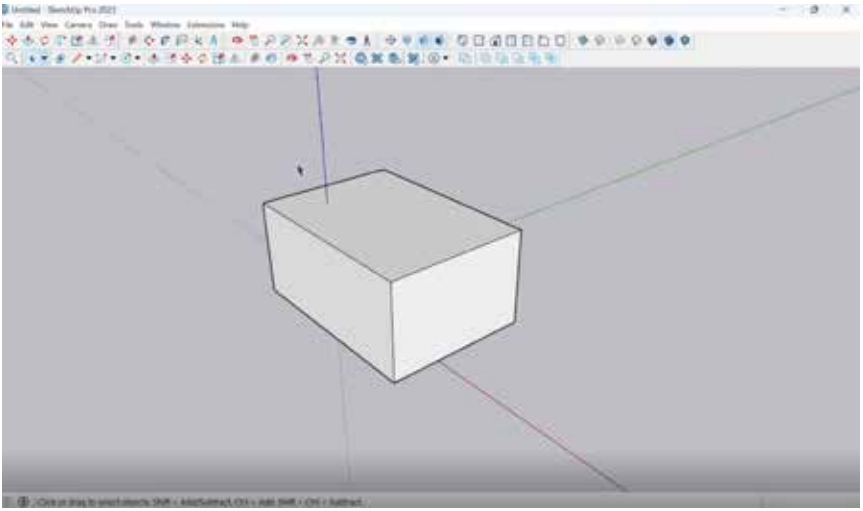


Setelah semua surface telah ter-*grouping* dengan jenis material yang sama, pastikan setiap sisi luar surface bewarna putih dan surface abu-abu menghadap ke sisi dalam

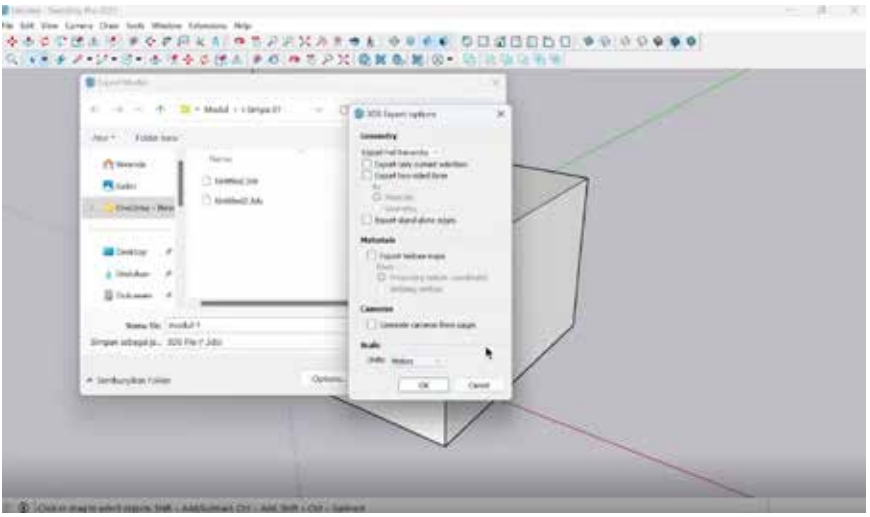


Catatan:

Buatlah boundary atau batasan agar saat disimulasikan menggunakan I-SIMPA bisa membaca model. Pastikan bagian empat sisi samping dan atas tertutup rapat dan pastikan setiap sisi luar surface bewarna putih dan surface abu-abu menghadap ke sisi dalam. Jangan lupa boundary tersebut untuk digrouping menjadi satu bagian!



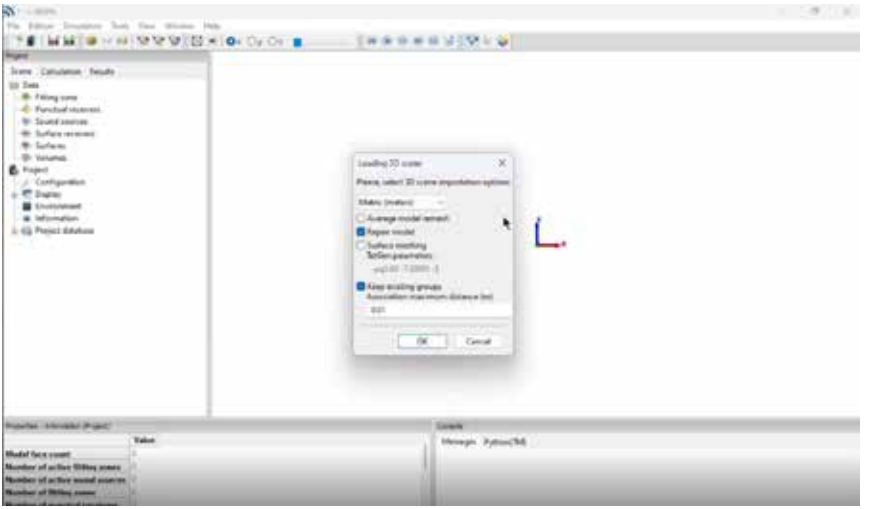
Model yang sudah jadi akan terlihat kotak dari luar. Pastikan sekali lagi bahwa setiap surface sudah tergrouping dengan jenis material yang sama.



Lakukan export model ke file 3ds:

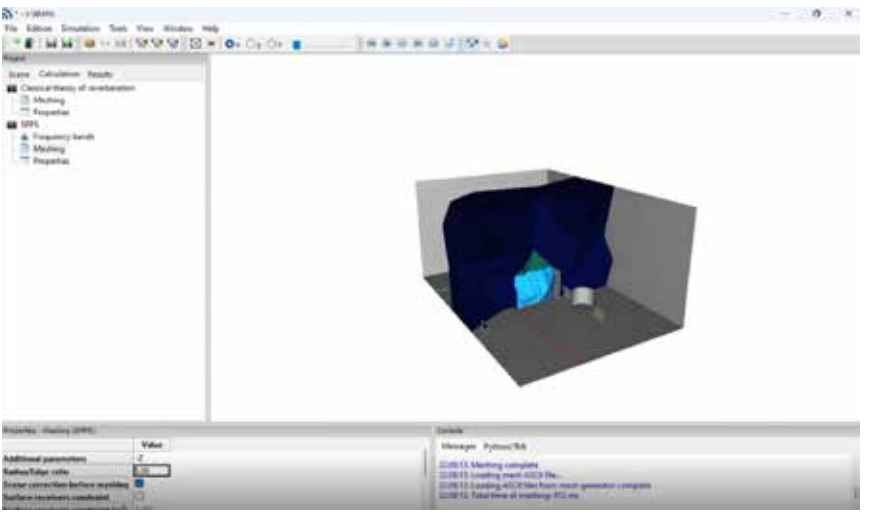
- Klik “File” > “Export” > “3D Model”
- Pastikan Geometry Export adalah “Full Hierarchy”
- Pastikan unit dalam satuan “meter”
- Klik “Ok”

Setelah modeling ter-*export* dari SketchUp, buka software I-SIMPA, klik "New Project" pada Toolbar, klik "File" > "Import New Scene" > pilih modeling yang digunakan.



Pastikan unit sudah dalam "meters", "Repair model" dan "Keep existing groups" tercentang

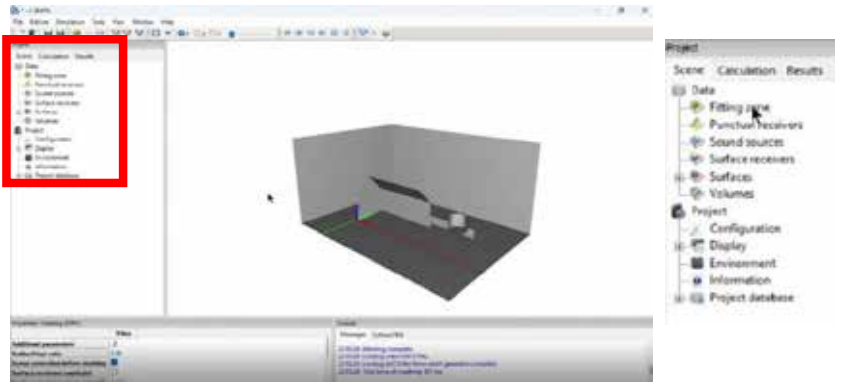
b. Pengaturan Model pada I-SIMPA



Sebelum ke tahap simulasi, pastikan grid pada model bisa dibuat atau tidak untuk melihat error pada model. Memeriksa grid pada model:

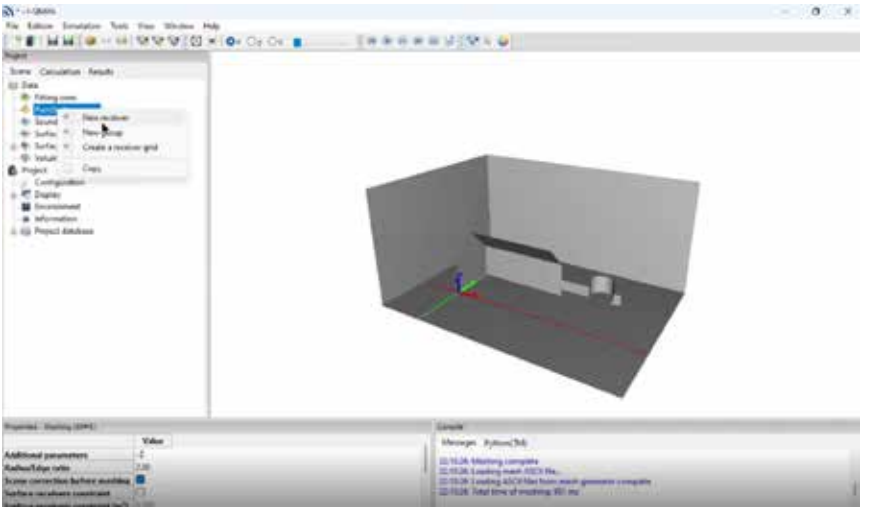
- Klik “Calculation” > “SPSS” > “Meshing” pada window di kiri
- Pada “Properties-Meshing (SPPS)” pada window kiri bawah, ubah “Radius/Edge Ratio” menjadi 1.2
- Klik icon “Meshing” pada ToolBar
- Klik “SPPS” pada pop-up window Display Mesh

Untuk tahap simulasi akustik ruang ada hal-hal yang perlu diperhatikan pada “Data” dan “Project” pada tab “Scene” di window sebelah kiri seperti: punctual receivers, sound sources, surface receivers, dan surfaces

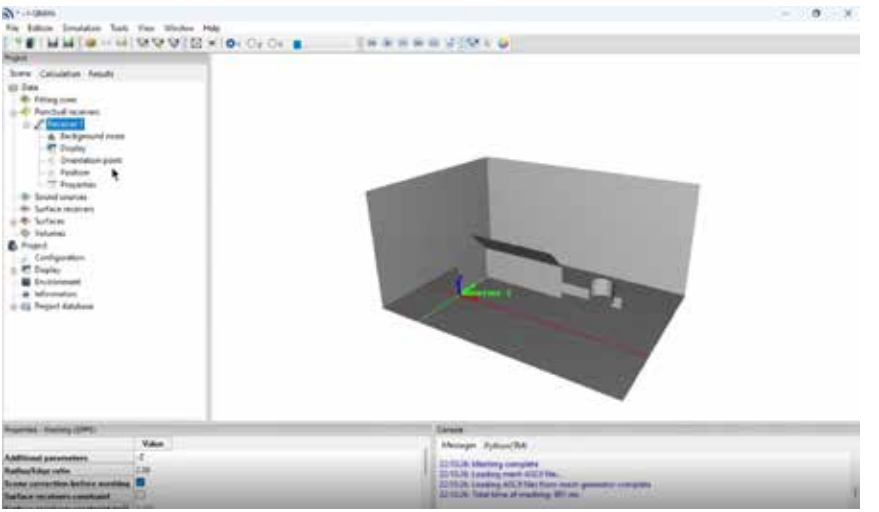


c. Pengaturan Sumber Bunyi pada I-SIMPA

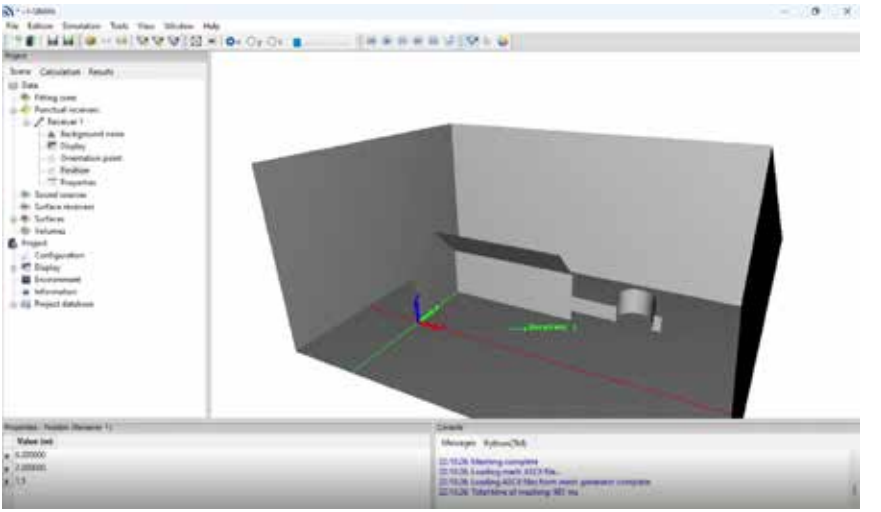
Tahap ini dilakukan untuk meletakkan sensor penerima kualitas bunyi atau diasumsikan sebagai “manusia” ataupun “responden”.



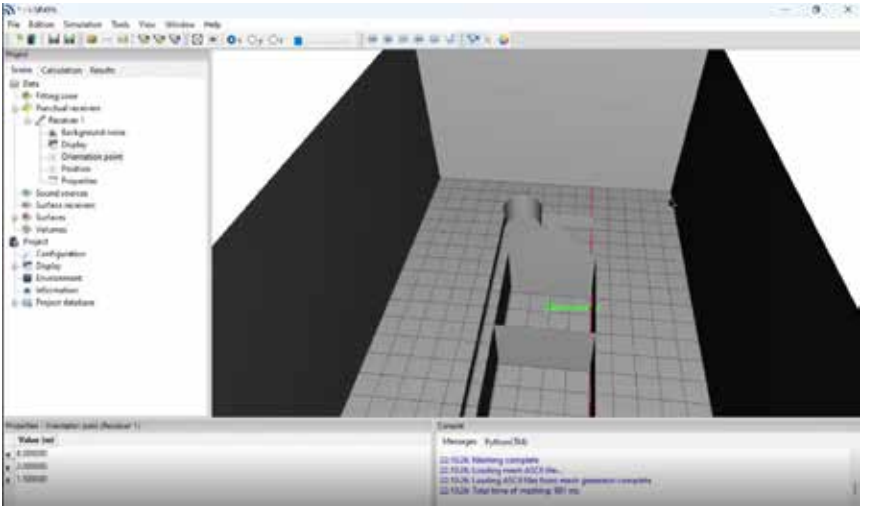
Klik kanan pada “Punctual Receivers” > “New Receiver”



Setelah receiver terbuat akan ada muncul beberapa opsi, pada modul kali ini hanya berfokus meletakkan sensor sehingga hanya akan memakai opsi “Orientation point” yang berfungsi sebagai arah menghadap receiver ke sumber bunyi. Dan opsi “Position” sebagai titik letak sensor receiver.



Untuk meletakkan sensor yang harus dilakukan adalah mensunting titik letak sensor pada opsi "Position". Untuk mengubah titik letak sensor, ubah angka X, Y, dan Z pada window "Properties – Position" di kiri bawah

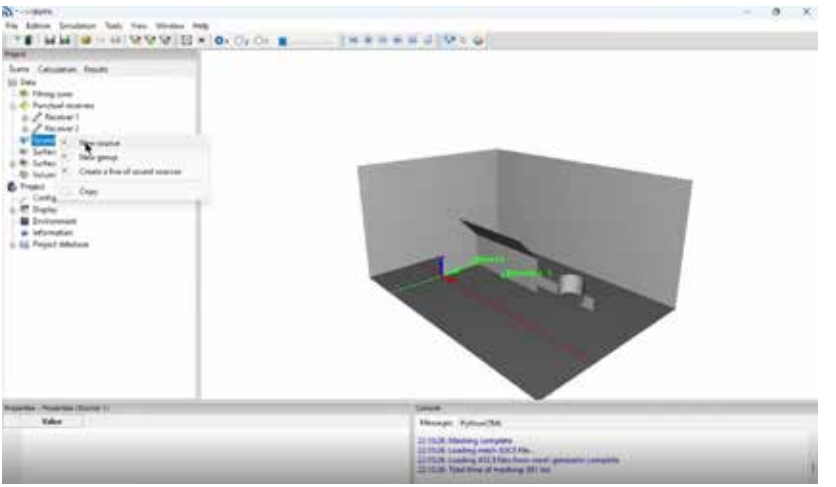


Setelah receiver terbuat, hal selanjutnya adalah mengarahkan receiver ke arah sumber bunyi dengan menggunakan opsi "Orientation Point". Untuk mengubah arah, lakukan sama seperti mengubah "Position"

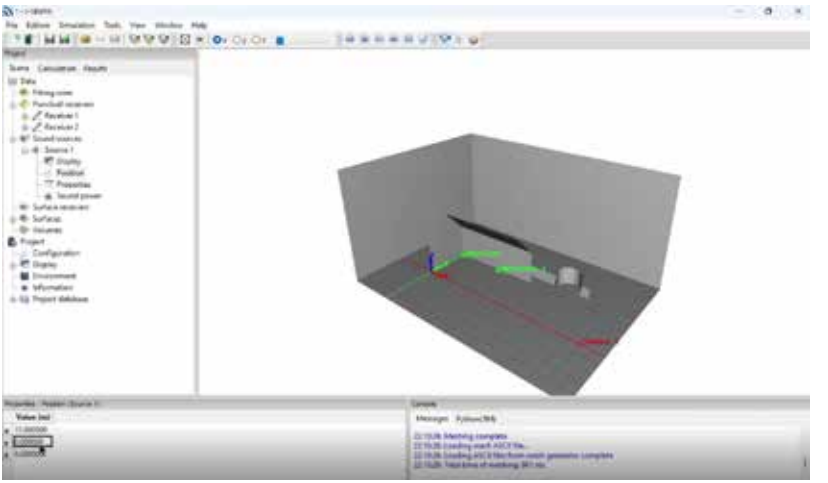
Catatan:
Receiver pada studi kebisiangan dibuat minimal ada receiver pada setiap ruangan.

d. Pengaturan Penerima Bunyi pada I-SIMPA

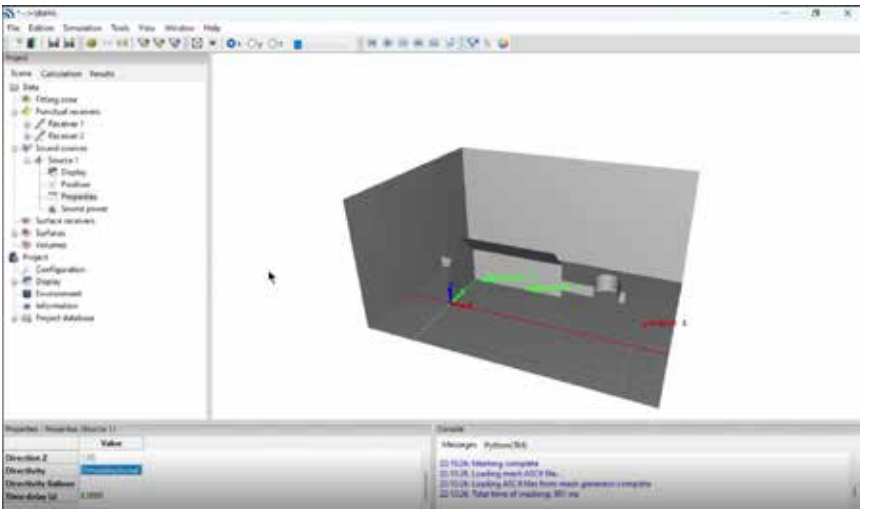
Tahap ini dilakukan untuk meletakkan sumber bunyi, sound sources pada kebisingan biasanya diasumsikan sebagai suara kendaraan atau industri dari lingkungan



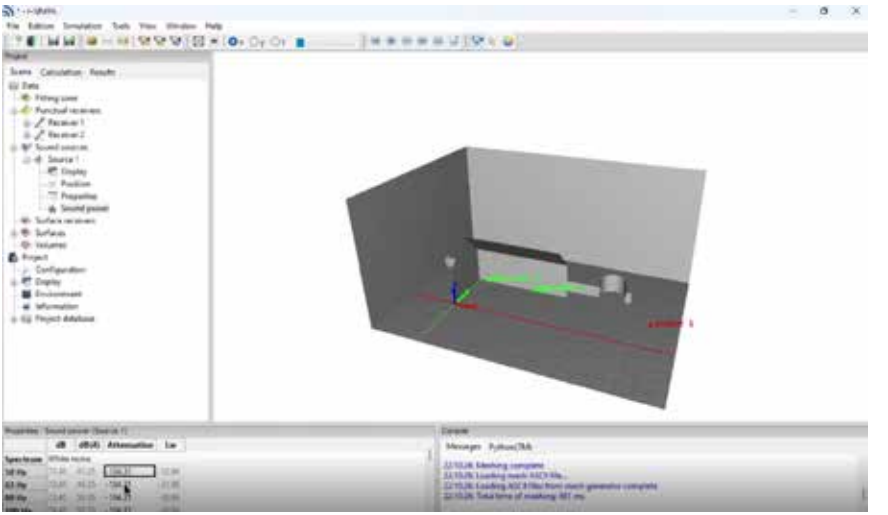
Klik kanan pada “Sound Sources” > “New Source”



Letakkan sumber bunyi di panggung ataupun letak sound system diletakkan menggunakan opsi “Position”. Cara mengubah titik letak sumber bunyi sama seperti “Position” pada “Punctual Receivers”.



Setelah meletakkan titik sumber bunyi, pastikan directivity sumber bunyi adalah “Omnidirectional” dengan mengubahnya melalui opsi “Properties”



Ubah power bunyi pada opsi “Sound Power” pada bagian

"Properties – Sound Power". Isi angka attenuation pada setiap frekuensi disesuaikan dengan kebutuhan

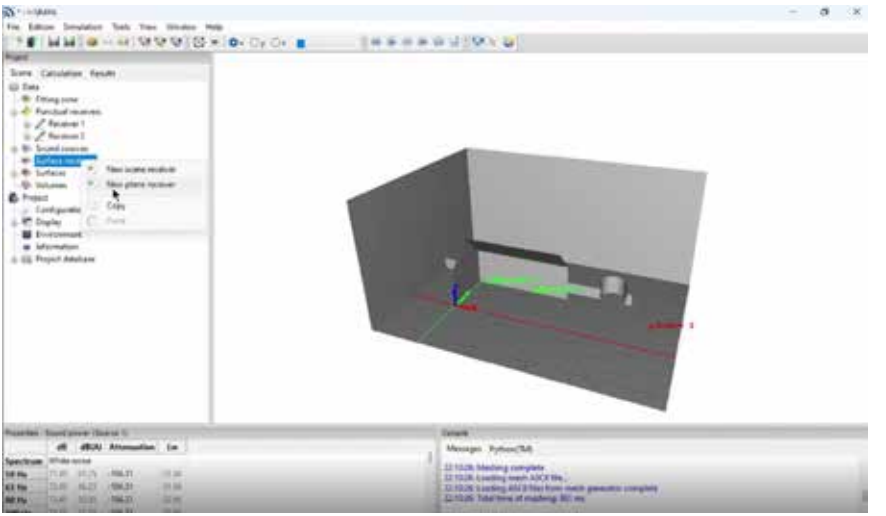
Apabila seluruh frekuensi memiliki angka attenuation yang sama, bisa lakukan dengan cara:

- Isi angka pada salah satu frekuensi
- Klik kanan pada angka tersebut
- Pilih "Set the same value"
- Klik "to the coloumn"

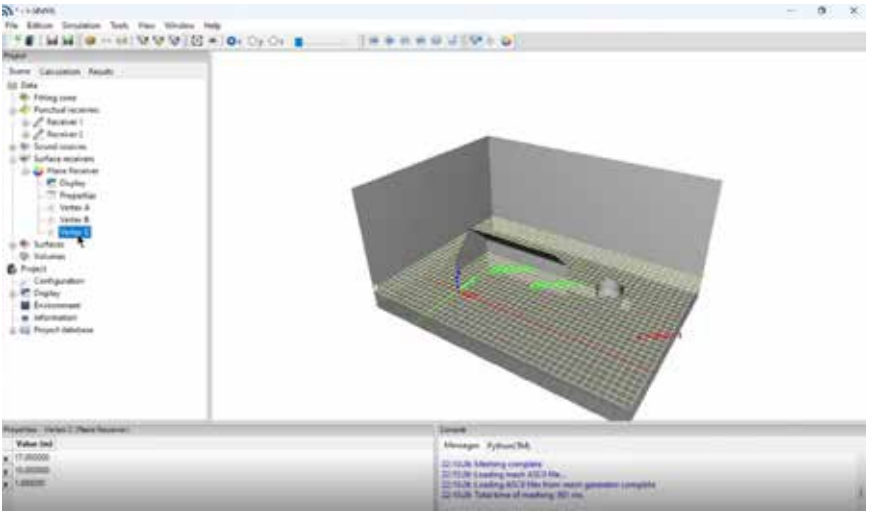
e. Menjalankan Simulasi

1) *Surface Receivers*

Tahap ini dilakukan untuk meletakkan plane dari receivers dalam berbentuk lapisan untuk memudahkan dalam membaca hasil simulasi.



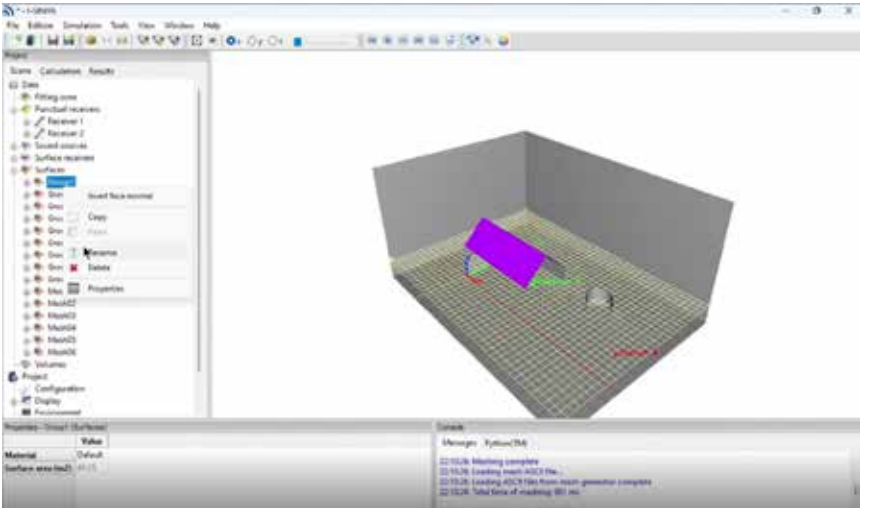
Klik kanan pada "Surface Receivers" > "New Plane Receiver"



Buatlah plane receiver secara horizontal (setinggi receiver yang telah disunting sebelumnya) dan vertikal dengan mengubah titik opsi “Vertex A”, “Vertex B”, dan “Vertex C”

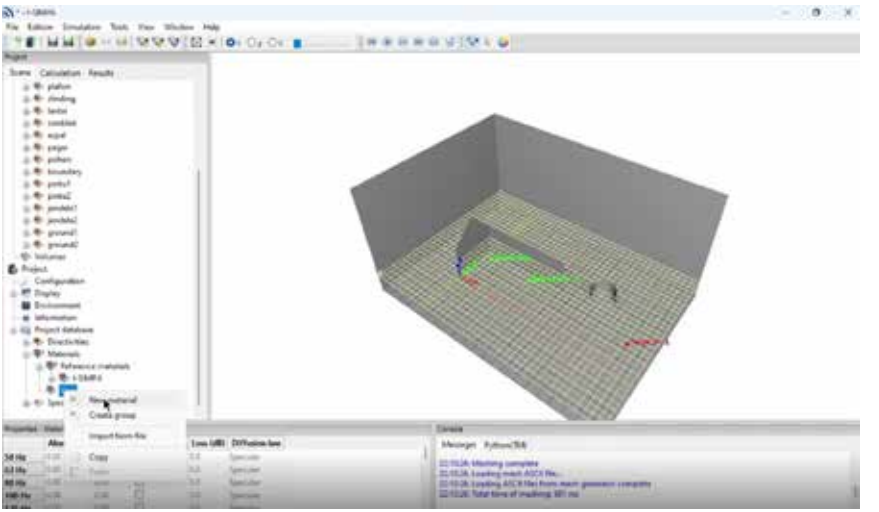
2) *Surfaces*

Tahap ini dilakukan untuk memberikan nilai transmission loss pada surface yang telah digrouping di SketchUp. Transmission loss digunakan hanya untuk studi kebisingan.



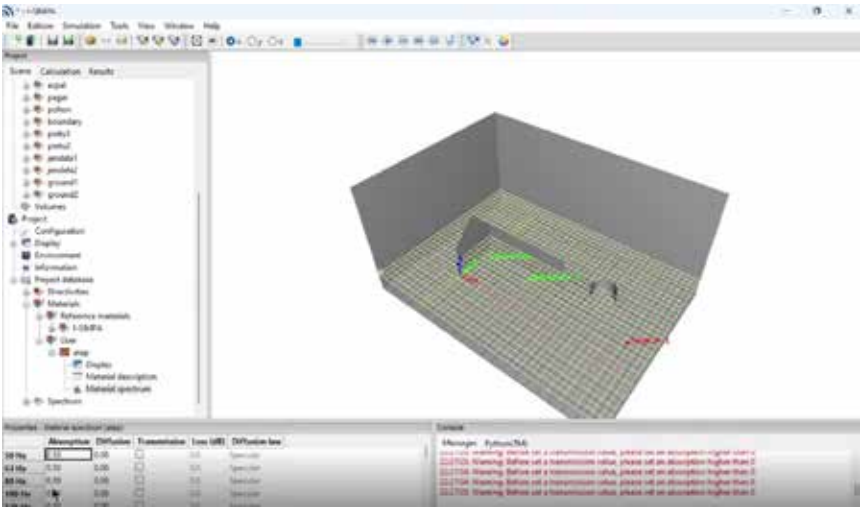
Pada opsi “Surface” akan ada beberapa “mesh”. “mesh” tersebut adalah surface modeling yang sudah tergrouping melalui SketchUp. Ubah nama “mesh” menjadi nama material yang ingin digunakan untuk memudahkan dalam memberikan nilai transmission loss. Untuk mengganti nama “mesh” menjadi nama material:

- Klik kanan pada salah satu mesh
- Klik “rename”
- Ganti menjadi nama material sesuai keinginan



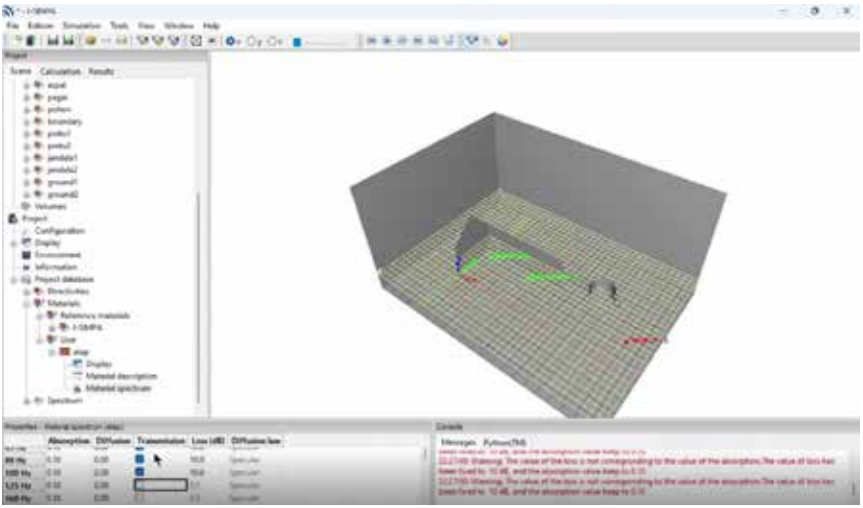
Untuk mengubah angka transmission loss pada material bisa dilakukan dengan cara membuat material custom, hal pertama yang dilakukan adalah:

- Pada “Project”, pilih “Project Database”, klik “Material”
- Klik kanan pada “User”, pilih “New Material”

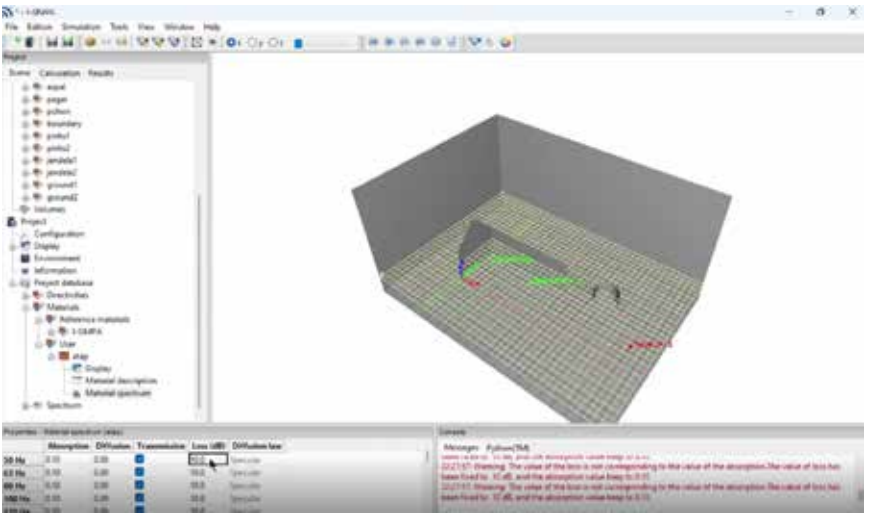


Setelah material diberi nama hal selanjutnya yang dilakukan adalah:

- Klik "Material Spectrum"
- Pada "Properties – Material Spectrum" anda bisa memasukkan angka absorb sesuai dengan material yang anda inginkan (dikarenakan nilai angka absorb tidak boleh sama dengan nol)
- Angka absorb bisa didapatkan dari teori-teori yang sudah ada (modul, jurnal, dan sebagainya).

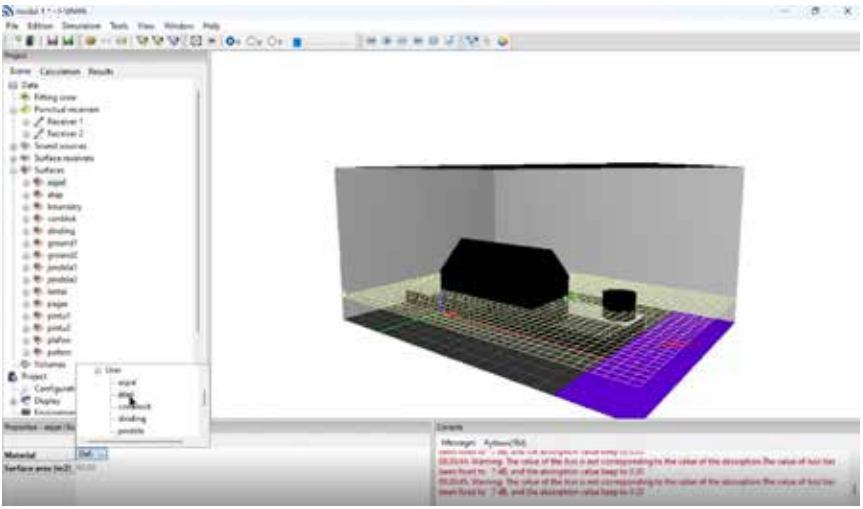


Setelah nilai koefisien absorb terisi di semua frekuensi, pastikan pada "Transmission" semua frekuensi tercentang. Hal ini sangat perlu dilakukan agar dapat mengisi nilai transmission loss pada kolom "Loss (dB)".



Setelah koolom "Transmission" tercentang semua, dapat mengisi angka transmission loss. Angka transmission loss bisa didapatkan dari teori-teori yang sudah ada (modul, jurnal, dsb)

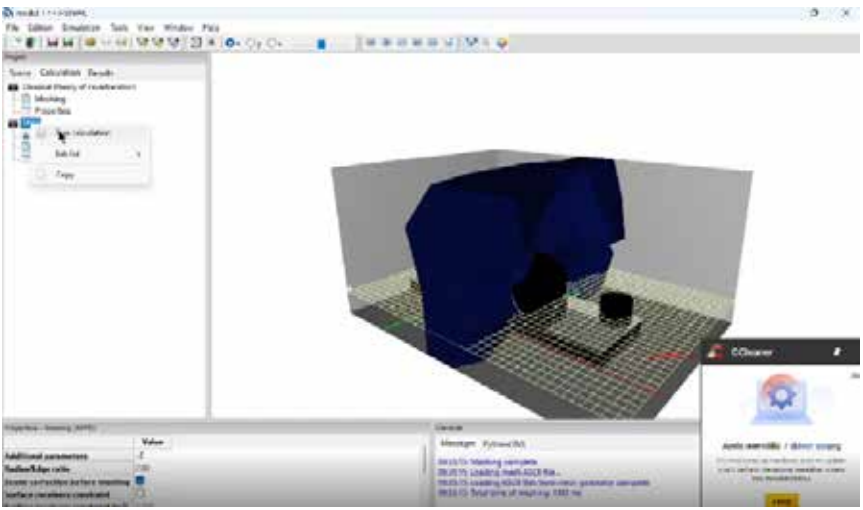
Catatan:
Untuk material boundary tidak perlu menggunakan transmission loss dikarenakan tidak dianggap ada. koefisien boundary adalah 100% absorption.



Setelah material custom terbuat, kembali lagi material pada "Surface" yang ingin memiliki angka transmission loss, dengan cara:

- Klik kanan material yang ingin memakai material custom, klik "Properties"
- Pada window "Properties", klik "Default" pada section Material, ubah "Default" menjadi "User", pilih material custom yang sudah dibuat

3) ***Run Simulation***

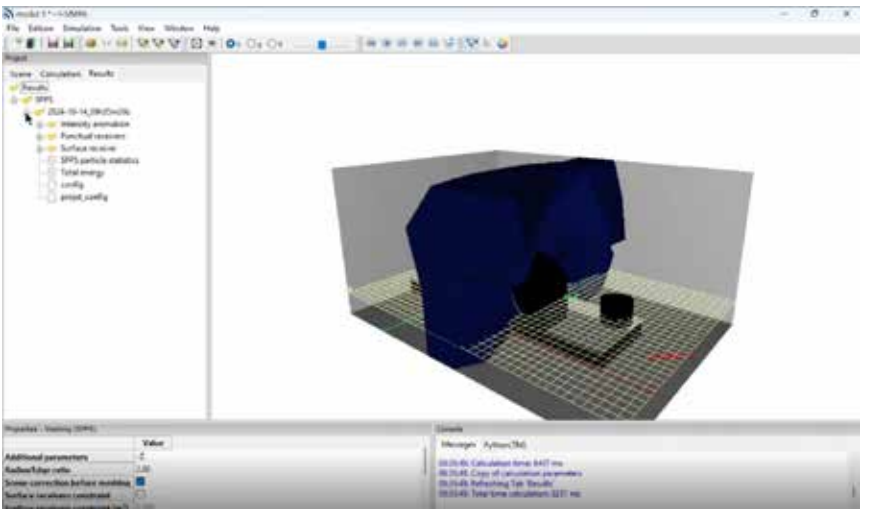


Jika sudah memasuki semua receiver, source, plan receiver, dan material bisa lakukan simulasi dengan cara:

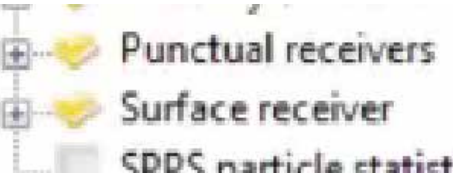
- Klik “Calculation” pada window sebelah kiri
- Klik kanan pada “SPPS”, pilih “Run Calculation”

f. Membaca Hasil

Hasil dari simulasi kebisingan menggunakan I-SIMPA hanya berfokus pada SPL (Sound Power Level).

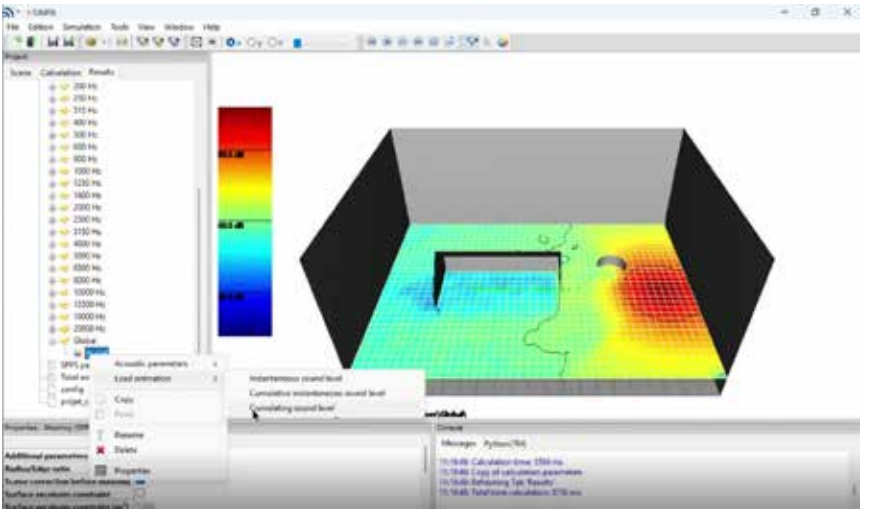


Untuk melihat hasil simulasi bisa klik “Results” pada window di sebelah kiri, klik “SPPS”

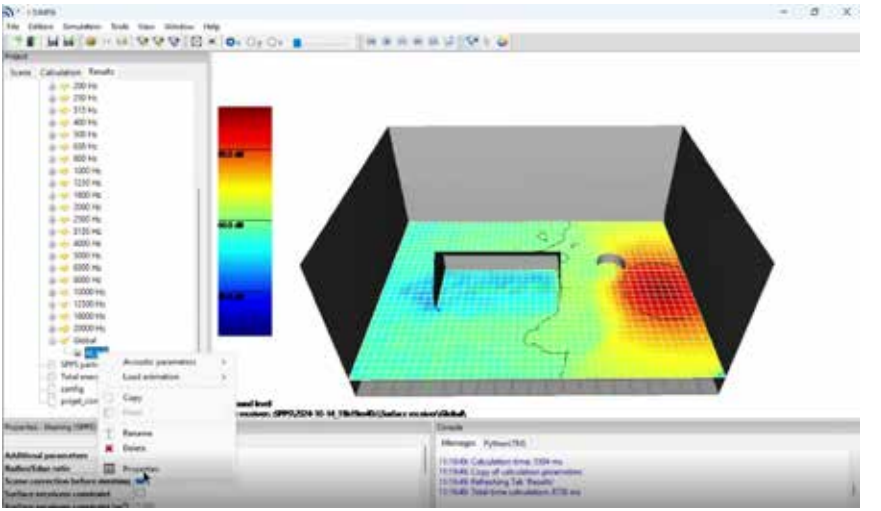


Pada studi kebisingan hanya terdapat satu hasil simulasi yang bisa dibaca hasilnya, yaitu Surface receiver yang berfungsi untuk melihat simulasi secara keseluruhan.

Untuk melihat hasil simulasi secara keseluruhan pada “Surface Receiver” dapat dilakukan menggunakan “Global” ataupun per-frekuensi.



Klik pada “Surface Receiver”, pilih ”Global” ataupun salah satu frekuensi yang ingin dilihat hasilnya, klik kanan pada “rs_cut”, pilih “Load Animation” dan klik pilih “Cumulating sound level” untuk melihat hasil persebaran bunyi

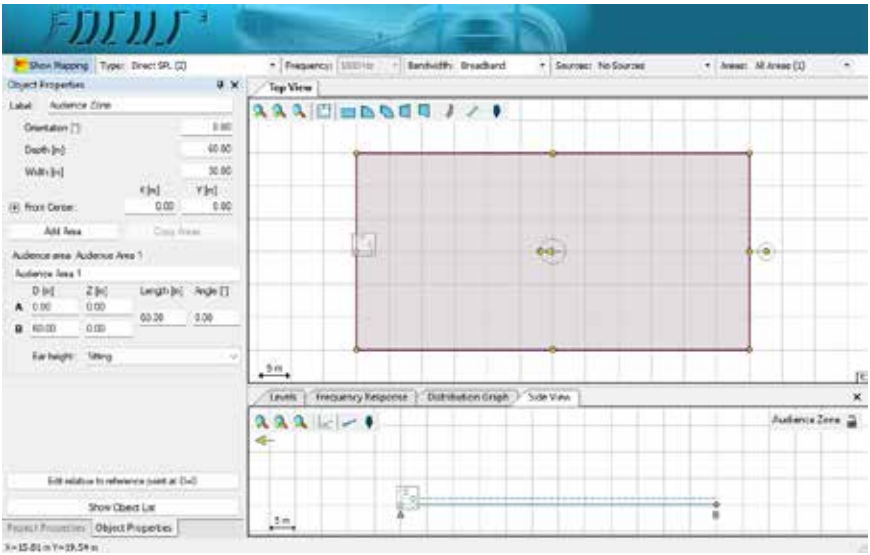


Untuk melihat hasil detail atau angka dari SPL bisa dilihat dengan cara klik kanan pada “rs_cut”, pilih “properties”, akan terlihat hasil angka dari maximum value (dB) dan minimum value (dB) dari SPL tersebut.

3. Simulasi Loudspeaker dengan EASE Focus

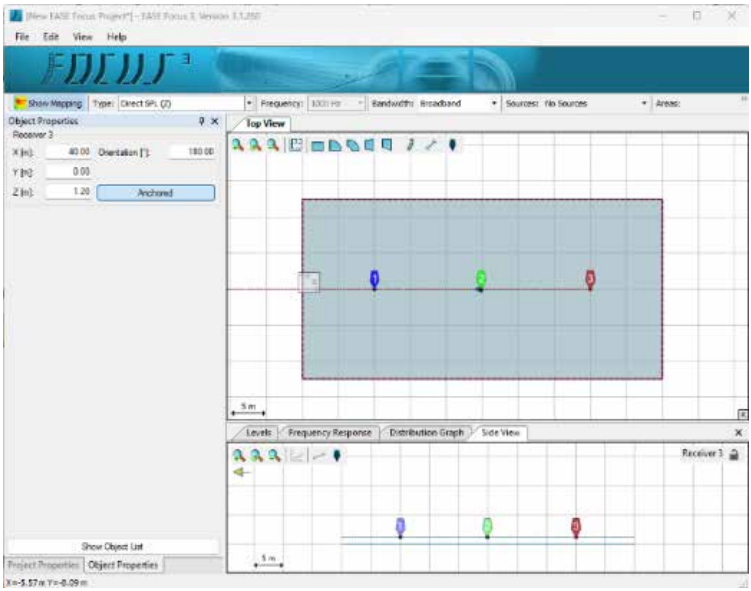
a. Persiapan

Pastikan Anda memiliki file **GLL** (Generic Loudspeaker Library) dari produsen speaker yang ingin disimulasikan. Biasanya, ini tersedia di situs web produsen loudspeaker.



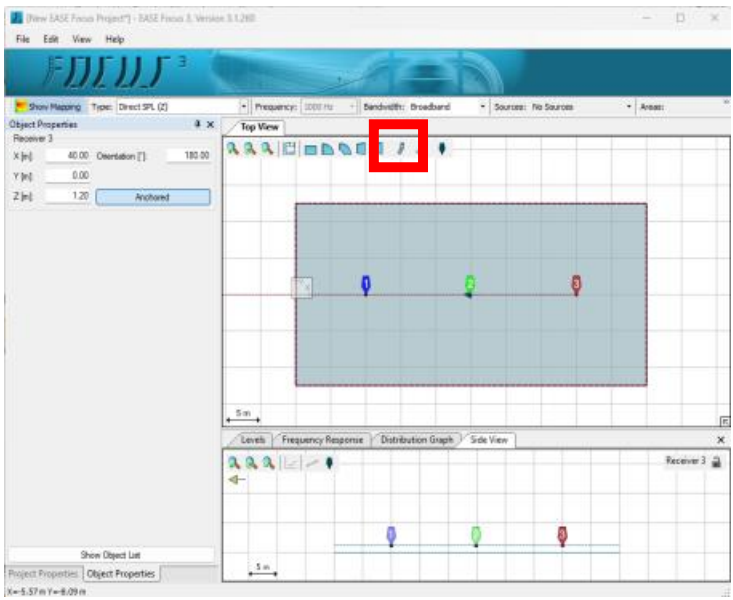
- Jalankan aplikasi dan buat proyek baru dengan **File > New**
- Pilih **Edit > Venue** untuk mengatur ukuran ruangan atau area simulasi.
- Masukkan panjang, lebar, dan tinggi venue sesuai dengan kebutuhan

b. Menambahkan Titik Speaker

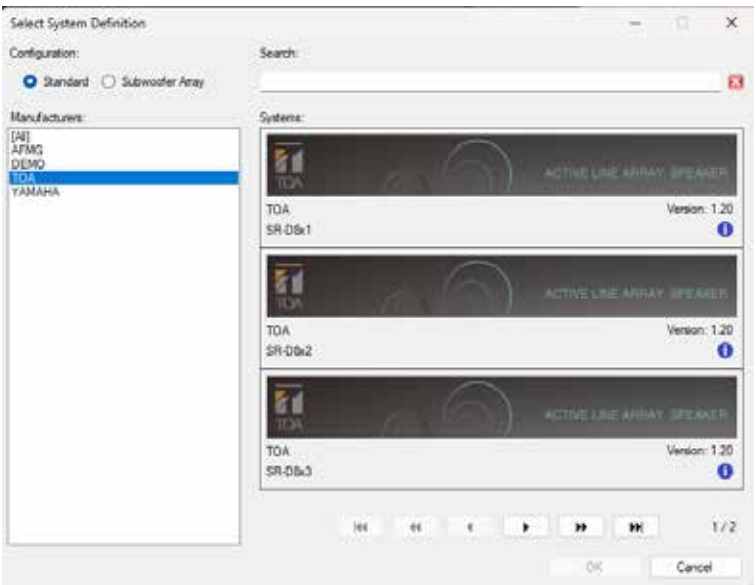


Pasang minimal 3 titik receiver, misal diarea depan, Tengah dan belakang

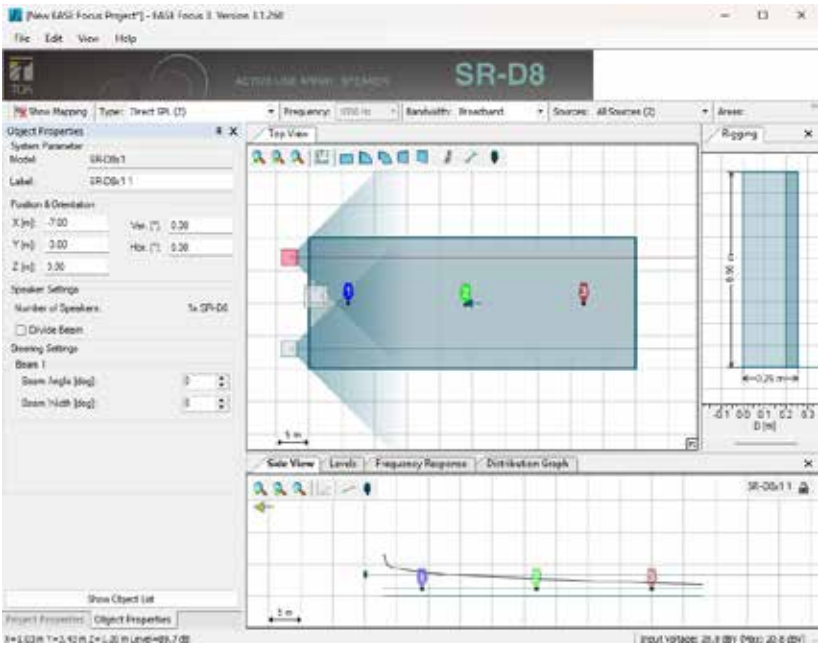
c. Menambahkan Loudspeaker



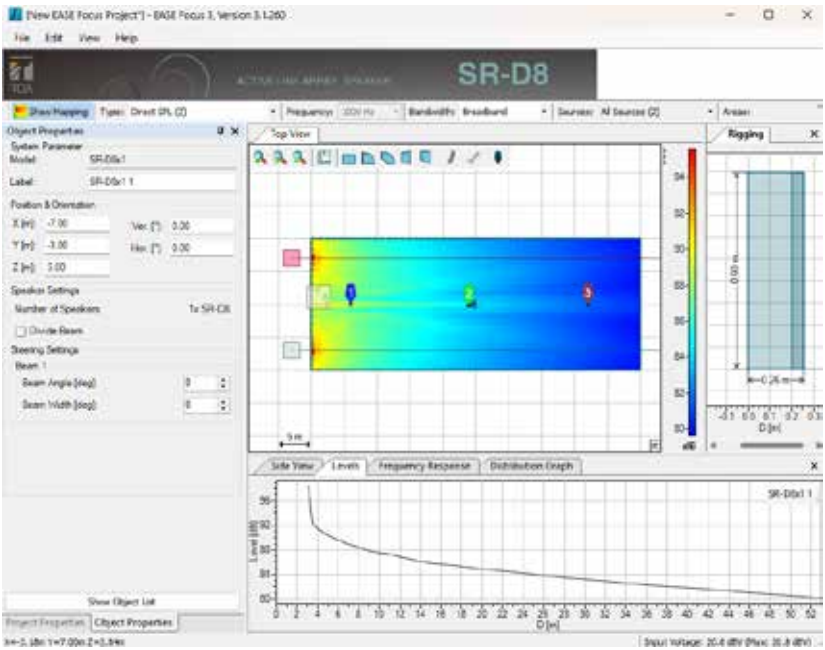
- Klik File
- pilih “Import System definition File”
- cari file loudspeaker yang sudah didownload dari website ease focus
- Pilih merk loudspeaker yang diinginkan (sebagai saran pilih merk dan tipe yang tersedia di Indonesia)
- Klik Open



Catatan:
Untuk melihat gambar, spesifikasi anda dapat melihat pada website resmi dari merk yang anda pilih



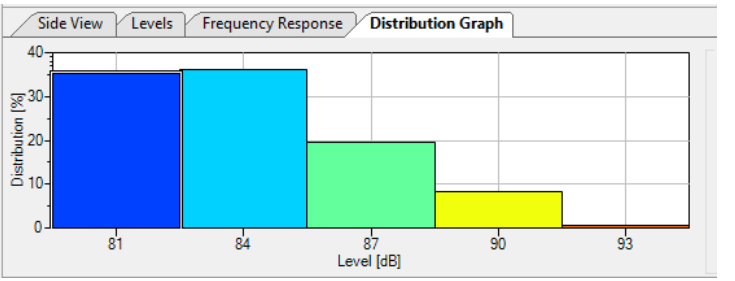
d. Menjalankan Simulasi



- Klik “show mapping” agar tampilan menjadi berubah menjadi berwarna
- Disamping area kerja, terdapat range warna dan keterangan decibel
- Warna merah menunjukan peletakan yang buruk

e. Membaca Hasil Simulasi

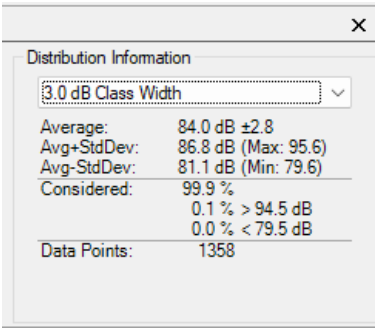
1) *Grafik Distribusi*



Hasil Simulasi menunjukan persentase:

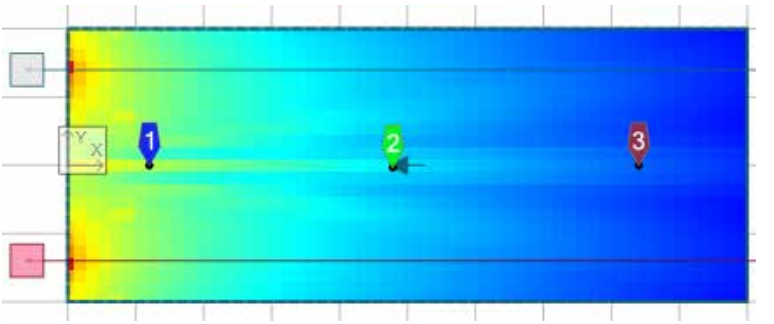
- 81 dB = 35 %
- 84 dB = 36 %
- 87 dB = 20%
- 90 dB = 8 %
- 93 dB = 1 %

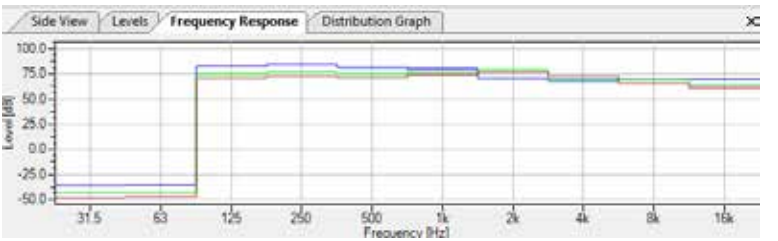
Detail data:



2) Frequence Response

Melihat bunyi yang terjadi pada setiap receiver: Perhatikan warna icon receiver 1, 2 , 3 dan warna grafik sama dengan warna receiver

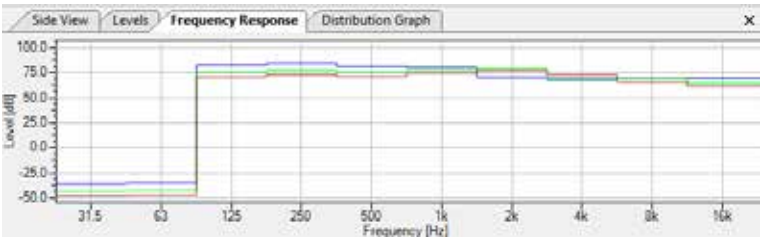




- Frekuensi bawah minus, diangka 31,5Hz dan 63 Hz. Hal ini bisa terjadi karena tipe loudspeaker tidak ada kemampuan untuk menghasilkan frekuensi pada angka tersebut.
- Yang harus dihindari adalah selisih garis grafik antara receiver terlalu besar, karena akan mempengaruhi kenikmatan pendengaran telinga antar receiver
- Contoh: pada frekuensi 125 hz, receiver 1 dapat mendengar suara/bunyi dengan baik, sedangkan receiver 3 hanya mendengar suara/bunyi secara sayup-sayup

Catatan:

- *Untuk melihat gambar, spesifikasi anda dapat melihat pada website resmi dari merk yang anda pilih*
- *Pastikan perbedaan bunyi minimum dan maksimum level tidak lebih dari 5 dB ±1*
- *Pastikan tiap warna grafik tidak terlalu banyak selisih, maksimal 5 dB antara 1 grafik dengan grafik lainnya di setiap frekuensi*



Catatan:

- *Pastikan tiap warna grafik tidak terlalu banyak selisih, maksimal 5 dB antara 1 grafik dengan grafik lainnya di setiap frekuensi*

Daftar Pustaka

Barron, M. (2009). *Auditorium acoustics and architectural design*. Spon Press.

Beranek, L. L. (2004). *Concert halls and opera houses: music, acoustics, and architecture* (Vol. 2). Springer.

Bradley, J. S. (2003). The acoustical design of conventional open plan offices. *Canadian Acoustics - Acoustique Canadienne*, *31*(2), 23–31.

Cox, T., & d'Antonio, P. (2016). *Acoustic absorbers and diffusers: theory, design and application*. CRC press.

Everest, F. A., & Pohlmann, K. C. (2015). *Master Handbook of Acoustics* (6th Editio). McGraw-Hill Education. https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071841047

Hidaka, T., & Beranek, L. L. (2000). Objective and subjective evaluations of twenty-three opera houses in Europe, Japan, and the Americas. In *Journal of the Acoustical Society of America* (Vol. 107, Issue 1, pp. 368–383). Acoustical Society of American. https://doi.org/10.1121/1.428309

Hidaka, T., & Nishihara, N. (2015). Acoustical quality in concert halls as related to hall shape: Shoebox, surround, and other. *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain*, *25*(3), 240.

Houtgast, T., & Steeneken, H. J. M. (1985). A review of the MTF concept in room acoustics and its use for estimating speech intelligibility in auditoria. *Journal of the Acoustical Society of America*, *77*, 1069–1077.

Hutagalung, T., & Ola, F. B. (2023). Pengendalian Kebisingan Pada Ruang Ibadah Gereja Cagar Budaya: Studi Kasus Gereja Santo Yusup Bintaran Yogyakarta. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat*, *1*(1), 49–55.

Kuttruff, H. (2016). *Room acoustics*. Crc Press.

Long, M. (2005). *Architectural acoustics*. Elsevier.

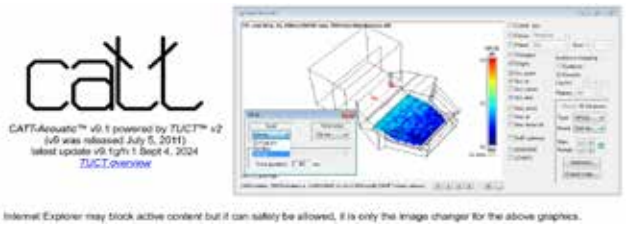
Rossing, T. (2007). *Springer handbook of acoustics*. Springer Science & Business Media.

Vorländer, M. (2007). *Auralization: Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality*. Springer Berlin Heidelberg.

Lampiran

Lampiran 1.

Beberapa software akustik advance



Sumber: https://www.catt.se/

Sumber: https://www.afmg.eu/en/ase

Sumber: https://odeon.dk/

Sumber: https://www.datakustik.com/

Lampiran 2.

Komparasi Kualitas Akustik Ruang Sebelum dan Sesudah Perbaikan (Waktu dengung – RT60) Studi kasus Gereja Pantekosta di Indonesia – El Shaddai, Magelang

Standar rujukan nilai RT60: 1.60 detik

Before	After

Lampiran 3.

Komparasi Kualitas Akustik Ruang Sebelum dan Sesudah Perbaikan (Waktu dengung – RT60) Studi kasus Gereja Kristen Indonesia – Temanggung

Standar rujukan nilai RT60: 1.40 detik

Before	After

Lampiran 4.

Tabel Koefisien Penyerapan (Vorländer, 2007)

Konstruksi besar dan permukaan yang keras

Bahan	Frekuensi pita oktaf dalam Hz						
	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Dinding, permukaan keras rata-rata (dinding bata, plester, lantai keras, dll.)	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05
Dinding, dinding bata yang dibuat dari batu bata	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04
Beton kasar	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.07	0.07
Beton halus yang tidak dicat	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05
Pencucian kapur kasar	0.02	0.03	0.04	0.05	0.04	0.03	0.02
Dinding bata halus dengan penunjuk yang rata, dicat	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Dinding bata halus, penunjuk sedalam 10 mm, adukan pasir lubang	0.08	0.09	0.12	0.16	0.22	0.24	0.24
Dinding bata, diplester dengan hasil akhir yang kasar	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.07
Ubin keramik dengan permukaan yang halus	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
Dinding batu kapur	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.05
Dinding ruang gema	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.04
Lantai beton	0.01	0.03	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02
Lantai marmer	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02

Kaca

Bahan	Frekuensi pita oktaf dalam Hz						
	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Panel kaca tunggal, 3 mm	0.08	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
Jendela kaca, 0,68 kg/m^2	0.10	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03
Kaca timbal	0.30	0.20	0.14	0.10	0.05	0.05	-
Kaca ganda, kaca 2-3 mm, > Celah 30 mm	0.15	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
Kaca ganda, kaca 2-3 mm, Celah 10 mm	0.10	0.07	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02
Kaca ganda, timbal di bagian dalam	0.15	0.30	0.18	0.10	0.05	0.05	-

Kayu

Bahan	Frekuensi pita oktaf dalam Hz						
	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Kayu, tebal 1,6 cm, pada papan kayu 4 cm	0.18	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07
Panel kayu lapis tipis	0.42	0.21	0.10	0.08	0.06	0.06	-
Kayu 16 mm pada kancing 40 mm	0.18	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07
Lantai penonton, 2 lapis, 33 mm pada bantalan di atas beton	0.09	0.06	0.05	0.05	0.05	0.04	-
Kayu, lantai panggung, 2 lapis, 27 mm di atas wilayah udara	0.10	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	-
Pintu kayu solid	0.14	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10	0.10

Penutup lantai

Bahan	Frekuensi pita oktaf dalam Hz						
	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Linoleum, aspal, karet, atau ubin gabus pada beton	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	-
Karpet katun	0.07	0.31	0.49	0.81	0.66	0.54	0.48
Karpet tipis, disemen ke beton	0.02	0.04	0.08	0.20	0.35	0.40	-
Karpet tumpukan 6mm yang diikat ke alas busa sel tertutup	0.03	0.09	0.25	0.31	0.33	0.44	0.44
Karpet tumpukan 6 mm yang diikat ke sel terbuka dasar busa	0.03	0.09	0.20	0.54	0.70	0.72	0.72
Karpet tumpukan berumbai 9 mm di atas alas kain	0.08	0.08	0.30	0.60	0.75	0.80	0.80
Jarum kempa 5 mm menempel pada beton	0.02	0.02	0.05	0.15	0.30	0.40	0.40
Karpet lembut 10 mm di atas beton	0.09	0.08	0.21	0.26	0.27	0.37	-
Karpet berbulu di atas kain kempa 3 mm	0.11	0.14	0.37	0.43	0.27	0.25	0.25
Karpet karet 5 mm di atas beton	0.04	0.04	0.08	0.12	0.10	0.10	-
Karpet 1,35 kg/m^2, pada kain kempa rambut atau karet busa	0.08	0.24	0.57	0.69	0.71	0.73	-
Kain flanel serat kelapa, tebal 29 mm (tanpa tekanan), sisi belakang kertas, 2,2 kg/m2, 2 Rayl	0.10	0.13	0.22	0.35	0.47	0.57	-

Gorden

Bahan	Frekuensi pita oktaf dalam Hz						
	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Tirai katun (0,5 kg/m$^{(2)}$)) yang digantungkan pada Area 3/4 kira-kira 130 mm dari dinding	0.30	0.45	0.65	0.56	0.59	0.71	0.71
Tirai (0,2 kg/m^2) digantung 90 mm dari dinding	0.05	0.06	0.39	0.63	0.70	0.73	0.73
Kain katun (0,33 kg/m^2) dilipat ke area 7/8	0.03	0.12	0.15	0.27	0.37	0.42	-
Tirai jendela yang ditenun dengan rapat 90 mm dari dinding	0.06	0.10	0.38	0.63	0.70	0.73	-
Tirai vertikal, 15 cm dari dinding, setengah terbuka (45°)	0.03	0.09	0.24	0.46	0.79	0.76	-
Tirai vertikal, 15 cm dari dinding, terbuka (90°)	0.03	0.06	0.13	0.28	0.49	0.56	-
Tirai beludru yang ketat	0.05	0.12	0.35	0.45	0.38	0.36	0.36
Kain gorden, 15 cm dari dinding	0.10	0.38	0.63	0.52	0.55	0.65	-
Kain gorden, dilipat, 15 cm dari dinding	0.12	0.60	0.98	1.0	1.0	1.0	1.0
Tirai dari tikar kaca yang ditenun rapat digantung 50 mm dari dinding	0.03	0.03	0.15	0.40	0.50	0.50	0.50
Tirai studio, 22 cm dari dinding	0.36	0.26	0.51	0.45	0.62	0.76	-

Tempat duduk (2 kursi per m^2)

Bahan	Frekuensi pita oktaf dalam Hz						
	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Kursi kayu tanpa bantal	0.05	0.08	0.10	0.12	0.12	0.12	-
Kursi plastik kosong	0.06	0.10	0.10	0.20	0.30	0.20	0.20
Kursi konser berlapis kain sedang, kosong	0.49	0.66	0.80	0.88	0.82	0.70	-

Kursi berlapis kain tebal, kosong	0.70	0.76	0.81	0.84	0.84	0.81	-
Kursi kosong, berlapis kain sampul	0.44	0.60	0.77	0.89	0.82	0.70	0.70
Kursi kosong, berlapis kulit sampul	0.40	0.50	0.58	0.61	0.58	0.50	0.50
Kursi kosong yang tidak dihuni, dengan kain pelapis sedang (0,90 m× 0,55 m)	0.44	0.56	0.67	0.74	0.83	0.87	-

Penonton (kecuali jika tidak ditentukan secara eksplisit, 2 orang per m²)

Bahan	Frekuensi pita oktaf dalam Hz						
	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Area dengan penonton, orkestra, atau paduan suara termasuk lorong-lorong sempit	0.60	0.74	0.88	0.96	0.93	0.85	0.85
Penonton di kursi kayu, 1 per m^2	0.16	0.24	0.56	0.69	0.81	0.78	0.78
Penonton di kursi kayu, 2 orang per m^2	0.24	0.40	0.78	0.98	0.96	0.87	0.87
Area penonton, 0,72 orang / m^2	0.10	0.21	0.41	0.65	0.75	0.71	-
Area penonton, 1 orang / m^2	0.16	0.29	0.55	0.80	0.92	0.90	-
Area penonton, 1,5 orang / m^2	0.22	0.38	0.71	0.95	0.99	0.99	-
Area penonton, 2 orang / m^2	0.26	0.46	0.87	0.99	0.99	0.99	-
Penonton di kursi dengan kain pelapis sedang 0,85 m x 0,63 m	0.72	0.82	0.91	0.93	0.94	0.87	-
Penonton di kursi dengan kain pelapis sedang 0,90 m x 0,55 m	0.55	0.86	0.83	0.87	0.90	0.87	-

Peredam dinding

Bahan	Frekuensi pita oktaf dalam Hz						
	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Panel berlapis kain, rockwool 6 pcf inti	0.46	0.93	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Panel berlapis kain, rockwool 8 pcf inti	0.21	0.66	1.0	1.0	0.97	0.98	0.98
Dinding bata yang menghadap ke batu bata, dimensi bata 230 x 50 x 55 mm	0.04	0.14	0.49	0.35	0.31	0.36	-
Ketebalan rockwool= 50 mm, 80 kg/m^3	0.22	0.6	0.92	0.90	0.88	0.88	0.88
Ketebalan rockwool= 50 mm, 40 kg/m^3	0.23	0.59	0.86	0.86	0.86	0.86	086
Wol mineral 50 mm (40 kg/m^3), direkatkan ke dinding, permukaan yang tidak dirawat	0.15	0.70	0.60	0.60	0.85	0.90	0.90
Wol mineral 50 mm (70 kg/m^3) 300 mm di depan dinding	0.70	0.45	0.65	0.60	0.75	0.65	0.65
Papan gipsum, perforasi 19,6%, lubang diameter 15 mm, didukung oleh jaring berserat 12 Rayl, rongga 100 mm diisi dengan alas serat mineral 1,05 kg/m2, 7,5 Rayl	0.30	0.69	1.0	0.81	0.66	0.62	-
Papan chip berlapis berlubang, 50 mm, Lubang 1 mm, jarak 3 mm, lubang 9% rasio permukaan, rongga 150 mm diisi dengan Wol mineral 30 mm	0.41	0.67	0.58	0.59	0.68	0.35	-
Penyerap serat, serat mineral, tebal 20 mm, 3,4 kg/m^2, rongga 50 mm	0.20	0.56	0.82	0.87	0.70	0.53	-
Penyerap serat, alas berpori yang fleksibel kain jaring berserat, dapat memadamkan diri sendiri	0.07	0.07	0.2	0.41	0.75	0.97	-

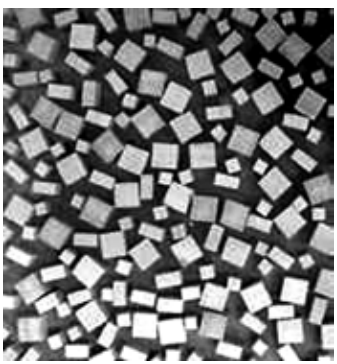
Peredam langit-langit

Bahan	Frekuensi pita oktaf dalam Hz						
	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Langit-langit eternit di atas reng dengan ruang udara yang besar di atas	0.20	0.15	0.10	0.08	0.04	0.02	-
Penyerap serat pada lembaran logam berlubang kartrid, baja berlapis seng 0,5 mm, Diameter lubang 1,5 mm, rongga 200 mm diisi dengan wol mineral 20 mm (20 kg/m3), mudah terbakar	0.48	0.97	1.0	0.97	1.0	1.0	1.0
Ubin langit-langit yang retak	0.49	0.53	0.53	0.75	0.92	0.99	-
Papan gipsum 27 mm berlubang (16%), d= 4,5 mm, 300 mm dari langit-langit	0.45	0.55	0.60	0.90	0.86	0.75	-
Berbentuk baji, busa melamin, langit-langit ubin	0.12	0.33	0.83	0.97	0.98	0.95	-
Langit-langit panel logam, didukung oleh 20 mm Ubin akustik Sillan, lebar panel 85 mm, jarak panel 15 mm, rongga 35 cm	0.59	0.80	0.82	0.65	0.27	0.23	-

Peredam khusus

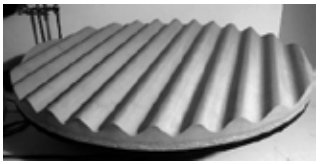
Bahan	Frekuensi pita oktaf dalam Hz						
	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Foil berlubang mikro “Microsorber” (Kaefer)	0.06	0.28	0.70	0.68	0.74	0.53	-
Lembaran kaca berlubang mikro, Rongga 5 mm	0.10	0.45	0.85	0.30	0.10	0.05	-
Panel penyerap gantung (busa), Kedalaman 400 mm, jarak 400 mm	0.25	0.45	0.80	0.90	0.85	0.80	-
Panel penyerap gantung (busa), Kedalaman 400 mm, jarak 700 mm	0.20	0.30	0.60	0.75	0.70	0.70	-

Permukaan 2-D

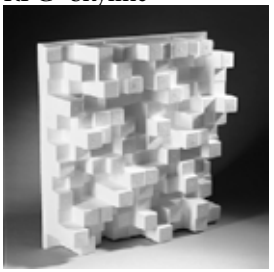
Bentuk kerutan	a/λ						
	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8
Belahan dengan radius rata-rata *h*, didistribusikan secara acak, cakupan 40% (h/a ≈ 0,25)	0.1	0.2	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8
Belahan identik yang ditempatkan secara padat dengan radius *h*, *h*/*a*= 0,5 dalam pola reguler	0.05	0.05	0.1	0.6	0.6	0.6	-
Belahan dengan radius rata-rata *h*, didistribusikan secara acak, cakupan 25% (h/*a*≈ 0.15)	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4
Kubus kayu, pola biasa, *h*/*a*= 0.5	0.05	0.05	0.25	0.3	0.7	0.9	-
Kubus kayu, jarak dan orientasi acak h/a = 0,5	0.05	0.05	0.2	0.3	0.6	0.7	-
Ubin keramik, padat; ketinggian *h* didistribusikan dalam kisaran antara 1 dan 10, rata-rata *h*/*a*≈ 1.	0.1	0.4	0.9	0.7	0.7	0.7	-
Kotak kayu dengan berbagai ukuran, pola acak, rata-rata *h*/*a*= 0,5 	0.05	0.05	0.15	0.4	0.7	0.9	-

Kisi-kisi trapesium h/a≈ 0.5	0.05	0.05	0.1	0.9	0.8	0.9	0.9

Permukaan 1-D

Bentuk kerutan	a/λ						
	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8
Hemisilinder yang didistribusikan secara berkala *h/a*= 0.25	0.1	0.1	0.3	0.7	0.8	0.8	-
Sinusoidal, *h/a*= 0.31 	0.05	0.05	0.2	0.7	0.8	0.85	-

Diffuser

Bentuk kerutan	a/λ						
	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8
RPG "Skyline" 	0.01	0.08	0.45	0.82	1.0	-	-

RPG "QRD"	0.06	0.15	0.45	0.95	0.88	0.91	-

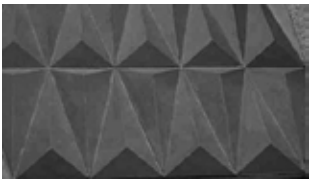
(Atas izin RPG Diffusor Systems, Inc.; www.rpginc.com)

Tempat duduk dan penonton

Bentuk kerutan	Frekuensi pita oktaf dalam Hz						
	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Penonton teater	0.3	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7
Tangga amfiteater, panjang 82 cm, tinggi 30 cm (Farnetani 2005)	0.05	0.45	0.75	0.9	0.9	-	-
Deretan meja ruang kelas dan orang-orang di kursi	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6

Round Robin III – Dinding dan langit-langit

Bentuk kerutan	a/λ						
	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8
Kotak persegi panjang dan prisma (dinding studio) "Round Robin III" (setelah (Bork 2005a))	0.50	0.90	0.95	0.95	0.95	0.95	-

Kotak trapesium (langit-langit studio) “Round Robin III” (setelah (Bork 2005a)) 	0.13	0.56	0.95	0.95	0.95	0.95	-

Optimasi Akustik Ruang dengan Simulasi Digital: Teori dan Studi Kasus

Optimasi Akustik Ruang dengan Simulasi Digital: Teori dan Studi Kasus merupakan panduan komprehensif bagi siapa pun yang ingin memahami dan menerapkan prinsipprinsip akustik ruang dalam perancangan bangunan. Buku ini menjembatani teori dasar akustik dengan praktik profesional melalui pendekatan simulasi digital yang kini menjadi standar dalam dunia arsitektur dan teknik bangunan modern.

Di dalamnya, pembaca akan menemukan penjelasan mendalam tentang prinsip-prinsip dasar akustik ruang, metode perbaikan kualitas suara melalui pendekatan geometris dan material, serta parameter-parameter penting seperti waktu dengung, kejelasan suara, dan indeks transmisi ucapan. Selain itu, buku ini juga menyajikan studi kasus nyata yang menunjukkan bagaimana simulasi digital diaplikasikan untuk mengatasi permasalahan akustik pada ruang ibadah dan aula. Disertai tutorial penggunaan software seperti ISIMPA dan EASE Focus, buku ini tidak hanya cocok untuk mahasiswa dan akademisi, tetapi juga menjadi referensi praktis bagi arsitek, insinyur, dan praktisi profesional dalam mendesain ruang dengan kualitas akustik optimal. Dengan gaya penyajian yang sistematis dan berbasis pengalaman lapangan, buku ini menegaskan pentingnya teknologi simulasi sebagai alat bantu utama dalam menciptakan lingkungan binaan yang nyaman secara auditori.

Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jl. Babarsari No. 5-6 Yogyakarta 55281
Telp. +62 274 487711
E-mail: lib.publisher@uajy.ac.id

ISBN 978-623-10-9507-7 (PDF)
9 786231 095077