

**TUGAS AKHIR - SF234801**

# **ANALISIS AKUSTIK RUANG DAN OPTIMASI SISTEM TATA SUARA PADA LANTAI DASAR GRHA ITS SEBAGAI RUANG UNTUK PIDATO DAN MUSIK**

**SYLVIA DE SHAFa AFIFAH**

**NRP 5001221003**

**Dosen Pembimbing**

**Dr. Suyatno, M.Si**

**NIP 197606202002121004**

**Program Studi Fisika**

**Departemen Fisika**

**Fakultas Sains dan Analitika Data**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya**

**2026**



**TUGAS AKHIR - SF234801**

# **ANALISIS AKUSTIK RUANG DAN OPTIMASI SISTEM TATA SUARA PADA LANTAI DASAR GRHA ITS SEBAGAI RUANG UNTUK PIDATO DAN MUSIK**

**SYLVIA DE SHAF A AFIFAH**

**NRP 5001221003**

**Dosen Pembimbing**

**Dr. Suyatno, M.Si**

**NIP 197606202002121004**

**Program Studi Fisika**

**Departemen Fisika**

**Fakultas Sains dan Analitika Data**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya**

**2026**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**FINAL PROJECT - SF234801**

# **ACOUSTIC ANALYSIS AND SOUND SYSTEM OPTIMIZATION OF THE GROUND FLOOR OF GRHA ITS AS A ROOM FOR SPEECH AND MUSIC**

**SYLVIA DE SHAFa AFIFAH**

**NRP 5001221003**

**Advisor**

**Dr. Suyatno, M.Si**

**NIP 197606202002121004**

**Study Program Physics**

Department of Physics

Faculty of Sains dan Analitika Data

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2026

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS AKUSTIK RUANG DAN OPTIMASI SISTEM TATA SUARA PADA LANTAI DASAR GRHA ITS SEBAGAI RUANG UNTUK PIDATO DAN MUSIK

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat

memperoleh gelar Sarjana pada

Program Studi S-1 Fisika

Departemen Fisika

Fakultas Sains dan Analitika Data

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : SYLVIA DE SHAFa AFIFAH

NRP. 5001221003

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Suyatno, M.Si.  
NIP. 197606202002121004

Pembimbing

2. Drs. Gontjang Prajitno M.Si.  
NIP. 196601021990031008

Penguji

3. Dr. Susilo Indrawati, M.Si.  
NIP 1986201812001

Penguji



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## APPROVAL SHEET

### ACOUSTIC ANALYSIS AND SOUND SYSTEM OPTIMIZATION OF THE GROUND FLOOR OF GRHA ITS AS A ROOM FOR SPEECH AND MUSIC

#### FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements

For obtaining a degree Bachelor of Science at

Undergraduate Study Program of Physics

Department of Physics

Faculty of Science and Data Analytics

Sepuluh Nopember Institute of Technology

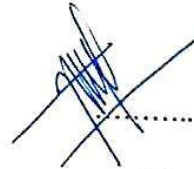
By : SYLVIA DE SHAFa AFIFAH

NRP. 5001221003

Approved by Final Project Examiner Team :

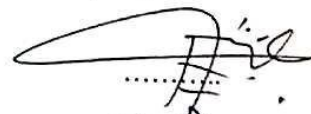
1. Dr. Suyatno, M.Si.  
NIP. 197606202002121004

Advisor



2. Drs. Gontjang Prajitno M.Si.  
NIP. 196601021990031008

Examiner I



3. Dr. Susilo Indrawati, M.Si.  
NIP 1986201812001

Examiner II



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Sylvia De Shafa Afifah / 5001221003  
Program studi : Fisika  
Dosen Pembimbing / NIP : Dr. Suyatno, M. Si / 197606202002121004

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS AKUSTIK RUANG DAN OPTIMASI SISTEM TATA SUARA PADA LANTAI DASAR GRHA ITS SEBAGAI RUANG UNTUK PIDATO DAN MUSIK” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 20 Juli 2016

Mengetahui  
Dosen Pembimbing

  
Dr. Suyatno, M.Si.  
NIP. 197606202002121004

Mahasiswa

  
Sylvia De Shafa Afifah  
NRP. 5001221003

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP : Sylvia De Shafa Afifah / 5001221003  
Departement : Physics  
Advisor / NIP : Dr. Suyatno, M. Si / 197606202002121004

Hereby declared that the Final Project with the title of "ACOUSTIC ANALYSIS AND SOUND SYSTEM OPTIMIZATION OF THE GROUND FLOOR OF GRHA ITS AS A ROOM FOR SPEECH AND MUSIC" is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with provisions that apply at Sepuluh Nopember Institute of Technology.

Surabaya, 20 July 2026

Acknowledged  
Advisor



Dr. Suyatno, M.Si.  
NIP. 197606202002121004

Student



Sylvia De Shafa Afifah  
NRP. 5001221003

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## ABSTRAK

### ANALISIS AKUSTIK RUANG DAN OPTIMASI SISTEM TATA SUARA PADA LANTAI DASAR GRHA ITS SEBAGAI RUANG UNTUK PIDATO DAN MUSIK

Nama Mahasiswa / NRP : Sylvia De Shafa Afifah / 5001221003  
Departemen : Fisika FSAD - ITS  
Dosen Pembimbing : Dr. Suyatno, M.Si

#### Abstrak

Grha ITS Surabaya sebagai ruang multifungsi membutuhkan kenyamanan akustik untuk fungsi pidato dan musik. Evaluasi dan analisis diperlukan untuk memenuhi fungsi tersebut. Evaluasi dan optimasi dilakukan melalui pengukuran dan simulasi parameter akustik, seperti: *background noise*, *noise criteria*, distribusi *Sound Pressure Level* (SPL), *reverberation time*, *bass ratio*, *treble ratio*, *Speech Transmission Index* (STI),  $D_{50}$ , dan  $C_{80}$ . Pengukuran dilakukan menggunakan metode *impulse response* dan *steady sound* yang mengacu standar ISO 3382-1, kemudian divalidasi dan dioptimasi melalui perangkat lunak simulasi EASE 4.3. Hasil pengukuran kondisi *existing* menunjukkan distribusi SPL yang tidak merata dengan rentang 67,82 dB hingga 87,40 dB dengan sumber suara 100 dB yang berasal dari suara speaker. Nilai *reverberation time* diukur menggunakan metode *impulse response* dan diperoleh nilai 1,41 – 4,10 detik. Nilai ini menyebabkan tingkat kejelasan suara yang rendah yang ditunjukkan dengan nilai rata-rata  $D_{50}$  sebesar 22,52% dan  $C_{80}$  sebesar -4,77 dB. Nilai *bass ratio* (0,83) dan *treble ratio* (0,91) menunjukkan karakter ruang yang *bright*. Optimasi sistem tata suara Grha ITS difokuskan untuk meningkatkan parameter distribusi SPL, STI, dan  $C_{80}$  melalui penambahan speaker dengan pengaturan sudut dan *delay time*. Hasil optimasi menunjukkan distribusi SPL yang jauh lebih merata (hampir 80% pada rentang 94 – 98 dB dari sumber 107 dB), STI sebesar 0,4 – 0,5 sebanyak 85%, dan  $C_{80}$  didominasi nilai -3,6 dB – 1,5 dB (65%). Meskipun terdapat peningkatan, optimasi sistem tata suara belum optimal untuk mencapai nilai STI pada kategori "sangat baik".

**Kata kunci:** *Akustik Ruang, Auditorium Multifungsi, Optimasi Sistem Tata Suara.*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## ABSTRACT

### ACOUSTIC ANALYSIS AND SOUND SYSTEM OPTIMIZATION OF THE GROUND FLOOR OF GRHA ITS AS A ROOM FOR SPEECH AND MUSIC

**Student Name / NRP** : Sylvia De Shafa Afifah / 5001221003  
**Department** : Fisika FSAD - ITS  
**Advisor** : Dr. Suyatno, M.Si.

#### Abstract

*Grha ITS Surabaya, as a multifunction room, need optimization acoustic comfort to support both speech intelligibility and musical performance functions. The evaluation and optimization process was conducted through the measurement and simulation of acoustic parameters, including: background noise, noise criteria, Sound Pressure Level (SPL) distribution, reverberation time, bass ratio, treble ratio, Speech Transmission Index (STI),  $D_{50}$ , dan  $C_{80}$ . Measurements were carried out using both impulse response and steady-state sound methods in accordance with the ISO 3382-1 standard, and were subsequently validated and optimized using EASE 4.3 acoustic simulation software. The measurements under the existing condition revealed a non-uniform SPL distribution, ranging from 67,82 dB to 87.40 dB with a 100 dB sound source. The reverberation time, measured using the impulse response method, ranged from 1.41 to 4.10 s. These values resulted in poor speech clarity, as indicated by an average  $D_{50}$  value of 22.52% and an average  $C_{80}$  value of  $-4.77$  dB. The bass ratio (0.83) and treble ratio (0.91) indicated a bright acoustic character of the room. The optimization of the Grha ITS sound reinforcement system was focused on improving SPL distribution, STI, and  $C_{80}$  through the addition of speakers with appropriate angle and delay-time adjustments. The optimization results demonstrated more uniform SPL distribution (80% of points falling within 94–98 dB from a 107 dB sound source). Furthermore, 85% of the measured STI values ranged from 0.4 to 0.5, while more than 65% of the  $C_{80}$  values were dominated by values above  $-3.6$  dB –  $-1.5$  dB. Although these improvements enhanced the overall acoustic performance, the optimized sound reinforcement system was still unable to achieve STI values corresponding to the “very good” category.*

**Keywords:** *Room Acoustics, Multipurpose Auditorium, and Sound System Optimization.*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah memberikan Rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Tugas akhir yang berjudul "Analisis Akustik Ruang dan Optimasi Sistem Tata Suara pada Lantai Dasar Grha ITS sebagai Ruang untuk Pidato dan Musik" ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Analitika Data, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Perjalanan panjang dalam menyelesaikan studi dan menulis tugas akhir ini tidak pernah menjadi proses yang mudah. Banyak tantangan yang mengharuskan penulis untuk terus bertahan. Selalu ada titik kritis dalam perjalanan menyelesaikan tugas akhir. Pada titik tersebut, ada pihak-pihak yang selalu memberikan bantuan, dukungan moral, maupun bimbingan intelektual yang tidak ternilai harganya. Tanpa kontribusi nyata dari mereka, karya ini tidak mungkin terwujud dalam bentuknya yang sekarang. Dengan kerendahan hati dan rasa hormat yang tulus, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya pada:

1. Allah SWT yang telah melimpahkan kelancaran dan kemudahan kepada penulis, sehingga penyelesaian tugas akhir ini dapat terwujud tepat pada waktunya.
2. Bapak Dr. Lila Yuwana, M.Si. sebagai Ketua Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Analitika Data, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang turut membantu dalam kelancaran proses perkuliahan penulis.
3. Bapak Dr. Suyatno, M.Si. selaku dosen pembimbing tugas akhir penulis yang senantiasa sabar dalam memberikan nasihat, bimbingan, serta motivasi selama proses penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak/Ibu Tata Usaha Departemen Fisika yang telah memberikan fasilitas dan bantuan administratif.
5. Orang tua penulis atas segala kasih sayang yang diberikan dalam membesarkan dan membimbing penulis selama ini sehingga penulis dapat terus berjuang dan meraih mimpi.
6. Saudara – saudara penulis, yakni Zainal Arifin, Shafira De Elliana, Nafisha De Zayna, Dinda Fitria, Zulfiah Shallowidia, Athira, dan Naura Kayla yang selalu mendukung saya dalam memberikan doa, serta motivasi kepada penulis.
7. Teman-teman penulis, yakni Auliyah, Lilin, Najwa, Alif, Retnaning, Rifdah, Rizka, Mirza, Argha, Zuu, Eline, Aryana, Putri Hinis, dan Giantrise yang telah menemani, memberikan dukungan, dan semangat kepada penulis selama proses penyelesaian tugas akhir.
8. Teman laboratorium akustik, yakni Tsaniatun Naila, Nadia Lailatul, Auliyah Shabirah, Afifatuzzakhira, Mas Naufal, dan Mbak Khofifah yang selalu membantu dan mendukung kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.
9. Seluruh teman-teman yang telah bersama penulis selama masa perkuliahan.
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu – persatu yang telah membantu penulis hingga selesainya penyusunan tugas akhir ini.
11. Diri sendiri yang tidak menyerah selama masa perkuliahan dan proses penulisan tugas akhir ini.

Akhir kata, penulis menyadari ini masih jauh dari kata sempurna. Untuk itu, mohon kritik dan saran membangun demi perbaikan di masa mendatang. Meskipun begitu, penulis berharap tugas akhir ini mampu memberikan kontribusi positif dan bermanfaat bagi pembaca. Semoga tugas akhir ini dapat menginspirasi penelitian selanjutnya untuk perkembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, 20 Juli 2026

Penulis

# DAFTAR ISI

|                                                          |                              |
|----------------------------------------------------------|------------------------------|
| LEMBAR PENGESAHAN                                        | Error! Bookmark not defined. |
| APPROVAL SHEET                                           | ii                           |
| PERNYATAAN ORISINALITAS                                  | iv                           |
| STATEMENT OF ORIGINALITY                                 | vi                           |
| ABSTRAK                                                  | viii                         |
| ABSTRACT                                                 | x                            |
| KATA PENGANTAR                                           | xiii                         |
| DAFTAR ISI                                               | xv                           |
| DAFTAR GAMBAR                                            | xviii                        |
| DAFTAR TABEL                                             | xxi                          |
| DAFTAR LAMPIRAN                                          | xxii                         |
| DAFTAR SINGKATAN                                         | xxv                          |
| BAB 1     PENDAHULUAN                                    | 27                           |
| 1.1   Latar Belakang                                     | 27                           |
| 1.2   Rumusan Masalah                                    | 28                           |
| 1.3   Batasan Masalah                                    | 28                           |
| 1.4   Tujuan                                             | 29                           |
| 1.5   Manfaat                                            | 29                           |
| BAB 2     TINJAUAN PUSTAKA                               | 31                           |
| 2.1   Hasil Penelitian Terdahulu                         | 31                           |
| 2.2   Dasar Teori                                        | 33                           |
| 2.2.1   Bunyi dan <i>Sound Pressure Level</i> (SPL)      | 33                           |
| 2.2.2   Propagasi Bunyi                                  | 34                           |
| 2.2.3 <i>Impulse response</i>                            | 35                           |
| 2.2.4 <i>Reverberation Time</i>                          | 35                           |
| 2.2.5   Bass Ratio                                       | 36                           |
| 2.2.6   Treble Ratio                                     | 37                           |
| 2.2.7   Clarity ( <b>C80</b> )                           | 37                           |
| 2.2.8 <i>Definition</i> ( <b>D50</b> )                   | 37                           |
| 2.2.9 <i>Speech Transmission Index</i> (STI)             | 38                           |
| 2.2.10 <i>Noise Criteria</i> dan <i>Background Noise</i> | 38                           |
| 2.2.11   Sistem Tata Suara dalam Ruangan                 | 40                           |

|        |                                                                                    |    |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.12 | Akustik Ruang di dalam Auditorium                                                  | 41 |
| BAB 3  | METODOLOGI                                                                         | 43 |
| 3.1    | Metode yang digunakan                                                              | 43 |
| 3.1.1  | Studi Literatur                                                                    | 43 |
| 3.1.2  | Observasi Awal                                                                     | 43 |
| 3.1.3  | Penentuan Parameter                                                                | 46 |
| 3.1.4  | Pengambilan Data di Lapangan                                                       | 46 |
| 3.1.5  | Simulasi                                                                           | 48 |
| 3.1.6  | Pengolahan Data                                                                    | 51 |
| 3.1.7  | Optimasi Sistem Tata Suara                                                         | 51 |
| 3.2    | Bahan dan peralatan yang digunakan                                                 | 51 |
| 3.3    | Urutan pelaksanaan penelitian                                                      | 53 |
| BAB 4  | Hasil dan Pembahasan                                                               | 55 |
| 4.1    | Kondisi <i>Existing</i>                                                            | 55 |
| 4.1.1  | Analisis <i>Background Noise</i> dan <i>Noise Criteria</i> Kondisi <i>Existing</i> | 55 |
| 4.1.2  | Analisis Distribusi <i>Sound Pressure Level</i> (SPL) Kondisi <i>Existing</i>      | 59 |
| 4.1.3  | Analisis <i>Reverberation Time</i> Kondisi <i>Existing</i>                         | 62 |
| 4.1.4  | Analisis <i>Bass Ratio</i> Kondisi <i>Existing</i>                                 | 64 |
| 4.1.5  | Analisis <i>Treble Ratio</i> Kondisi <i>Existing</i>                               | 65 |
| 4.1.6  | Analisis <i>Definition (D50)</i> Kondisi <i>Existing</i>                           | 66 |
| 4.1.7  | Analisis <i>Clarity (C80)</i> Kondisi <i>Existing</i>                              | 68 |
| 4.2    | Simulasi EASE 4.3                                                                  | 70 |
| 4.2.1  | Analisis <i>Reverberation Time</i> Simulasi EASE 4.3                               | 70 |
| 4.2.2  | Analisis <i>Bass Ratio</i> Simulasi EASE 4.3                                       | 72 |
| 4.2.3  | Analisis <i>Treble Ratio</i> Simulasi EASE 4.3                                     | 72 |
| 4.2.4  | Simulasi EASE 4.3 Satu Sumber Suara                                                | 72 |
| 4.2.5  | Simulasi EASE 4.3 Seluruh Speaker                                                  | 75 |
| 4.3    | Optimasi Sistem Tata Suara Grha ITS dengan Simulasi EASE 4.3                       | 80 |
| 4.3.1  | Analisis Optimasi Distribusi <i>Sound Pressure Level</i> (SPL)                     | 82 |
| 4.3.2  | Analisis Optimasi <i>Speech Transmission Index</i>                                 | 83 |
| 4.3.3  | Analisis Optimasi <i>Clarity (C80)</i>                                             | 84 |
| 4.4    | Pembahasan                                                                         | 85 |
| 4.4.1  | Perbandingan Hasil Pengukuran Kondisi <i>Existing</i> dan Simulasi EASE 4.3        | 85 |
| 4.4.2  | Analisis Hasil Optimasi Sistem Tata Suara Antar Parameter                          | 87 |

|                 |                      |     |
|-----------------|----------------------|-----|
| BAB 5           | Kesimpulan dan Saran | 91  |
| 5.1             | Kesimpulan           | 91  |
| 5.2             | Saran                | 91  |
| DAFTAR PUSTAKA  |                      | 93  |
| LAMPIRAN        |                      | 96  |
| BIODATA PENULIS |                      | 109 |

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2. 1 Rentang frekuensi dari komunikasi antar manusia dan musik terhadap rentang frekuensi pendengaran manusia (Sumber : Sutanto, 2015) .....                                                   | 33 |
| Gambar 2. 2 Skema jalur perambatan bunyi dalam ruangan (Sumber : Barron, 2010).....                                                                                                                   | 34 |
| Gambar 2. 3 Nilai optimum reverberation time terhadap volume ruangan (Sumber : Harris, 1997).....                                                                                                     | 36 |
| Gambar 2. 4 Kurva noise criteria (Sumber : Guyer, 2009).....                                                                                                                                          | 40 |
| Gambar 2. 5 Sistem penguat terdistribusi (Sumber : Doelle, 1986) .....                                                                                                                                | 41 |
| Gambar 2. 6 Bentuk plafon panggung ruang auditorium (Sumber : Mediatika, 2022) ...                                                                                                                    | 42 |
| Gambar 3. 1 Ruang Grha ITS. (a) Area depan atau panggung, b) Area belakang ruangan, (c) Ruangan tampak samping kiri menghadap panggung, dan (d) Ruangan tampak samping kanan menghadap panggung ..... | 44 |
| Gambar 3. 2 Set up peralatan .....                                                                                                                                                                    | 47 |
| Gambar 3. 3 Titik pengukuran background noise.....                                                                                                                                                    | 47 |
| Gambar 3. 4 Titik pengukuran distribusi SPL .....                                                                                                                                                     | 48 |
| Gambar 3. 5 Titik pengukuran impulse response. (a) Titik pengukuran mikrofon, dan (b) Titik peletusan balon .....                                                                                     | 48 |
| Gambar 3. 6 Simulasi pemodelan Grha Sepuluh Nopember. (a) Tampak atas, (b) Area audiens lantai dasar Grha, (c) Tampak depan, dan (d) Tampak samping kanan.....                                        | 49 |
| Gambar 3. 7 Model simulasi Grha ITS. (a) Tampak atas, (b) Tampak depan, (c) Tampak samping kiri, dan (d) Tampak samping kanan .....                                                                   | 50 |
| Gambar 3. 8 Letak speaker pada simulasi .....                                                                                                                                                         | 50 |
| Gambar 3. 9 Diagram alir tahapan penelitian .....                                                                                                                                                     | 53 |
| Gambar 4. 1 Denah Grha ITS.....                                                                                                                                                                       | 55 |
| Gambar 4. 2 Grafik background noise di sekitar Grha ITS .....                                                                                                                                         | 56 |
| Gambar 4. 3 Grafik background noise di dalam Grha ITS .....                                                                                                                                           | 57 |
| Gambar 4. 4 Kurva background noise dan kurva noise criteria ruang Grha ITS.....                                                                                                                       | 58 |
| Gambar 4. 5 Distribusi noise criteria .....                                                                                                                                                           | 59 |
| Gambar 4. 6 Grafik distribusi SPL Grha ITS kondisi existing .....                                                                                                                                     | 60 |
| Gambar 4. 7 Persebaran SPL Grha ITS kondisi existing frekuensi 1000 Hz .....                                                                                                                          | 61 |
| Gambar 4. 8 Grafik reverberation time Grha ITS kondisi existing .....                                                                                                                                 | 62 |
| Gambar 4. 9 Persebaran reverberation time Grha ITS kondisi existing frekuensi 1000 Hz .....                                                                                                           | 63 |
| Gambar 4. 10 Diagram batang bass ratio Grha ITS kondisi existing .....                                                                                                                                | 64 |
| Gambar 4. 11 Persebaran nilai bass ratio Grha ITS kondisi existing .....                                                                                                                              | 64 |
| Gambar 4. 12 Diagram batang treble ratio Grha ITS kondisi existing .....                                                                                                                              | 65 |
| Gambar 4. 13 Persebaran nilai treble ratio Grha ITS kondisi existing .....                                                                                                                            | 66 |
| Gambar 4. 14 Grafik <i>D</i> 50 Grha ITS kondisi existing.....                                                                                                                                        | 67 |
| Gambar 4. 15 Persebaran <i>D</i> 50 Grha ITS kondisi existing frekuensi 1000 Hz .....                                                                                                                 | 67 |
| Gambar 4. 16 Grafik <i>C</i> 80 Grha ITS kondisi existing .....                                                                                                                                       | 68 |
| Gambar 4. 17 Persebaran <i>C</i> 80 Grha ITS kondisi existing frekuensi 1000 Hz .....                                                                                                                 | 69 |
| Gambar 4. 18 Reverberation time Grha ITS Simulasi .....                                                                                                                                               | 71 |

|                                                                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4. 19 Distribusi SPL simulasi satu sumber suara frekuensi 1000 Hz. (a) Persebaran SPL, dan (b) Diagram batang SPL .....                                                                  | 73 |
| Gambar 4. 20 STI Grha ITS simulasi satu sumber suara frekuensi 1000 Hz. (a) Persebaran STI, dan (b) Diagram batang STI .....                                                                    | 74 |
| Gambar 4. 21 C80 Grha ITS simulasi satu sumber suara frekuensi 1000 Hz. (a) Persebaran C80, dan (b) Diagram batang C80 .....                                                                    | 75 |
| Gambar 4. 22 Distribusi SPL Grha ITS simulasi seluruh speaker frekuensi 1000 Hz. (a) Persebaran SPL, dan (b) Diagram batang SPL .....                                                           | 76 |
| Gambar 4. 23 STI Grha ITS simulasi seluruh speaker frekuensi 1000 Hz. (a) Persebaran STI, dan (b) Diagram batang STI .....                                                                      | 78 |
| Gambar 4. 24 C80 Grha ITS simulasi seluruh speaker frekuensi 1000 Hz. (a) Persebaran C80, dan (b) Diagram batang C80 .....                                                                      | 79 |
| Gambar 4. 25 Persebaran parameter akustik Grha ITS kondisi existing frekuensi 1000 Hz. (a) Distribusi SPL, (b) Reverberation time, (c) Bass ratio, (d) Treble ratio, (e) D50, dan (f) C80 ..... | 80 |
| Gambar 4. 26 Posisi speaker optimasi sistem tata suara Grha ITS .....                                                                                                                           | 81 |
| Gambar 4. 27 Optimasi distribusi SPL Grha ITS .....                                                                                                                                             | 82 |
| Gambar 4. 28 Optimasi STI Grha ITS .....                                                                                                                                                        | 83 |
| Gambar 4. 29 Optimasi C80 Grha ITS .....                                                                                                                                                        | 85 |
| Gambar 4. 30 Perbandingan distribusi SPL simulasi existing dan optimalisasi. (a) Simulasi existing, dan (b) Optimalisasi .....                                                                  | 88 |
| Gambar 4. 31 Perbandingan STI simulasi existing dan optimalisasi. (a) Simulasi existing, dan (b) Optimalisasi .....                                                                             | 88 |
| Gambar 4. 32 Perbandingan C80 simulasi existing dan optimalisasi. (a) Simulasi existing, dan (b) Optimalisasi .....                                                                             | 89 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2. 1 Penelitian terdahulu .....                                                                      | 31 |
| Tabel 2. 2 Kategori penilaian berdasarkan <i>D50</i> .....                                                 | 38 |
| Tabel 2. 3 Klasifikasi kualitas kejelasan ucapan .....                                                     | 38 |
| Tabel 2. 4 Baku tingkat kebisingan.....                                                                    | 39 |
| Tabel 2. 5 Rentang rekomendasi NC berdasarkan fungsi ruangan .....                                         | 39 |
| Tabel 3. 1 Material Ruang Grha ITS .....                                                                   | 44 |
| Tabel 3. 2 Data spesifikasi speaker main public address (PA) line array RM 103 LA .....                    | 45 |
| Tabel 3. 3 Data spesifikasi speaker subwoofer RM 1283 SB.....                                              | 45 |
| Tabel 3. 4 Data spesifikasi speaker B-Series, B212 A Active.....                                           | 45 |
| Tabel 3. 5 Data Spesifikasi Speaker B 215 Passive.....                                                     | 46 |
| Tabel 3. 6 Data volume dan luas ruangan Grha ITS.....                                                      | 49 |
| Tabel 3. 7 Alat dan bahan penelitian .....                                                                 | 51 |
| Tabel 4. 1 Sudut dan delay time speaker optimasi sistem tata suara Grha ITS .....                          | 82 |
| Tabel 4. 2 Perbandingan kondisi existing dan simulasi EASE 3.4.....                                        | 85 |
| Tabel 4. 3 Perbandingan hasil simulasi existing dan optimasi parameter akustik pada frekuensi 1000 Hz..... | 87 |

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR LAMPIRAN

|                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Lampiran 1. Persebaran distribusi SPL setiap frekuensi kondisi existing .....              | 97  |
| Lampiran 2. Persebaran reverberation time setiap frekuensi kondisi existing .....          | 98  |
| Lampiran 3. Tabel hasil perhitung bass ratio kondisi existing .....                        | 99  |
| Lampiran 4. Tabel hasil perhitungan treble ratio kondisi existing .....                    | 99  |
| Lampiran 5. Persebaran <i>D50</i> setiap frekuensi kondisi existing.....                   | 99  |
| Lampiran 6. Persebaran <i>C80</i> setiap frekuensi kondisi existing .....                  | 100 |
| Lampiran 7. SPL setiap frekuensi simulasi satu sumber suara .....                          | 101 |
| Lampiran 8. Persebaran SPL simulasi satu suara frekuensi 500 Hz .....                      | 101 |
| Lampiran 9. Histogram SPL simulasi satu sumber suara frekuensi 500 Hz.....                 | 101 |
| Lampiran 10. <i>C80</i> setiap frekuensi simulasi satu speaker .....                       | 102 |
| Lampiran 11. Persebaran <i>C80</i> simulasi satu speaker frekuensi 500 Hz .....            | 102 |
| Lampiran 12. Histogram <i>C80</i> simulasi satu speaker frekuensi 500 Hz.....              | 102 |
| Lampiran 13. SPL setiap frekuensi simulasi seluruh speaker.....                            | 102 |
| Lampiran 14. Persebaran SPL simulasi seluruh speaker frekuensi 500 Hz.....                 | 103 |
| Lampiran 15. Histogram SPL simulasi seluruh speaker frekuensi 500 Hz .....                 | 103 |
| Lampiran 16. <i>C80</i> setiap frekuensi simulasi seluruh speaker.....                     | 103 |
| Lampiran 17. Persebaran <i>C80</i> simulasi seluruh speaker frekuensi 500 Hz.....          | 103 |
| Lampiran 18. Histogram <i>C80</i> simulasi seluruh speaker frekuensi 500 Hz .....          | 104 |
| Lampiran 19. SPL setiap frekuensi optimalisasi.....                                        | 104 |
| Lampiran 20. Persebaran SPL optimasi frekuensi 500 Hz .....                                | 104 |
| Lampiran 21. Histogram SPL optimasi frekuensi 500 Hz.....                                  | 104 |
| Lampiran 22. <i>C80</i> setiap frekuensi optimalisasi.....                                 | 105 |
| Lampiran 23. Persebaran <i>C80</i> optimasi frekuensi 500 Hz .....                         | 105 |
| Lampiran 24. Histogram <i>C80</i> optimasi frekuensi 500 Hz .....                          | 105 |
| Lampiran 25. SPL simulasi optimasi terisi audiens setiap frekuensi.....                    | 105 |
| Lampiran 26. Persebaran SPL simulasi optimasi terisi audiens frekuensi 500 Hz.....         | 106 |
| Lampiran 27. Histogram SPL simulasi optimasi terisi audiens 500 Hz .....                   | 106 |
| Lampiran 28. Persebaran SPL simulasi optimasi terisi audiens frekuensi 1000 Hz.....        | 106 |
| Lampiran 29. Histogram SPL simulasi optimasi terisi audiens frekuensi 1000 Hz .....        | 106 |
| Lampiran 30. Persebaran STI simulasi optimasi terisi audiens .....                         | 107 |
| Lampiran 31. Histogram STI simulasi optimasi terisi audiens.....                           | 107 |
| Lampiran 32. <i>C80</i> simulasi optimasi terisi audiens setiap frekuensi.....             | 107 |
| Lampiran 33. Persebaran <i>C80</i> simulasi optimasi terisi audiens frekuensi 500 Hz.....  | 107 |
| Lampiran 34. Histogram <i>C80</i> simulasi optimasi terisi audiens frekuensi 500 Hz .....  | 108 |
| Lampiran 35. Persebaran <i>C80</i> simulasi optimasi terisi audiens frekuensi 1000 Hz..... | 108 |
| Lampiran 36. Histogram <i>C80</i> simulasi optimasi terisi audiens frekuensi 1000 Hz ..... | 108 |

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR SINGKATAN

|          |   |                                  |
|----------|---|----------------------------------|
| $C_{80}$ | : | <i>Clarity 80</i>                |
| $D_{50}$ | : | <i>Definition 50</i>             |
| dB       | : | Desibel                          |
| SPL      | : | <i>Sound Pressure Level</i>      |
| STI      | : | <i>Speech Transmission Index</i> |
| YMEC     | : | Yamashita Acoustic               |

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Aspek kenyamanan suatu bangunan tidak hanya terbatas pada faktor visual dan termal tetapi juga bergantung pada kenyamanan audio. Kualitas akustik ini berkaitan dengan pengendalian bising dan diukur berdasarkan satuan desibel (Ellizar, 2018). Analisis mendalam mengenai pemenuhan standar kenyamanan suara di dalam sebuah bangunan disebut akustik ruang. Akustik ruang tidak sekadar mengenai perancangan interior melainkan ilmu yang mengaji mekanisme produksi, perambatan, dan dampak suara. Interaksi antara medium atau ruang terhadap karakteristik suara yang diterima oleh indra pendengaran menjadi elemen yang penting untuk menciptakan ruang yang nyaman (Siska, 2019). Kualitas akustik yang baik memastikan informasi tersampaikan dengan jelas dan optimal. Parameter akustik seperti *Reverberation Time* (RT), *Speech Transmission Index* (STI), *Clarity* ( $C_{80}$ ), dan *Definition* ( $D_{50}$ ) menjadi indikator utama dalam mengevaluasi akustik suatu ruangan. Auditorium serbaguna atau *multifunction room* memiliki tantangan khusus karena harus mengakomodasi berbagai fungsi akustik yang berbeda sehingga memerlukan desain akustik yang fleksibel dan adaptif (Barron, 2010).

Auditorium multifungsi harus mengakomodasi berbagai jenis kegiatan dan karakteristik yang berbeda. Auditorium dengan berbagai fungsi ini memerlukan pendekatan desain akustik dengan target parameter yang berbeda untuk setiap fungsi. Menurut Ribeiro (2002), parameter akustik seperti *reverberation time* memiliki nilai optimum 0,85 hingga 1,3 pada fungsi pidato dan 1,3 hingga 1,83 untuk musik. Selain itu, ruangan yang berfungsi untuk pidato memiliki nilai optimum parameter akustik *definition* ( $D_{50}$ ) sebesar  $\geq 65$ . Ruang auditorium sebagai ruang musik juga memiliki nilai optimum *clarity* ( $C_{80}$ ) sebesar -2 dB hingga 4 dB. Pendekatan ini memiliki peran penting untuk pengukuran lapangan dan simulasi komputer dalam evaluasi dan optimasi akustik auditorium multifungsi berukuran besar.

Grha ITS merupakan salah satu auditorium utama yang berfungsi sebagai ruang serbaguna. Auditorium ini seringkali digunakan untuk menyelenggarakan berbagai kegiatan akademik maupun non-akademik. Sebagai fasilitas yang mampu menampung hingga ribuan pengguna, kualitas akustik gedung ini menjadi faktor penting dalam mendukung efektivitas komunikasi dan kenyamanan audiens. Berdasarkan penelitian sebelumnya terhadap kondisi akustik Grha ITS oleh Azmi (2024), terdapat beberapa permasalahan pada kondisi eksisting sebelum pemugaran. Evaluasi pada frekuensi 1000 Hz menunjukkan distribusi *Sound Pressure Level* (SPL) yang tidak merata dengan variasi antara titik ukur yang berdampak pada nilai *reverberation time*. Setelah implementasi sistem tata suara, karakter ruangan cenderung kering dan kurang memiliki kesan natural. Upaya perbaikan melalui simulasi dengan penambahan material menunjukkan hasil yang sesuai dengan kriteria ISO 3382-1:2009.

Pada akhir 2025 lalu, Grha ITS mengalami renovasi perubahan panggung dan penambahan ruang. Pada kondisi panggung, terdapat perubahan berupa bentuk dan ketinggian sayap panggung. Perubahan juga terjadi pada ketinggian dan penggunaan *videotron* pada *backdrop* panggung. Sementara itu di sisi lain ruangan mengalami perubahan volume ruangan. Pada awalnya terdapat ruangan-ruangan yang berada di sisi Grha ITS, kini ruangan tersebut dibongkar untuk memperluas Grha ITS. Perubahan volume ruangan secara langsung

memengaruhi parameter akustik seperti *reverberation time*, distribusi suara, dan lain sebagainya. Penambahan ruang juga berpotensi mengubah pola pantulan suara, distribusi energi bunyi, dan performa sistem tata suara yang sebelumnya telah dirancang berdasarkan kondisi lama. Tanpa evaluasi ulang, kondisi ini dapat menyebabkan ketidaksesuaian antara performa akustik aktual dengan standar yang direkomendasikan untuk fungsi pidato dan musik. Oleh karena itu, renovasi dan ekspansi ruang menuntut adanya evaluasi komprehensif untuk memastikan kualitas akustik tetap optimal dan sesuai dengan kebutuhan ruang multifungsi. Ruang lingkup penelitian ini mencakup evaluasi terhadap kondisi akustik *existing* berdasarkan standar ISO 3382-1:2009 dan optimasi sistem tata suara, dengan tujuan meningkatkan kualitas akustik dan tingkat kenyamanan audiens dalam berbagai fungsi penggunaan auditorium, mulai dari acara seremonial hingga kegiatan akademik dan kemahasiswaan di Grha ITS.

## 1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini memiliki beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana tingkat kenyamanan akustik ruang dan sistem tata suara Grha ITS berdasarkan parameter yang meliputi *Reverberation Time* (RT), *Bass Ratio*, *Treble Ratio*, *Clarity* ( $C_{80}$ ), *Definition* ( $D_{50}$ ), *Speech Transmission Index*(STI), dan *Sound Pressure Level* (SPL) berdasarkan hasil pengukuran lapangan?
2. Bagaimana hasil simulasi parameter akustik ruang Grha ITS menggunakan *software* akustik dan perbandingannya dengan hasil pengukuran lapangan?
3. Bagaimana rekomendasi optimasi sistem tata suara untuk meningkatkan performa akustik Grha ITS berdasarkan integrasi simulasi komputer?

## 1.3 Batasan Masalah

Agar pokok bahasan lebih terfokus dan terarah, maka batasan masalah ditetapkan sebagai berikut:

1. Pengambilan data pengukuran akustik dilakukan secara menyeluruh pada lantai dasar Grha ITS.
2. Pemodelan ruang pada *software* simulasi mengasumsikan bahwa ruangan Grha ITS memiliki geometri simetris.
3. Evaluasi dan optimasi akustik difokuskan untuk memenuhi kebutuhan fungsi pidato dan musik.
4. Pengukuran parameter akustik lapangan dilakukan dengan kondisi ruangan kosong untuk meminimalkan pengaruh kebisingan eksternal.
5. *Software* yang digunakan dalam penelitian ini meliputi SketchUp Pro 2021 untuk pemodelan geometri ruang, serta YMEC (Yamashita Acoustic), AudioTool, dan EASE 4.3 untuk simulasi dan evaluasi parameter akustik serta sistem tata suara.
6. Analisis parameter akustik kondisi *existing* dilakukan pada rentang 63 Hz – 8000 Hz serta parameter akustik simulasi dilakukan pada rentang 500 Hz dan 1000 Hz
7. Optimasi dalam penelitian ini terbatas pada konfigurasi sistem tata suara *existing* tanpa mengubah material akustik ruangan yang ada saat ini.
8. Evaluasi dan optimasi sistem tata suara difokuskan pada aspek konfigurasi teknis berupa sudut *aiming* (*horizontal* dan *vertical angle*), posisi penempatan speaker, dan *delay time* untuk meningkatkan distribusi SPL dan nilai STI, tanpa memberikan

rekomendasi spesifik mengenai merek, tipe, model, jumlah unit speaker, maupun spesifikasi teknis perangkat elektronik lainnya.

#### **1.4 Tujuan**

Berdasarkan rumusan masalah di atas, penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Menganalisis dan mengevaluasi parameter akustik ruang dan sistem tata suara Grha ITS yang meliputi *reverberation time*, *Bass Ratio*, *Treble Ratio*, *Clarity* ( $C_{80}$ ), *Definition* ( $D_{50}$ ), *Speech Transmission Index* (STI), dan *Sound Pressure Level* (SPL) melalui pengukuran lapangan sesuai standar ISO 3382:2009.
2. Melakukan simulasi parameter akustik ruang Grha ITS menggunakan *software* akustik serta membandingkan hasil simulasi dengan data pengukuran lapangan.
3. Melakukan simulasi optimasi konfigurasi sistem tata suara yang efektif untuk meningkatkan performa akustik Grha ITS sebagai auditorium multifungsi berdasarkan hasil simulasi komputer.

#### **1.5 Manfaat**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat dalam pengembangan serta penerapan ilmu akustik ruang. Penelitian ini berkontribusi pada pengayaan kajian akustik auditorium serbaguna melalui penyediaan data empiris mengenai performa akustik, integrasi metode pengukuran lapangan dan simulasi komputer, serta analisis mengenai akustik ruang untuk fungsi pidato dan musik. Penelitian ini berfokus pada akustik ruang Grha ITS sebagai ruangan multifungsi pada performa frekuensi 1000 Hz. Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas dan kenyamanan akustik bagi pengguna dalam berbagai kegiatan dan menjadi referensi studi kasus bagi praktisi dan konsultan akustik dalam menangani proyek serupa.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Hasil Penelitian Terdahulu

Referensi yang digunakan dalam penelitian parameter akustik pada Grha ITS disajikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Penelitian terdahulu

| No. | Penulis                                                | Judul                                                                                                                   | Hasil                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | Indrani et al., 2009<br>(Sumber: researchgate.net)     | Analisis Kinerja Akustik Pada Ruang Auditorium Multifungsi Studi kasus: Auditorium Universitas Kristen Petra, Surabaya  | Hasil menunjukkan bahwa auditorium belum memenuhi persyaratan sebagai ruang pertunjukan, distribusi SPL sudah merata, dan hasil <i>impulse response</i> menunjukkan auditorium belum memenuhi standar parameter akustik sebagai ruang multifungsi.                                              |
| 2.  | Basworo, 2017<br>(Sumber : repository.its.ac.id/46229) | Evaluasi Paramater Akustik Panggung Ruang Graha Sepuluh Nopember                                                        | Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi akustik panggung Grha Sepuluh Nopember lebih sesuai untuk kegiatan pidato dibandingkan pertunjukan musik karena parameter <i>ST early</i> dan <i>ST late</i> belum mencapai rekomendasi ideal untuk akustik panggung musik.                          |
| 3.  | Fauzi, 2018<br>(Sumber : repository.its.ac.id/58638)   | Perencanaan Sistem Tata Suara Auditorium Pusat Riset ITS - <i>Design Of Sound System Auditorium Research Center ITS</i> | Hasil pengukuran nilai <i>reverberation time</i> kurang sesuai dengan standar sehingga ruangan diberikan rekomendasi berupa penambahan material yang memiliki daya serap tinggi. Pengondisian speaker juga dilakukan untuk meningkatkan parameter kejelasan ruangan untuk ruang <i>speech</i> . |
| 4.  | Girón et al., 2020<br>(Sumber : sciencedirect.com)     | <i>Assessment of the subjective perception of reverberation in Spanish cathedrals</i>                                   | Penelitian menunjukkan bahwa pada ruang yang sangat bergema, pendengar sulit membedakan variasi <i>reverberation time</i> jika nilainya berada dalam rentang menengah. Selain itu, persepsi subjektif terhadap gema dipengaruhi oleh jenis sinyal suara dan pengalaman musikal pendengar.       |
| 5.  | Hafizd, 2024<br>(Sumber : repository.its.ac.id/16791)  | Analisis Kinerja Parameter Akustik Serta Pemodelan Tata Suara pada Ruang Auditorium                                     | Penelitian menunjukkan analisis kinerja akustik auditorium menggunakan metode <i>impulse response</i> . Hasil evaluasi kondisi <i>existing</i> digunakan sebagai dasar simulasi pemodelan sistem tata suara untuk meningkatkan                                                                  |

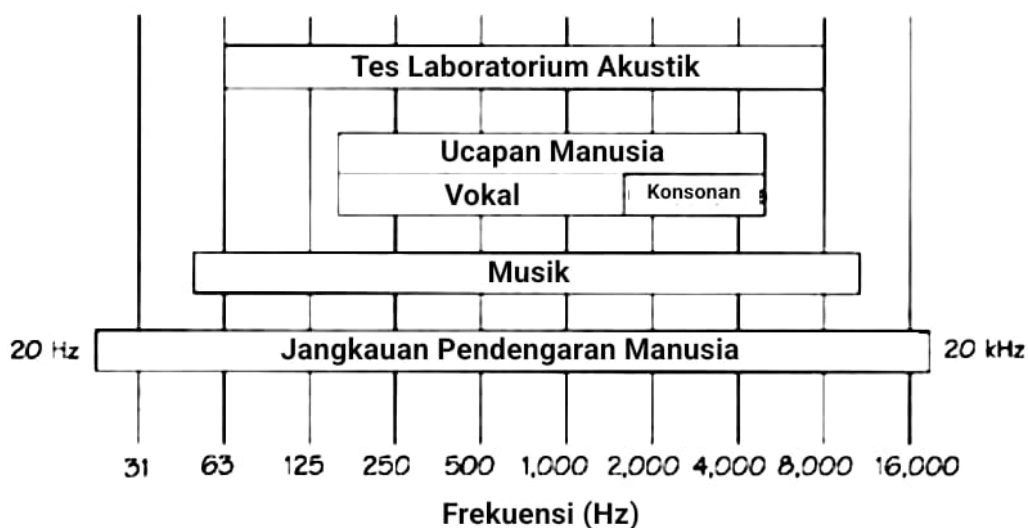
|    |                                                                                                                    |                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                                                                                                    | Gedung Pascasarjana ITS                                                                                                                       | performa akustik ruang agar lebih optimal dalam mendukung fungsi auditorium sebagai ruang pidato, kuliah, dan konferensi.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 6. | Azmi, 2024<br>(Sumber :<br><a href="https://repository.its.ac.id/13958">repository.its.ac.id/13958</a> )           | Analisis dan Pemodelan Kinerja Akustik serta Sistem Tata Suara di Grha ITSguna Meningkatkan Efisiensi Ruang sebagai <i>Multifunction Room</i> | Performa akustik Grha Sepuluh Nopember masih kurang optimal. Hal ini didasarkan pada distribusi SPL yang kurang merata pada frekuensi tertentu. Setelah simulasi dilakukan dengan optimasi material dan sudut sistem tata suara, akustik ruang pada Grha Sepuluh Nopember menjadi lebih baik dalam memenuhi fungsi ruang sebagai ruang <i>speech</i> dan musik.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 7. | Rachmasari & Subagio, 2024<br>(Sumber :<br><a href="https://journal.unpar.ac.id">journal.unpar.ac.id</a> )         | Optimasi Kinerja Akustik Masjid Al-Irsyad Satya Kota Baru Parahyangan                                                                         | Evaluasi dan optimasi kinerja akustik Masjid Al-Irsyad Satya Kota Baru Parahyangan berfungsi sebagai ruang ibadah sekaligus ruang komunikasi verbal untuk kegiatan seperti salat berjamaah, khutbah, pengajian, diskusi, dan pernikahan. Evaluasi dilakukan menggunakan parameter objektif akustik serta simulasi optimasi menggunakan perangkat lunak I-SIMPA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja akustik masjid masih berada di bawah standar. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh selubung bangunan berpori yang menyebabkan kebocoran suara dan mengurangi performa akustik ruang. Simulasi optimasi melalui modifikasi material dinding berhasil meningkatkan pemerataan distribusi suara, menghasilkan <i>reverberation time</i> yang lebih sesuai untuk fungsi masjid, serta meningkatkan kualitas kejelasan dan keterpahaman suara menjadi lebih baik. |
| 8. | Sukaj et al., 2026<br>(Sumber :<br><a href="https://mdpi.com/2076-3417/16/2/819">mdpi.com/2076-3417/16/2/819</a> ) | <i>Possible Merits of the Orchestra Pit Covering for speech Activities in Baroque Theatres</i>                                                | Opera di Roma (Italia) sebagai objek penelitian, dengan subjek penelitian berupa parameter akustik ruangan pada delapan konfigurasi berbeda yang membandingkan kondisi orchestra pit terbuka dan tertutup berisi kursi. Ruangan ini berfungsi sebagai gedung opera multifungsi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa menutup orchestra pit dengan kursi tidak memberikan perubahan signifikan pada parameter <i>definition</i> dan <i>clarity</i> , namun                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

|  |  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--|--|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  | <i>reverberation time</i> meningkat pada frekuensi 500 –1000 Hz, yang berlawanan dengan tujuan awal penutupan pit untuk mendukung aktivitas ujaran. Konfigurasi pit terbuka dengan kursi musisi terbukti lebih baik secara akustik untuk <i>speech</i> dibandingkan pit tertutup, meskipun operator teater tetap memilih menutup pit dengan alasan ekonomis yaitu menambah kapasitas penonton. |
|--|--|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Bunyi dan *Sound Pressure Level* (SPL)

Bunyi adalah gelombang longitudinal yang berasal dari sebuah getaran. Gelombang ini merambat melalui suatu medium dan mencapai indra pendengaran manusia. Manusia dapat mendengar bunyi dalam rentang yang sangat luas, yaitu 20 Hz hingga 20 kHz. Meskipun rentang ini sangat luas, rentang frekuensi manusia pada saat berbicara jauh lebih sempit dibandingkan rentang frekuensi untuk suara musik seperti pada Gambar 2.1. Rentang manusia pada saat berbicara berada pada frekuensi 250 Hz hingga 4000 Hz, sedangkan rentang frekuensi musik berada pada frekuensi 63 Hz hingga 4000 Hz (Sutanto, 2015).



Gambar 2. 1 Rentang frekuensi dari komunikasi antar manusia dan musik terhadap rentang frekuensi pendengaran manusia (Sumber : Sutanto, 2015)

Intensitas suara yang dapat diterima oleh telinga manusia memiliki rentang yang sangat luas. Intensitas ini menggunakan satuan desibel (dB) untuk mengukur logaritma perbandingan intensitas suara terhadap ambang batas pendengaran. Suara bisikan pelan berada di sekitar 20 dB, percakapan normal mencapai 60 dB, sementara suara yang melebihi 120 dB hingga 140 dB dapat menyebabkan rasa tidak nyaman (Subrahmanyam, 1995). Pengukuran tingkat suara ini secara teknis dinyatakan sebagai *Sound Pressure Level* (SPL). SPL mengukur perubahan

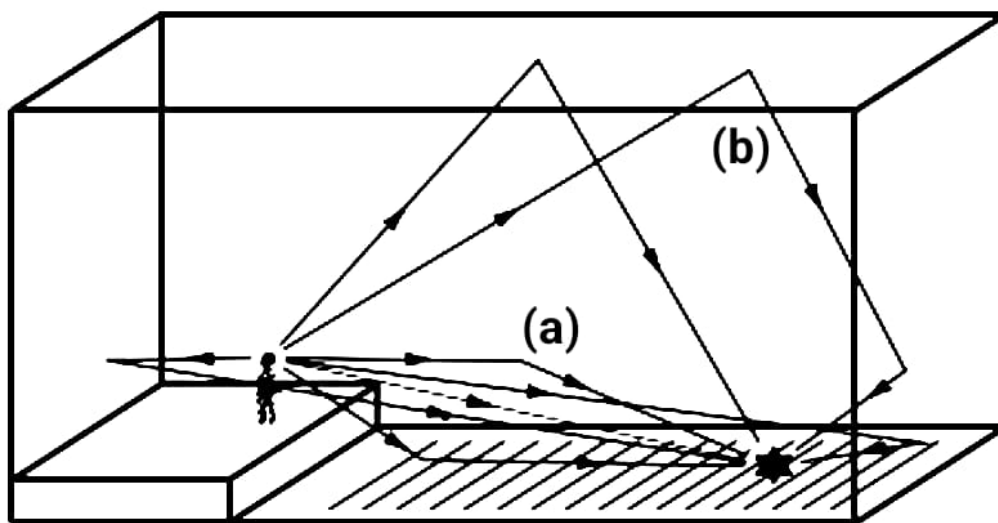
tekanan udara di atas dan di bawah tekanan atmosfer statis akibat gelombang suara (Kuttruff, 2017). SPL dinyatakan dalam persamaan 2.1.

$$L_p = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{rms}}{P_{ref}} \right)^2 \text{ dB} \quad (2.1)$$

Berdasarkan persamaan 2.1,  $L_p$  adalah tingkat tekanan suara,  $P_{rms}$  merupakan *root-mean-square* dari tekanan suara yang diukur, dan  $P_{ref}$  adalah tekanan referensi sebesar 20μPa. SPL digunakan karena telinga manusia memiliki tingkat sensitivitas yang lebih tinggi terhadap perubahan tekanan udara.

### 2.2.2 Propagasi Bunyi

Fenomena bunyi di dalam suatu ruang merupakan interaksi antara sumber suara, media rambat, dan batas yang membentuk volume ruangan (Barron, 2010). Ketika sebuah bunyi dihasilkan, gelombang suara merambat melalui suatu medium dan menyentuh permukaan ruangan. Batas ruangan dapat berupa dinding, lantai, dan langit-langit. Peristiwa yang terjadi antara gelombang bunyi dan batas ruangan meliputi pemantulan, penyerapan, hingga penyebaran. Proses perambatan bunyi dari sumber suara hingga ke pendengar disebut dengan propagasi bunyi. Jalur perambatan suara dan interaksi gelombang suara dengan permukaan ruangan dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Skema jalur perambatan bunyi dalam ruangan (Sumber : Barron, 2010)

Berdasarkan Gambar 2.2, garis lurus (garis a) dari sumber ke pendengar memiliki jarak terpendek tanpa hambatan yang disebut *direct sound* sedangkan garis-garis yang memantul (garis b) pada dinding atau langit kemudian mencapai pendengar disebut *reflected sound* (Vér & Beranek, 2006). Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa di dalam ruang tertutup, pendengar tidak hanya menerima satu sinyal suara melainkan serangkaian sinyal yang datang dalam waktu yang berbeda. Ini menunjukkan bahwa ruang berfungsi sebagai media yang membentuk karakter suara. Bunyi yang memantul akan menempuh jarak yang lebih jauh dan

tiba dengan perbedaan waktu yang sangat singkat setelah bunyi langsung. Intensitas energi bunyi yang menyebar di dalam ruangan tersebut akan mengalami pelemahan seiring dengan interaksinya dengan permukaan, di mana sebagian energi suara akan diserap dan sisanya akan dipantulkan kembali ke dalam ruang. Geometri dan material sebuah ruangan dapat memodulasi energi mekanik menjadi pengalaman auditori bagi pendengar. Oleh sebab itu, sebuah ruangan harus mampu menyeimbangkan energi suara agar tidak terjadi gema yang tumpang tindih namun tetap menjaga kejelasan suara (Barron, 2010).

### 2.2.3 *Impulse response*

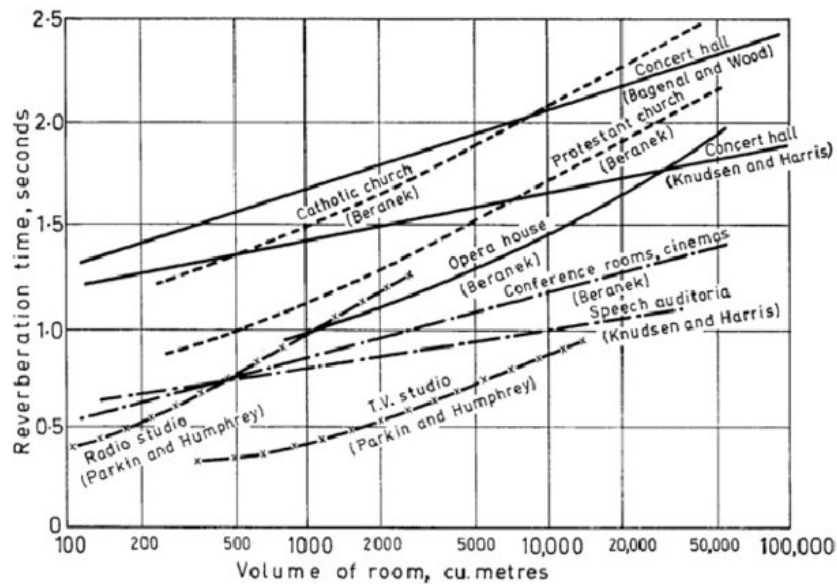
Menurut penelitian Mourjopoulos (1985), fungsi *impulse response* di suatu ruangan didefinisikan secara khusus oleh koordinat spasial sumber dan penerima, serta orientasi dan direktivitas sumber suara. Fungsi respon tersebut berubah seiring variasi posisi dan penerima. Selain faktor posisi, perubahan kecil seperti perpindahan objek fisik dalam ruangan atau kondisi pintu (dibuka atau ditutup) juga dapat memengaruhi sistem respon. *Impulse response* menjelaskan efek keseluruhan perjalanan suara dari sumber suara ke mikrofon penerima sehingga dapat merepresentasikan karakteristik akustik ruang.

### 2.2.4 *Reverberation Time*

Pantulan suara yang terjadi secara berulang pada permukaan ruang akan menyebabkan energi suara semakin berkurang hingga suara tersebut tidak dapat terdengar. Wallace Sabine memperkenalkan suatu ukuran untuk menggambarkan penurunan intensitas suara dalam ruang tertutup yang disebut sebagai *reverberation time*. Parameter ini mengaitkan jumlah total penyerapan suara dalam ruangan dengan volume ruangan untuk penurunan tingkat suara sebesar 60 dB. *Reverberation time* dinyatakan dalam persamaan 2.2.

$$RT = \frac{k \times V}{A} \text{ (detik)} \quad (2.2)$$

Berdasarkan persamaan 2.2, *RT* merupakan *reverberation time*, *k* adalah konstanta (0,161), *V* adalah volume ruangan ( $m^3$ ), dan *A* adalah total absorpsi. Jika suatu bunyi dengan tingkat 90 dB dihasilkan dalam ruangan yang sunyi maka waktu yang dibutuhkan hingga tingkat bunyi menurun menjadi 30 dB setelah sumber suara dihentikan disebut sebagai *reverberation time* dari ruangan tersebut (Pohl, 2009). Secara teknis, pengukuran *reverberation time* memerlukan sumber bunyi dengan pola radiasi segala arah untuk memastikan eksitasi ruangan yang seragam. Terdapat beberapa metode pengukuran yang umum digunakan yaitu metode derau terputus, metode *impulse response* terintegrasi, dan metode respon ruangan terhadap sumber impulsif seperti letusan balon atau tembakan pistol. Akurasi pengukuran setiap pengukuran ini dipengaruhi oleh volume ruangan, bentuk geometri, dan keberadaan mode ruangan (Jambrosic et al., 2008). *Reverberation time* sebuah ruangan harus disesuaikan dengan fungsi dan volume ruangan. *Reverberation time* yang optimal untuk masing-masing fungsi ruangan dapat dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 2. 3 Nilai optimum *reverberation time* terhadap volume ruangan (Sumber : Harris, 1997)

Berdasarkan Gambar 2.3, nilai *reverberation time* dipengaruhi oleh volume dan fungsi ruangan. Ruangan untuk fungsi pidato memerlukan waktu dengung yang lebih pendek untuk menjaga kejelasan ucapan. Sedangkan ruangan untuk fungsi musik membutuhkan waktu dengung yang lebih panjang. Oleh karena itu, penentuan *reverberation time* harus mempertimbangkan karakteristik ruangan dan tujuan penggunaan agar kualitas akustik yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan.

### 2.2.5 Bass Ratio

*Bass ratio* merupakan parameter akustik yang digunakan untuk mengukur kehangatan akustik suatu ruangan. Kehangatan akustik pada ruangan pertunjukan umumnya diasosiasikan dengan *reverberation time* yang lebih panjang pada frekuensi rendah dibandingkan frekuensi menengah. Parameter ini dikuantifikasi melalui perbandingan *reverberation time* pada frekuensi rendah terhadap frekuensi menengah (Everest & Pohlmann, 2009). *Bass ratio* ditulis dalam persamaan 2.3.

$$BR = \frac{RT_{125} + RT_{250}}{RT_{500} + RT_{1000}} \quad (2.3)$$

Berdasarkan persamaan 2.3, *BR* merupakan *bass ratio*,  $RT_{125}$  adalah *reverberation time* pada frekuensi 125 Hz,  $RT_{250}$  adalah *reverberation time* pada frekuensi 250 Hz,  $RT_{500}$  adalah *reverberation time* pada frekuensi 500 Hz, dan  $RT_{1000}$  adalah *reverberation time* pada frekuensi 1000 Hz. Nilai *bass ratio* yang direkomendasikan bervariasi bergantung pada karakteristik ruangan. Ruangan dengan nilai *reverberation time* di bawah 1,8 detik, nilai *bass ratio* yang direkomendasikan berada pada rentang 1,1 hingga 1,45. Sementara itu, nilai *bass ratio* yang direkomendasikan untuk ruangan dengan *reverberation time* di atas 1,8 detik berada pada rentang 1,1 hingga 1,25. Untuk fungsi *speech*, nilai *bass ratio* yang direkomendasikan sebesar 0,9 hingga 1,0 agar artikulasi tetap terjaga (Everest & Pohlmann, 2009).

### 2.2.6 Treble Ratio

*Treble ratio* merupakan salah satu parameter akustik objektif yang digunakan untuk mengkuantifikasi persepsi subjektif *treble* dalam ruangan. *Treble ratio* berkaitan dengan karaktersitik warna atau *timbre* sebuah ruangan (Gade, 2007). *Treble ratio* ditetapkan melalui serangkaian eksperimen yang dilakukan Soulodre dan Bradley (1995). Dari eksperimen tersebut, diperoleh korelasi yang kuat antara penilaian subjektif *treble* dengan rasio energi frekuensi tinggi terhadap frekuensi menengah dari *late sound*. Persepsi perbedaan *treble* antar ruang ditentukan oleh kandungan frekuensi tinggi pada energi *late sound*. *Treble ratio* dirumuskan dalam persamaan 2.4.

$$TR = \frac{RT_{2000} + RT_{4000}}{RT_{500} + RT_{1000}} \quad (2.4)$$

Berdasarkan persamaan 2.4, TR merupakan *treble ratio*,  $RT_{2000}$  adalah *reverberation time* pada frekuensi 2000 Hz,  $RT_{4000}$  adalah *reverberation time* pada frekuensi 4000 Hz,  $RT_{500}$  adalah *reverberation time* pada frekuensi 500 Hz, dan  $RT_{1000}$  adalah *reverberation time* pada frekuensi 1000 Hz

### 2.2.7 Clarity ( $C_{80}$ )

*Clarity* atau kejelasan dalam akustik ruang tidak sekadar tingkat pemahaman kata, melainkan sebagai kemampuan suatu ruangan untuk mentransfer informasi dari sumber ke pendengar dengan kehilangan informasi minimal (Griesinger, 2013). Indeks kejelasan umumnya dinyatakan melalui parameter  $C_{50}$  atau  $C_{80}$  merupakan rasio antara energi suara awal terhadap energi suara akhir. Kejelasan dalam sebuah *impulse response* ruangan dinyatakan dalam persamaan berikut 2.5.

$$C_{80} = 10 \log \frac{\int_0^{80} p^2(t) dt}{\int_{80}^{\infty} p^2(t) dt} \text{ dB} \quad (2.5)$$

Parameter ini merupakan salah satu prediktor utama dalam menentukan persepsi subjektif manusia terhadap ukuran sebuah ruangan. Indeks kejelasan ini membandingkan energi suara langsung dan pantulan awal dengan energi suara dengung yang tiba setelahnya (Cabrera, 2007).

### 2.2.8 Definition ( $D_{50}$ )

*Definition* ( $D_{50}$ ) didefinisikan sebagai rasio antara energi suara yang datang dalam 50 milidetik pertama sejak kedatangan bunyi langsung terhadap total energi suara keseluruhan. Batas waktu 50 milidetik ini dianggap sebagai ambang kejelasan ujaran yang masih dapat diterima dengan baik. Semakin tinggi nilai  $D_{50}$  maka semakin baik tingkat kejelasan pembicara yang dihasilkan karena semakin besar proporsi energi suara awal yang dimanfaatkan dalam rentang waktu tersebut (Utami, 2014).  $D_{50}$  dirumuskan dalam persamaan 2.6.

$$D_{50} = \frac{\int_0^{0,050} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \% \quad (2.6)$$

Menurut Ribeiro (2002), parameter  $D_{50}$  dapat digunakan untuk mengevaluasi tingkat kejelasan suara di dalam suatu ruangan. Semakin tinggi nilai  $D_{50}$ , semakin baik tingkat kejelasan ucapan yang dihasilkan. Ribeiro mengelompokkan kualitas *speech intelligibility* dan  $D_{50}$  ke dalam beberapa kategori seperti yang ditunjuk pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Kategori penilaian berdasarkan  $D_{50}$ 

| $D_{50}$ (%) | <i>Speech Intelligibility SI</i> (%) | Kategori     |
|--------------|--------------------------------------|--------------|
| 0-20         | 0-60                                 | Sangat buruk |
| 20-30        | 60-80                                | Buruk        |
| 30-45        | 80-90                                | Cukup/sedang |
| 45-70        | 90-97,5                              | Bagus        |
| 70-80        | 97,5-100                             | Sangat bagus |

Parameter  $D_{50}$  dapat digunakan sebagai indikator dalam mengevaluasi kualitas akustik ruang pada ruangan yang difungsikan untuk komunikasi verbal. Kategori pada Tabel 2.2 digunakan sebagai acuan dalam menginterpretasikan hasil pengukuran pada Grha ITS, sehingga dapat diketahui tingkat kejelasan ucapan dan kesesuaian Grha ITS dengan fungsi pidato.

### 2.2.9 *Speech Transmission Index*(STI)

*Speech Transmission Index* (STI) adalah parameter fisik objektif yang digunakan untuk memprediksi kejelasan ucapan yang dikirimkan melalui saluran transmisi suara atau dalam sebuah ruang akustik (Houtgast, 2002). STI mempresentasikan kualitas pemahaman kata karakteristik ucapan dari sumber ke penerima dalam rentang nilai antara 0 hingga 1. Kejelasan ucapan sangat dipengaruhi oleh dua faktor gangguan utama yaitu kebisingan latar belakang dan dengung. Kebisingan latar belakang dapat menurunkan rasio sinyal terhadap bising, sedangkan dengung menyebabkan efek pengaburan pada fluktuasi cepat ucapan. Berdasarkan Houtgast (2002), nilai STI dikelompokkan ke dalam kategori kualitas kejelasan ucapan berdasarkan skala standar internasional (ISO 9921 / IEC 60268-16) dalam Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Klasifikasi kualitas kejelasan ucapan

| Rentang Nilai STI | Kategori Kualitas |
|-------------------|-------------------|
| 0.00 – 0.30       | Buruk             |
| 0.30 – 0.45       | Kurang            |
| 0.45 – 0.60       | Cukup             |
| 0.60 – 0.75       | Baik              |
| 0.75 – 1.00       | Sangat baik       |

Kategori pada Tabel 2.3 digunakan sebagai acuan dalam menginterpretasikan hasil pengukuran pada Grha ITS, sehingga dapat diketahui tingkat kejelasan ucapan dan kesesuaian Grha ITS dengan fungsi pidato.

### 2.2.10 *Noise Criteria* dan *Background Noise*

*Background Noise* atau kebisingan latar belakang merupakan kebisingan dari sumber suara yang tidak diinginkan. Kebisingan latar belakang dapat berasal dari suara kendaraan yang lewat, konstruksi, dan lain sebagainya. Suara-suara ini dapat mengganggu kejelasan seseorang saat berbicara jika nilainya terlalu tinggi. Menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 48 Tahun 1996 Tentang : Baku Tingkat Kebisingan, standar kebisingan lingkungan diatur untuk membatasi tingkat kebisingan maksimal (dalam satuan dBA) di sebuah kawasan. Tabel 2.4 merupakan rincian ambang batas tingkat kebisingan berdasarkan area.

Tabel 2. 4 Baku tingkat kebisingan

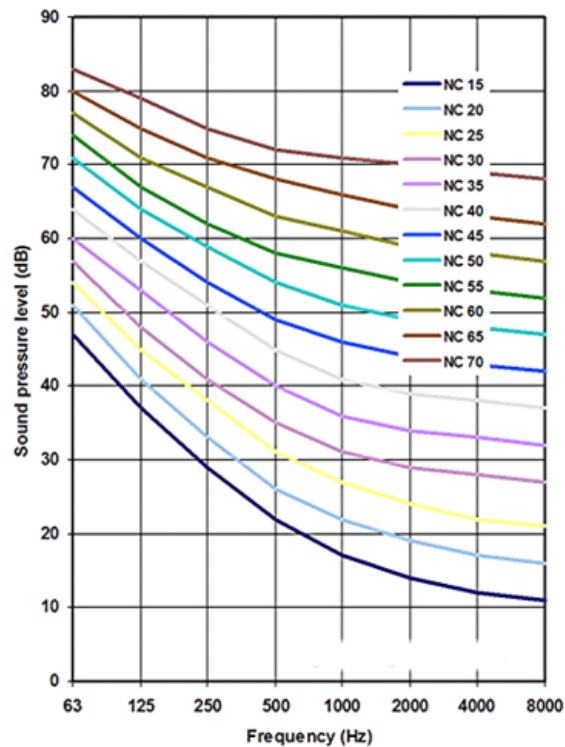
| Peruntukan Kawasan / Lingkungan Kesehatan | Tingkat Kebisingan (dBA) |
|-------------------------------------------|--------------------------|
| Perumahan dan pemukiman                   | 55                       |
| Perdagangan dan jasa                      | 70                       |
| Perkantoran dan perdagangan               | 65                       |
| Ruang terbuka hijau                       | 50                       |
| Industri                                  | 70                       |
| Pemerintah dan fasilitas umum             | 60                       |
| Rekreasi                                  | 70                       |
| Rumah sakit atau sejenisnya               | 55                       |
| Sekolah atau sejenisnya                   | 55                       |
| Tempat ibadah atau sejenisnya             | 55                       |

*Noise criteria* (NC) merupakan metode penilaian angka tunggal yang digunakan untuk menetapkan batas ambang kebisingan latar belakang yang diizinkan di dalam suatu ruangan. Kriteria ini bertujuan untuk memastikan bahwa suara mekanis di dalam ruangan tetap berada pada level yang dapat ditoleransi oleh manusia tanpa mengganggu fungsi utama ruangan (Kingsbury, 1995). *Noise criteria* dalam akustik ruang didasarkan pada tiga kebutuhan utama yaitu komunikasi bicara, privasi bicara, dan kenyamanan manusia. Berdasarkan Kingsbury (1995), rekomendasi *noise criteria* pada setiap ruangan memiliki rentang yang ditulis dalam Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Rentang rekomendasi NC berdasarkan fungsi ruangan

| Fungsi Ruangan             | Rekomendasi NC |
|----------------------------|----------------|
| Ruang konferensi kantor    | 25 – 35        |
| Ruang konser dan opera     | 20 – 25        |
| Teater dan ruang serbaguna | 25 – 30        |

Kurva *noise criteria* digunakan untuk menentukan atau mengevaluasi tingkat kebisingan yang sesuai di dalam ruangan. Kurva *noise criteria* dapat dilihat pada Gambar 2.4. Pada kurva tersebut menunjukkan hubungan antara tingkat tekanan suara atau SPL dengan pita frekuensi oktaf. Melalui kurva ini, tingkat kebisingan pada berbagai frekuensi dapat dianalisis untuk menilai apakah kondisi akustik suatu ruangan masih memenuhi standar kenyamanan yang diinginkan.



Gambar 2. 4 Kurva *noise criteria* (Sumber : Guyer, 2009)

Berdasarkan Gambar 2.4, kurva *noise criteria* dapat digunakan sebagai acuan untuk mengevaluasi tingkat kebisingan latar dalam ruangan berdasarkan distribusi tingkat tekanan bunyi pada berbagai frekuensi. Oleh karena itu, kurva *noise criteria* menjadi parameter dalam menilai kesesuaian tingkat kebisingan terhadap fungsi ruangan.

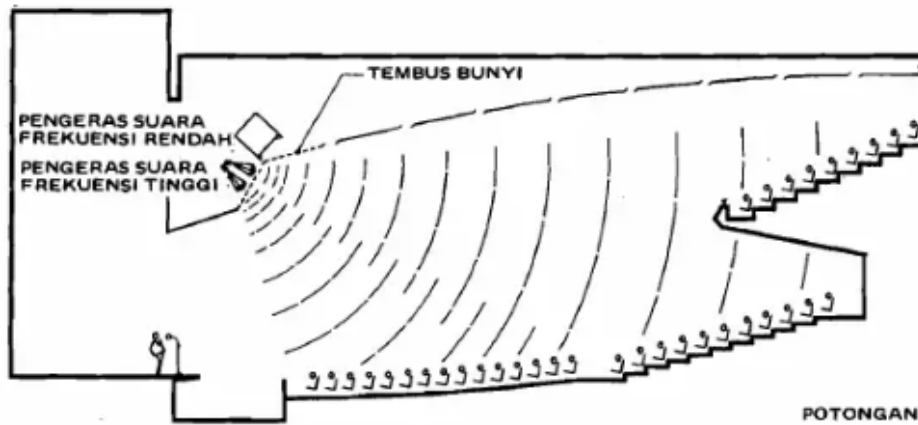
#### 2.2.11 Sistem Tata Suara dalam Ruangan

Speaker merupakan suatu transduser elektroakustik yang mengubah sinyal listrik menjadi energi akustik melalui pergerakan mekanis diafragma. Menurut Eargle (2003), speaker digunakan secara umum untuk merujuk baik pada *driver* (transduser) maupun sistem loudspeaker secara keseluruhan yang terdiri atas *driver*, *baffle*, *enclosure*, dan komponen pendukung lainnya. Pada sistem loudspeaker modern, driver dinamis tipe *cone* menjadi jenis yang paling banyak digunakan karena mampu menghasilkan respons daya yang relatif datar pada rentang frekuensi yang luas serta memiliki efisiensi yang baik. Kualitas reproduksi suara yang dihasilkan tidak hanya ditentukan oleh karakteristik loudspeaker, seperti respons frekuensi, efisiensi, dan directivity, tetapi juga oleh konfigurasi penempatannya, jumlah loudspeaker yang digunakan, serta interaksinya dengan kondisi akustik ruangan.

Ruang di dalam Grha ITS sangat besar sehingga tingkat bunyi pembicara seringkali terasa kecil bagi pendengar. Oleh sebab itu, sistem tata suara dirancang untuk memperkuat bunyi di dalam ruangan. Menurut Doelle (1986), sistem bunyi harus memenuhi beberapa kriteria seperti harus mentransmisi jangkauan frekuensi dan dinamik yang lebar, bebas dari gema, menciptakan dengung ruang yang rendah, dan menjaga bunyi asli ketika bunyi yang diperkuat datang.

Doelle (1986) membagi jenis sistem penguat suara menjadi sistem yang terpusat, sistem didistribusi, dan sistem stereofonik. Sistem terpusat atau sentral memperkuat bunyi

dengan arah yang sama (Gambar 2.5a). Sistem didistribusi menggunakan pengeras suara di atas dan sekeliling sumber bunyi (Gambar 2.5b). Sistem ini digunakan untuk auditorium dengan langit-langit rendah. Sistem bunyi stereofonik membuat bunyi datang dari sumber asal karena bunyi asli mendekat dari pengeras suara pada intensitas yang sebanding dengan jarak mikrofon ke penonton. Sistem ini biasanya digunakan pada panggung bergerak dan instrumen berkelompok.



(a)



(b)

Gambar 2. 5 Sistem penguat terdistribusi (Sumber : Doelle, 1986)

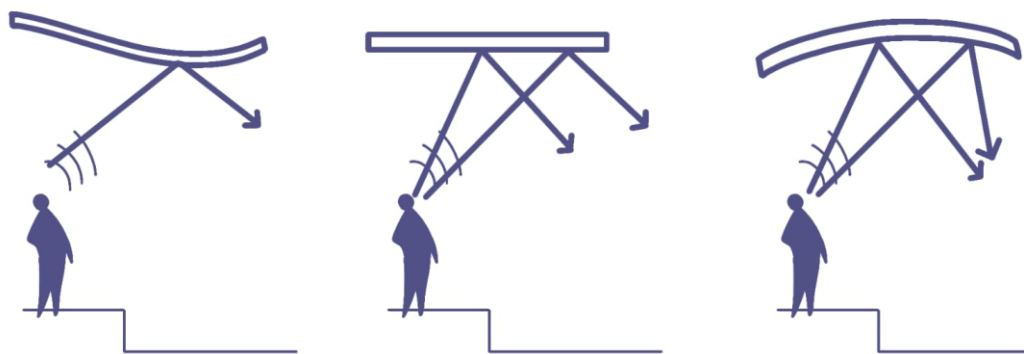
Berdasarkan Gambar 2.5, pemilihan konfigurasi sistem tata suara akan memengaruhi distribusi energi bunyi yang diterima pendengar. Oleh karena itu, pemilihan jenis sistem penguat suara perlu disesuaikan dengan karakteristik dan kebutuhan akustik ruang agar diperoleh kualitas pendengaran yang optimal.

### 2.2.12 Akustik Ruang di dalam Auditorium

Akustik ruang di auditorium dirancang untuk mendukung aktivitas multifungsi seperti pidato, seminar, atau pertunjukkan musik dengan mengontrol parameter akustik. Terdapat dua parameter akustik yang digunakan yaitu parameter subjektif dan objektif. Parameter subjektif bergantung pada persepsi individu sementara parameter objektif yang bersifat analitis seperti *reverberation time*, *SPL*, *Clarity*, dan lain sebagainya (Indrani et al., 2009). Di dalam ruang auditorium, kondisi mendengar yang baik memiliki beberapa aspek yang perlu dipenuhi seperti kekerasan yang cukup di tiap bagian auditorium, distribusi energi bunyi yang merata,

karakteristik dengung optimum, ruang bebas dari cacat akustik, dan mengurangi bising yang mengganggu pendengaran (Doelle & Prasetio, 1986).

Kenyamanan akustik dalam ruang auditorium serbaguna diukur melalui kemampuan ruang dalam memastikan kejelasan ucapan dan distribusi suara yang seimbang. Desain lantai, dinding, dan plafon panggung harus mampu mendistribusikan bunyi dari panggung ke penonton. Desain plafon pada Gambar 2.6 menunjukkan bahwa plafon berundak lebih efektif menyebarkan bunyi secara merata dibandingkan plafon datar atau cekung (Mediastika, 2022). Bentuk dinding dan lantai juga diatur sedemikian rupa agar mampu menyerap bunyi dan tidak menimbulkan pemantulan berlebihan. Pemilihan bentuk ini juga perlu diperhatikan dalam ruang penonton. Selain bentuk elemen ruang, pemilihan material juga berperan penting dalam menentukan kualitas akustik di dalam auditorium. Peningkatan koefisien absorpsi melalui penggunaan material tertentu atau pengaturan elemen ruang akan menurunkan *reverberation time* sehingga dapat memperjelas suara yang dipancarkan. Sementara itu, penggunaan material yang sangat reflektif akan meningkatkan *reverberation time* yang berisiko merusak kualitas pertunjukan akibat suara yang berkepanjangan (Birtan et al., 2026).



Gambar 2. 6 Bentuk plafon panggung ruang auditorium (Sumber : Mediastika, 2022)

Variabel akustik sangat penting untuk ruang serbaguna. Kebutuhan akustik untuk musik klasik sangat berbeda dibandingkan dengan kebutuhan untuk fungsi pidato. *Reverberation time* yang diperlukan untuk fungsi musik lebih panjang dan penguatan pantulan samping melalui nilai *lateral fraction* yang tinggi guna menciptakan kehangatan suara. Sebaliknya, ruangan untuk pidato harus memiliki tingkat penyerapan yang lebih tinggi untuk meminimalkan dengung, sehingga parameter kejelasan seperti indeks transmisi percakapan dan definisi dapat mencapai nilai optimal agar setiap kata dapat dimengerti (Cairol, 2021).

## **BAB 3**

### **METODOLOGI**

#### **3.1 Metode yang digunakan**

Penelitian ini menggunakan pendekatan metodologi kombinasi antara pengukuran lapangan dan simulasi *existing* untuk memperoleh data yang komprehensif mengenai kondisi akustik Grha ITS. Pengukuran lapangan dilakukan secara langsung di lokasi penelitian pada waktu siang hari dengan kondisi ruangan kosong untuk meminimalkan interferensi kebisingan eksternal dan memperoleh karakteristik akustik yang murni dari ruangan. Sementara itu, simulasi *existing* dilakukan menggunakan *software* seperti SketchUp 2021 Pro untuk memodelkan geometri tiga dimensi ruang auditorium dan diintegrasikan dengan *software* EASE 4.3 untuk analisis parameter akustik dan evaluasi sistem tata suara. Ada pun beberapa urutan metode yaitu studi literatur untuk membangun landasan teoritis, observasi awal mengidentifikasi kondisi fisik dan akustik ruangan, penentuan parameter yang akan dievaluasi sesuai standar ISO 3382-1:2009, pengambilan data melalui pengukuran lapangan, pengolahan data pengukuran menggunakan *software* analisis akustik, simulasi kondisi *existing* dan validasi data pengukuran lapangan, serta optimasi sistem tata suara untuk mencapai target parameter akustik yang telah ditetapkan. Urutan tahapan ini dirancang untuk memastikan proses penelitian berjalan secara terstruktur, efisien, dan menghasilkan rekomendasi yang aplikatif.

##### **3.1.1 Studi Literatur**

Studi literatur merupakan tahapan untuk fundamental dalam penelitian yang bertujuan untuk mengumpulkan, mengaji, dan menyintesis berbagai sumber informasi ilmiah yang relevan dengan topik evaluasi dan optimasi akustik ruang auditorium serbaguna. Literatur dikumpulkan dalam berbagai sumber seperti jurnal ilmiah, buku teks, proceedings konferensi internasional, dan dokumen standar ISO. Studi literatur difokuskan pada tiga aspek, yaitu penelitian terdahulu, konsep dan teori, serta standar dan regulasi internasional. Penelitian terdahulu meliputi evaluasi akustik auditorium multifungsi, metode pengukuran dan simulasi akustik, serta optimasi sistem tata suara pada ruangan berukuran besar. Konsep dan teori akustik ruang mencakup parameter akustik, karakteristik material akustik, prinsip propagasi gelombang suara, serta teori sistem tata suara. Standar dan regulasi internasional seperti ISO 3382-1:2009 tentang pengukuran parameter akustik pada *performance spaces* dan standar pengukuran lainnya terkait *speech intelligibility* dan desain akustik auditorium. Pada tahapan ini, peneliti mengidentifikasi *research gap* dan membangun kerangka teoritis yang menjadi landasan dalam menentukan parameter evaluasi dan optimalisasi.

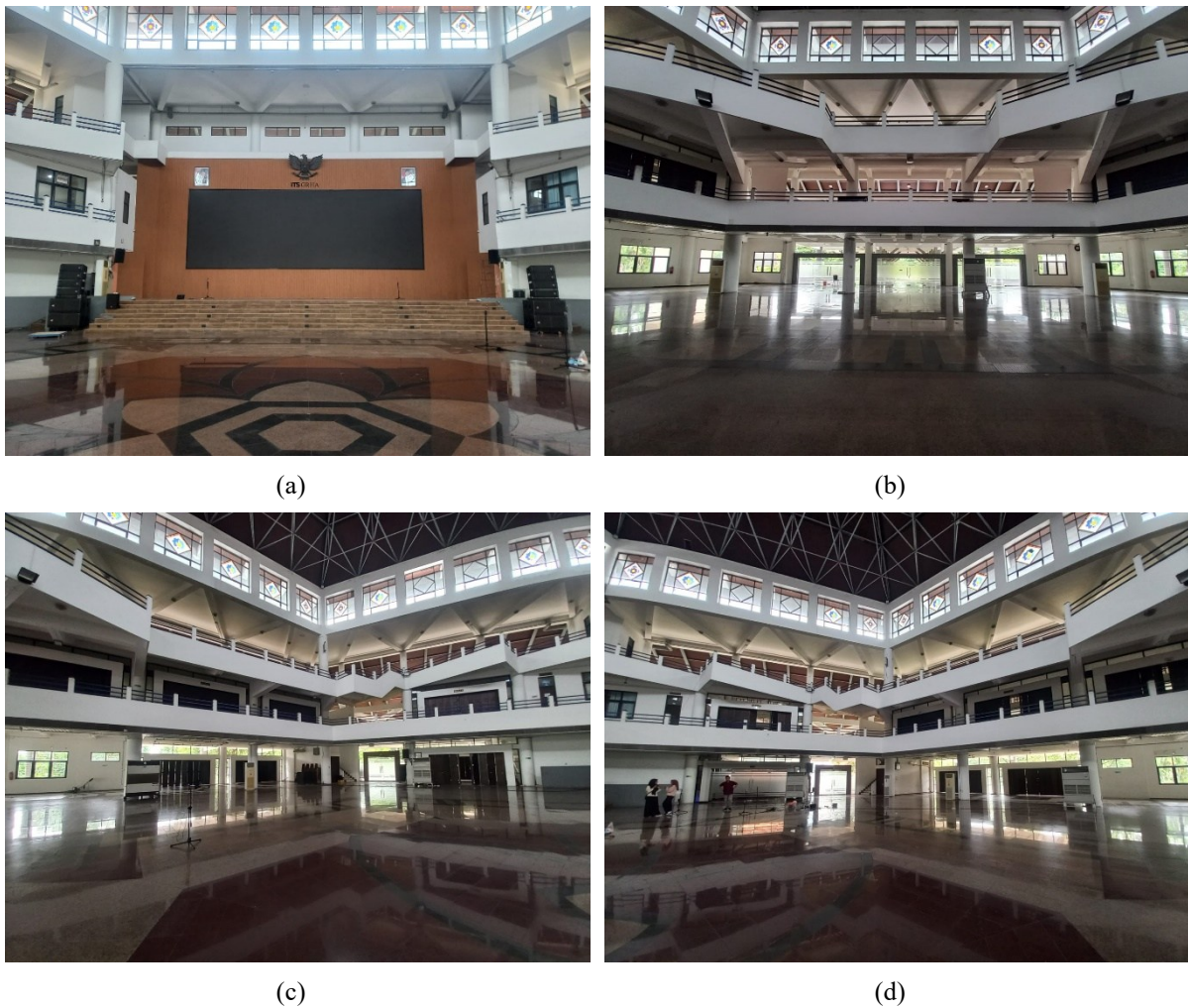
##### **3.1.2 Observasi Awal**

Observasi awal merupakan langkah untuk memperoleh pemahaman mendalam mengenai kondisi fisik, karakteristik arsitektural, dan konteks objek penelitian, yaitu Grha ITS. Kegiatan observasi mengamati berbagai aspek penting ruangan, antara lain:

1. Geometri dan dimensi ruang termasuk panjang, lebar, tinggi langit-langit, dan volume ruangan.
2. Karakteristik material pembentuk ruang seperti jenis material dinding, lantai, plafon, panggung, dan elemen arsitektural lainnya.

3. Konfigurasi *existing* sistem tata suara mencakup jumlah, tipe, posisi, dan sudut aiming speaker yang terpasang.
4. Identifikasi sumber kebisingan potensial baik dari dalam maupun luar bangunan.

Bangunan Grha ITS memiliki 3 lantai seperti pada Gambar 3.1. Lantai dasar atau lantai pertama berupa ruangan yang luas, lantai kedua terdiri beberapa ruangan di sisi kanan dan kiri, serta lantai ketiga berisi tempat duduk yang menyerupai tribun. Lantai dasar Grha ITS terdapat panggung dan pilar yang tersebar di berbagai sisi ruangan. Pintu dan jendela berada di sepanjang dinding ruangan Grha ITS.



Gambar 3. 1 Ruang Grha ITS. (a) Area depan atau panggung, b) Area belakang ruangan, (c) Ruangan tampak samping kiri menghadap panggung, dan (d) Ruangan tampak samping kanan menghadap panggung

Berdasarkan Gambar 3.1, material Grha ITS diidentifikasi untuk mengetahui pengaruh jenis material di dalam ruang tersebut. Proses ini mencakup seluruh elemen yang ada di dalam ruang, seperti plafon, dinding, lantai, panggung, pintu, jendela, dan lain sebagainya. Jenis material dalam Grha Sepuluh Nopember disajikan dalam Tabel 3.1

Tabel 3. 1 Material Ruang Grha ITS

| Bagian Bangunan | Jenis Material                         |
|-----------------|----------------------------------------|
| Dinding         | Beton <i>concrete</i> atau beton halus |
| Atap            | Beton <i>concrete</i> atau beton halus |

|                         |                                        |
|-------------------------|----------------------------------------|
| Lantai                  | Keramik                                |
| Pintu dan jendela       | Kaca                                   |
| Bingkai pintu           | Keramik                                |
| Struktur panggung       | Kayu                                   |
| Kolom struktur panggung | Beton <i>concrete</i> atau beton halus |
| Videotron               | Logam                                  |
| Rolling door ruang      | Besi                                   |

Identifikasi juga dilakukan pada sistem tata suara Grha Sepuluh Nopember. Sistem tata suara pada ruang ini memiliki beberapa jenis speaker yang tersebar di area panggung dan sekitarnya. Line Array RM 103 LA dan *subwoofer* RM 1283 SB sebagai *direct speaker* untuk *Main Public Address* (PA). Speaker tipe B-series seperti B212 A Active dan B 215 Passive sebagai monitor dan *side fill* panggung. Spesifikasi masing-masing speaker disajikan ke dalam Tabel 3.2 hingga Tabel 3.5.

Tabel 3. 2 Data spesifikasi speaker *main public address* (PA) line array RM 103 LA

| Standar Spesifikasi                                 | Nilai Parameter        |
|-----------------------------------------------------|------------------------|
| <i>Frequency Range</i> (-10 dB)                     | 38 Hz – 19 kHz         |
| <i>Frequency Response</i> ( $\pm 3$ dB)             | 72 Hz – 17 kHz         |
| <i>Horizontal Coverage Angle</i> (-6 dB)            | 100°                   |
| <i>Vertical Coverage Angle</i> (-6 dB)              | 30°                    |
| <i>Crossover Modes</i>                              | <i>Passive</i>         |
| <i>System Sensitivity</i> (1w/1m)                   | 94 dB                  |
| <i>Maximum SPL</i> <sup>1</sup>                     | 129 dB                 |
| <i>System Nominal Impedance</i>                     | 4 Ohm                  |
| <i>Power Rating</i> (RMS/Program/Peak) <sup>2</sup> | 800 / 1600 / 3200 Watt |

Tabel 3. 3 Data spesifikasi speaker *subwoofer* RM 1283 SB

| Standar Spesifikasi                                 | Nilai Parameter         |
|-----------------------------------------------------|-------------------------|
| <i>Frequency Range</i> (-10 dB)                     | 30 Hz – 2.2 kHz         |
| <i>Frequency Response</i> ( $\pm 3$ dB)             | 40 Hz – 1.8 kHz         |
| <i>Horizontal Coverage Angle</i> (-6 dB)            | <i>Omni-directional</i> |
| <i>Vertical Coverage Angle</i> (-6 dB)              | <i>Omni-directional</i> |
| <i>System Sensitivity</i> (1w/1m)                   | 93 dB                   |
| <i>Maximum SPL</i> <sup>1</sup>                     | 123 dB                  |
| <i>System Nominal Impedance</i>                     | 4 Ohm                   |
| <i>Power Rating</i> (RMS/Program/Peak) <sup>2</sup> | 2200/ 4400/ 8800 Watt   |

Tabel 3. 4 Data spesifikasi speaker B-Series, B212 A *Active*

| Standar Spesifikasi                      | Nilai Parameter |
|------------------------------------------|-----------------|
| <i>Frequency Range</i> (-10 dB)          | 57 Hz – 20 kHz  |
| <i>Horizontal Coverage Angle</i> (-6 dB) | 90°             |
| <i>Vertical Coverage Angle</i> (-6 dB)   | 90°             |
| <i>Maximum SPL Peak</i>                  | 126 dB          |
| <i>Crossover Point</i>                   | 3 KHz           |
| <i>Power Rating</i> (RMS)                | 350 W           |
| <i>Power Consumption</i>                 | 125 W           |
| <i>Input Impedance</i>                   | 20 K Ohms       |
| <i>Input Sensitivity</i>                 | 1 V             |
| <i>AC Input</i>                          | 220 V ~ 50 Hz   |

Tabel 3. 5 Data Spesifikasi Speaker B 215 *Passive*

| Standar Spesifikasi                                 | Nilai Parameter       |
|-----------------------------------------------------|-----------------------|
| <i>Frequency Range</i> (-10 dB)                     | 50 Hz – 20 kHz        |
| <i>Frequency Response</i> ( $\pm 3$ dB)             | 80 Hz – 20 Hz         |
| <i>Horizontal Coverage Angle</i> (-6 dB)            | 90°                   |
| <i>Vertical Coverage Angle</i> (-6vdB)              | 90°                   |
| <i>Crossover Modes</i>                              | <i>Passive</i>        |
| <i>System Sensitivity</i> (1w/1m)                   | 94 dB                 |
| <i>Maximum SPL</i> <sup>1</sup>                     | 126 dB                |
| <i>System Nominal Impedance</i>                     | 4 Ohm                 |
| <i>Power Rating</i> (RMS/Program/Peak) <sup>2</sup> | 400 / 800 / 1600 Watt |

### 3.1.3 Penentuan Parameter

Penentuan parameter merupakan proses menetapkan besaran kuantitatif yang akan diukur dan dievaluasi. Penentuan parameter ini bertujuan untuk memberikan acuan dalam mengukur kinerja akustik ruang Grha ITS sehingga evaluasi dapat dilakukan secara ilmiah dan tidak subjektif. Penentuan parameter ini memberikan data yang diperlukan untuk analisis mendalam, identifikasi permasalahan akustik, validasi hasil, dan pengambilan keputusan optimasi sistem tata suara yang efektif.

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini dipilih berdasarkan relevansi ruang Grha ITS sebagai ruang serbaguna dan aspek-aspek kualitas akustik yang berbeda berdasarkan ISO 3382-1:2009. Parameter tersebut meliputi *background noise*, *criteria noise*, distribusi SPL, *bass ratio*, *treble ratio*, STI,  $C_{80}$ , dan  $D_{50}$ . Setiap parameter ini memiliki fungsi masing-masing dalam evaluasi akustik dan memberikan informasi yang saling melengkapi untuk memperoleh kondisi akustik Grha ITS.

Parameter ini diukur dalam rentang 63 Hz hingga 8000 Hz dengan filter 1/3 oktaf. Namun parameter  $D_{50}$  diukur pada rentang 250 Hz hingga 4000 Hz dengan filter 1/3 oktaf. Pemilihan ini berdasarkan pada rentang frekuensi komunikasi antar manusia dan musik terhadap rentang frekuensi pendengaran manusia (Gambar 2.1). Analisis parameter dilakukan pada frekuensi 1000 Hz karena frekuensi tersebut representatif terhadap persepsi ucapan. Data parameter ini dikumpulkan melalui pengukuran lapangan dan simulasi kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi kondisi akustik dan strategi optimasi yang tepat.

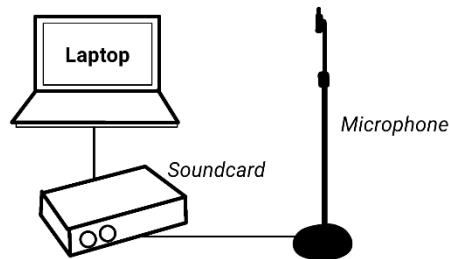
### 3.1.4 Pengambilan Data di Lapangan

Pengambilan data dilakukan secara langsung di lapangan dan simulasi *existing*. Simulasi *existing* menggunakan perangkat lunak EASE 3.4 untuk mendapatkan parameter yang telah ditentukan. Sementara itu, pengukuran lapangan dilakukan dengan dua sumber suara, yaitu *steady sound* dan *impulse response*. *Steady sound* digunakan untuk mencari nilai *background noise*, *noise criteria*, dan distribusi SPL sedangkan *impulse response* digunakan untuk mencari *reverberation time*, *bass ratio*, *treble ratio*,  $C_{80}$ , dan  $D_{50}$ .

#### 3.1.4.1 Set-Up Peralatan Pengukuran dan Pengondisian Ruang

Pengecekan alat dilakukan dengan cara memberikan sumber suara, dapat berupa tepukan tangan atau suara dari mulut, ke arah mikrofon. Setelah suara terekam dengan baik, kalibrasi dilakukan dengan kalibrator. Kalibrasi dilakukan dengan perangkat lunak YMEC dan tingkat tekanan suara yang terekam dalam perangkat lunak disesuaikan dengan tingkat tekanan suara kalibrator yakni 94 dB pada frekuensi 1000 Hz. Selesai kalibrasi dilakukan, mikrofon diletakkan

di sebuah *stand* yang memiliki ketinggian 1,2 meter sesuai dengan ISO 3382-1. Pengaturan alat dapat dilihat pada Gambar 3.2.

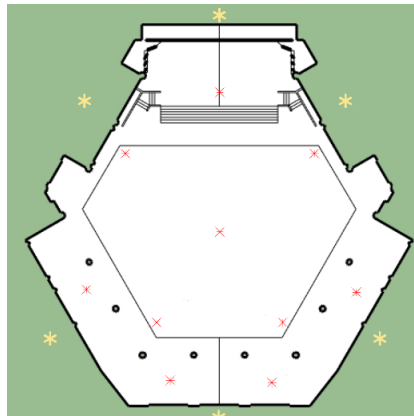


Gambar 3. 2 *Set up* peralatan

Ruangan yang diukur dalam kondisi ruang tanpa pendengar. Pintu dan jendela dalam kondisi tertutup agar memaksimalkan pengambilan data. Selama pengukuran berlangsung, ruangan tidak memiliki suara kecuali sumber suara yang akan diukur.

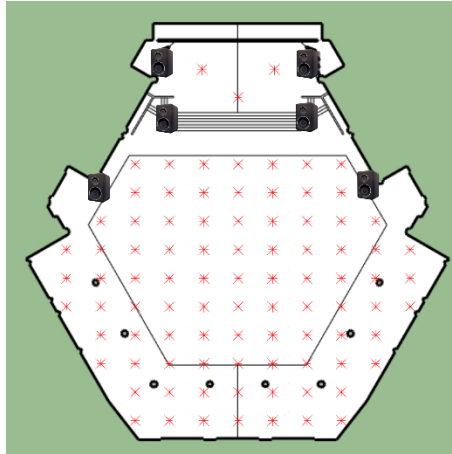
#### 3.1.4.2 Pengukuran dengan *Steady Sound*

Pengukuran *steady sound* dilakukan untuk mendapatkan nilai tingkat tekanan suara di beberapa titik. Parameter *background noise* dan *noise criteria* menggunakan sejumlah titik yang tersebar sesuai dengan Gambar 3.3. Titik merah menunjukkan titik di dalam ruangan dan titik kuning menunjukkan titik yang berada di luar ruangan. Pengukuran ini tidak menggunakan sumber suara buatan di dalam maupun luar ruangan.



Gambar 3. 3 Titik pengukuran *background noise*

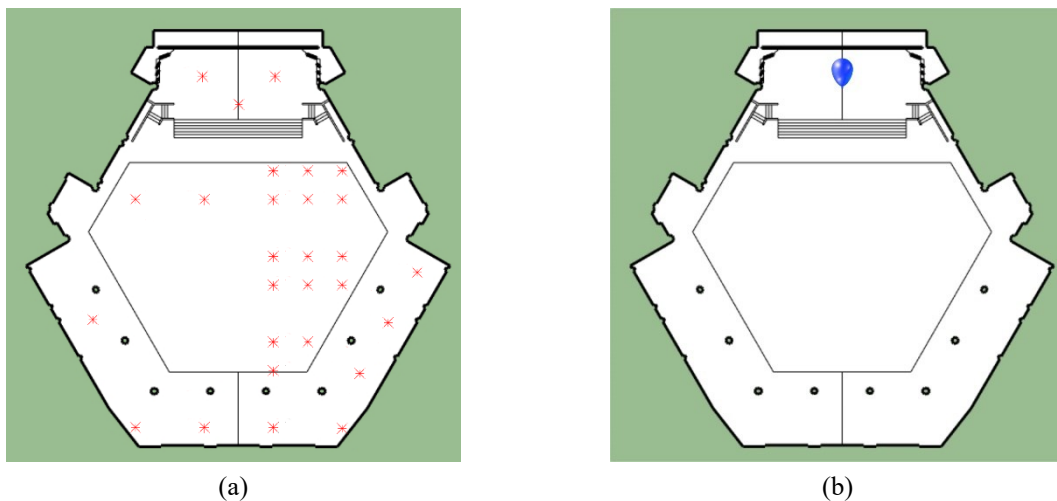
Pengukuran lainnya dilakukan untuk mengukur distribusi tingkat tekanan suara di dalam Grha Sepuluh Nopember ITS. Titik pengukuran tersebar di area panggung dan audiens dengan jarak antara 3 meter hingga 5 meter sesuai dengan Gambar 3.4. Sumber suara yang digunakan adalah suara *white noise* yang dikeluarkan dari speaker. *White noise* dipilih karena memiliki spektrum daya yang relatif konstan pada setiap satuan frekuensi. Tingkat tekanan sumber suara diatur lebih tinggi minimal 10 dB dari tingkat tekanan suara kebisingan latar belakang sesuai dengan ISO 3382-1. Pada pengukuran ini, speaker dinyalakan sebesar 100 dB. Setelah itu, mikrofon diletakkan di titik yang telah ditentukan. Analisis dilakukan dengan perangkat lunak YMEC untuk mendapatkan nilai SPL yang tersebar di setiap titik pengukuran.



Gambar 3. 4 Titik pengukuran distribusi SPL

### 3.1.4.3 Pengukuran dengan *Impulse Response*

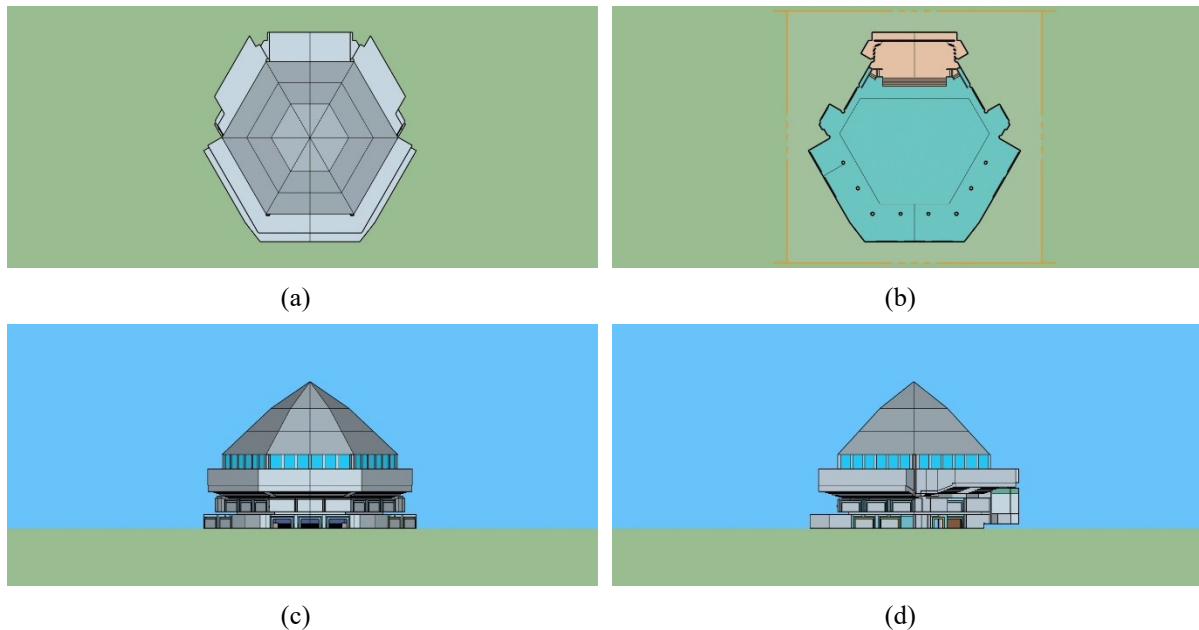
Pengukuran *impulse response* dilakukan untuk mendapatkan parameter *reverberation time*,  $C_{80}$ , dan  $D_{50}$ . Menurut ISO 3382-1, sumber suara yang digunakan berasal dari suara *omnidirectional* yang diletuskan dengan ketinggian 1,5 meter. Berdasarkan standar tersebut, pengukuran ini menggunakan sumber suara balon yang berukuran 30 – 60 cm. Titik pengukuran dapat dilihat pada Gambar 3.5a dan titik peletusan balon dapat dilihat pada Gambar 3.5b. Setelah semua peralatan siap dan berada dalam posisi masing-masing, perekam suara dinyalakan dengan menggunakan AudioTool. Kemudian balon ditiup hingga meletus. Rekaman suara diolah menggunakan YMEC untuk mendapatkan parameter akustik yang telah ditentukan.



Gambar 3. 5 Titik pengukuran *impulse response*. (a) Titik pengukuran mikrofon, dan (b) Titik peletusan balon

### 3.1.5 Simulasi

Proses simulasi diawali dengan pemodelan ruang menggunakan SketchUp Pro 2021. Model yang digunakan berupa bentuk bangunan Grha ITS. Pada Gambar 3.6 merepresentasikan ruang auditorium Grha ITS dalam bentuk tiga dimensi.



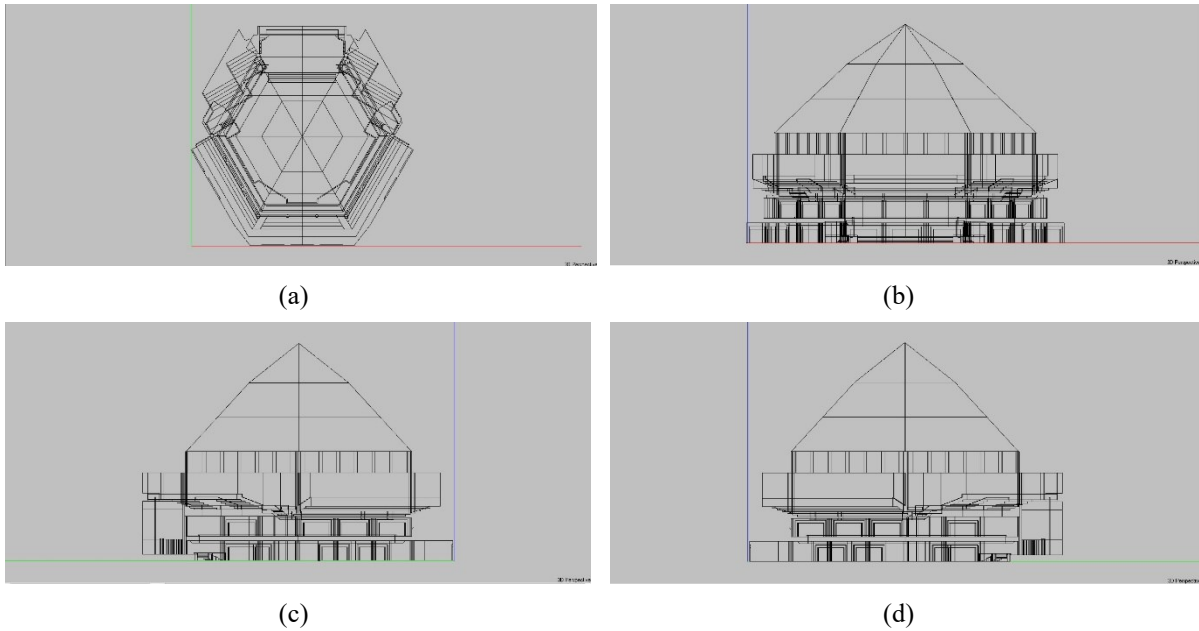
Gambar 3. 6 Simulasi pemodelan Grha Sepuluh Nopember. (a) Tampak atas, (b) Area audiens lantai dasar Grha, (c) Tampak depan, dan (d) Tampak samping kanan

Berdasarkan Gambar 3.6, simulasi Grha ITS memiliki bentuk yang simetris. Gambar 3.6a menunjukkan Grha ITS tampak atas, Gambar 3.6b menggambarkan lantai dasar Grha ITS, Gambar 3.6c menunjukkan Grha ITS tampak depan, dan Gambar 3.6d menunjukkan Grha ITS tampak samping kanan. Dari pemodelan tersebut, data ruangan seperti volume ruangan, luas ruangan, dan luas audiens disajikan dalam Tabel 3.6.

Tabel 3. 6 Data volume dan luas ruangan Grha ITS

| Kategori        | Ukuran          |
|-----------------|-----------------|
| Volume Bangunan | 46.459,97 $m^3$ |
| Luas Bangunan   | 2.155,57 $m^2$  |
| Luas Panggung   | 200 $m^2$       |
| Luas Audiens    | 1.827,69 $m^2$  |

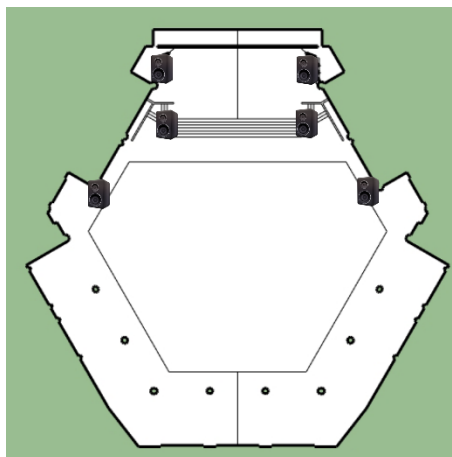
Model bangunan yang telah dibuat kemudian diimport pada EASE 4.3 untuk dianalisis parameter akustik ruang. Material bangunan mengikuti Tabel 3.1. dan disesuaikan dengan material EASE 3.4. Jika terdapat ruangan terbuka maka dinding material menggunakan bahan absorber tinggi agar suara sepenuhnya diserap, seperti suara yang menyebar di udara terbuka. Gambar 3.7 menunjukkan pengaturan dan karakteristik simulasi.



Gambar 3. 7 Model simulasi Grha ITS. (a) Tampak atas, (b) Tampak depan, (c) Tampak samping kiri, dan (d) Tampak samping kanan

Berdasarkan Gambar 3.6, simulasi EASE 4.3 Grha ITS memiliki bentuk yang simetris. Gambar 3.6a menunjukkan Grha ITS tampak atas, Gambar 3.6b menunjukkan Grha ITS tampak depan, Gambar 3.6c menunjukkan Grha ITS tampak samping kiri, dan Gambar 3.6d menunjukkan Grha ITS tampak samping kanan.

Model yang telah dibuat menjadi acuan dalam pengambilan data simulasi. Data pertama yang diukur adalah *reverberation time* ruangan sesuai dengan karakteristik ruangan. Selanjutnya, speaker ditambahkan ke dalam ruangan. Letak dan posisi speaker disesuaikan dengan kondisi Grha ITS pada waktu pengambilan data lapangan. Peletakkan speaker dapat dilihat pada Gambar 3.8. Speaker dinyalakan maksimal agar suara mampu mencapai keseluruhan ruangan karena ruangan yang besar. Lalu area audiens pengukuran diatur setinggi 1,2 meter. Ketinggian ini menyesuaikan dengan pendengaran telinga manusia. Setelah itu, pengambilan data melalui simulasi diukur. Parameter yang diukur pada tahapan ini adalah distribusi SPL, STI,  $C_{80}$ , dan  $D_{50}$ . Parameter diambil pada frekuensi 500 Hz dan 1000 Hz.



Gambar 3. 8 Letak speaker pada simulasi

### 3.1.6 Pengolahan Data

Data diolah menggunakan perangkat lunak YMEC agar mendapatkan parameter akustik yang telah ditentukan. Data diolah pada frekuensi 63 Hz – 8000 Hz dengan 1/3 oktaf. Rentang frekuensi ini dipilih karena menyesuaikan pendengaran manusia seperti pada Gambar 2.1. Dari rentang frekuensi tersebut, dua frekuensi dipilih untuk analisis pada frekuensi tertentu yaitu 500 Hz dan 1000 Hz. Pada sumber suara *steady sound*, data SPL pada detik pertama hingga akhir dirata-rata di setiap frekuensi. Pada sumber suara *impulse response*, rekaman suara dipotong hingga menyisakan suara letusan saja. Kemudian suara tersebut diolah dengan perangkat lunak YMEC untuk mendapatkan parameter *reverberation time*, STI,  $C_{80}$ , dan  $D_{50}$ . Setiap data parameter di-*plotting* dengan perangkat lunak Surfer dan menghasilkan sebuah gambar. Gambar tersebut menunjukkan persebaran masing-masing parameter yaitu distribusi SPL, *reverberation time*, STI,  $C_{80}$ , dan  $D_{50}$ .

### 3.1.7 Optimasi Sistem Tata Suara

Optimasi sistem tata suara dilakukan secara simulasi *existing* pada perangkat lunak EASE 3.4. Optimasi ini bertujuan untuk menyeimbangkan distribusi SPL dan parameter akustik lainnya. Optimasi ini melibatkan penambahan speaker, sudut speaker, dan *delay time*. Penambahan speaker menyesuaikan dengan hasil pengukuran kondisi *existing* kemudian sudut speaker dan *delay time* diatur hingga mencapai nilai parameter yang lebih baik.

## 3.2 Bahan dan peralatan yang digunakan

Bahan dan peralatan yang digunakan untuk simulasi dan pengukuran lapangan disajikan dalam Tabel 3.7 berikut ini.

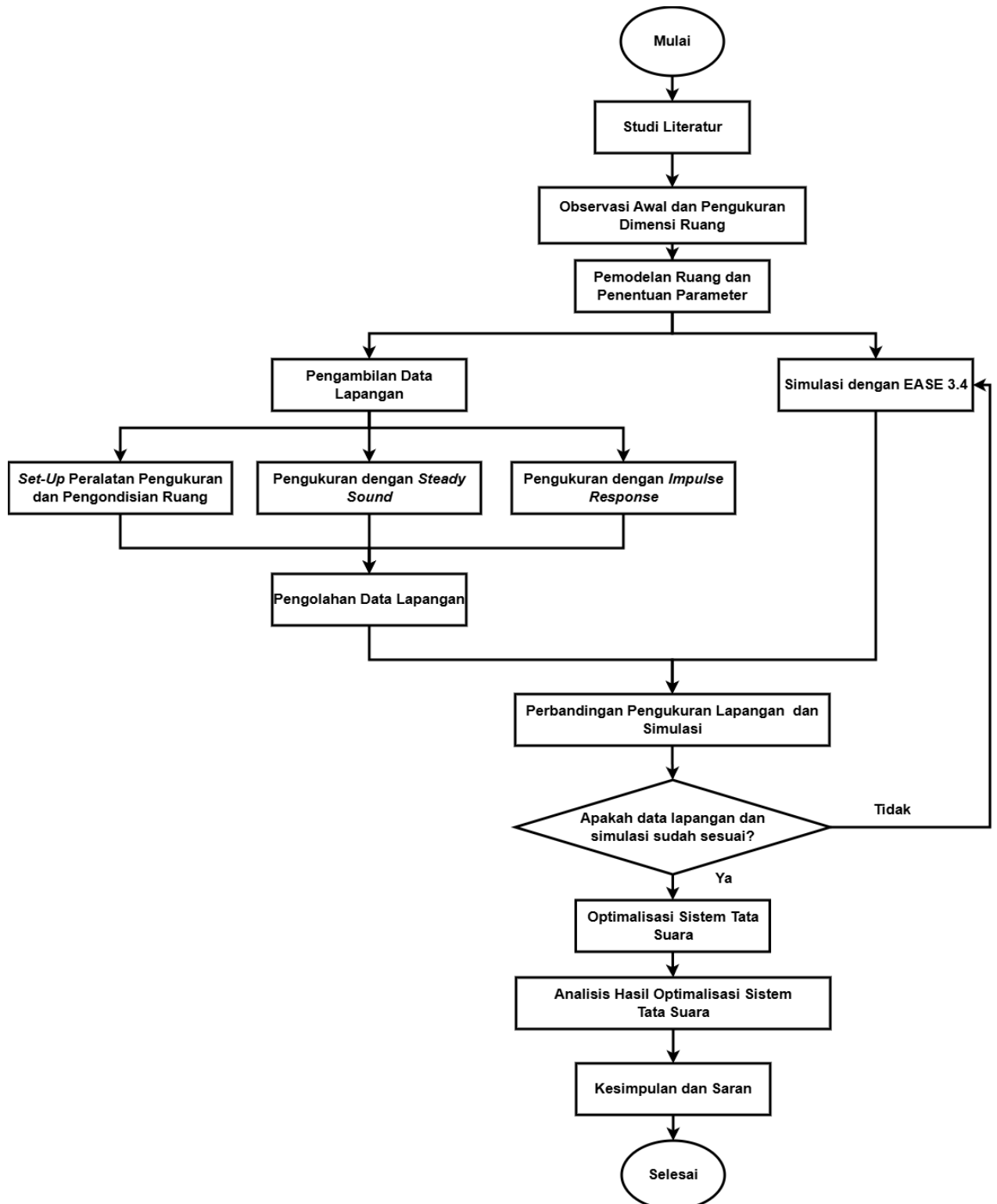
Tabel 3. 7 Alat dan bahan penelitian

| No. | Alat dan Bahan    | Fungsi                                                                                                                                           |
|-----|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | SketchUp Pro 2021 | Sebuah perangkat lunak untuk membuat pemodelan bangunan dalam bentuk 3 dimensi dan 2 dimensi sesuai dengan Grha ITS.                             |
| 2.  | AudioTool         | Perangkat lunak untuk merekam suara selama pengukuran berlangsung                                                                                |
| 3.  | YMEC              | Perangkat lunak untuk mengolah data rekaman suara dan menentukan nilai parameter-parameter akustik yang diukur.                                  |
| 4.  | Surfer            | Perangkat lunak untuk membuat gambar distribusi parameter akustik di dalam ruang.                                                                |
| 5.  | EASE 3.4          | Perangkat lunak untuk mengukur parameter akustik melalui simulasi <i>existing</i> dan mengatur speaker untuk optimasi sistem tata suara.         |
| 6.  | Laptop            | Sebagai media untuk menjalankan perangkat lunak dan mendukung penelitian yang sedang berlangsung.                                                |
| 7.  | Mikrofon          | Sebuah perangkat untuk mengubah gelombang suara menjadi sinyal akustik.                                                                          |
| 8.  | Soundcard         | Sebagai penghubung antara mikrofon dan laptop. Soundcard berfungsi untuk mengolah data audio, mengubah sinyal analog ke digital, dan sebaliknya. |

|     |         |                                                                                                                        |
|-----|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 9.  | Speaker | Tranduser elektroakustik yang berfungsi untuk mengubah sinyal listrik menjadi gelombang suara melalui getaran membran. |
| 10. | Balon   | Benda untuk menghasilkan suara letusan untuk kebutuhan suara <i>impulse response</i> .                                 |

### 3.3 Urutan pelaksanaan penelitian

Tahapan dalam penelitian ini ditunjukkan pada diagram alir berikut ini.



Gambar 3. 9 Diagram alir tahapan penelitian

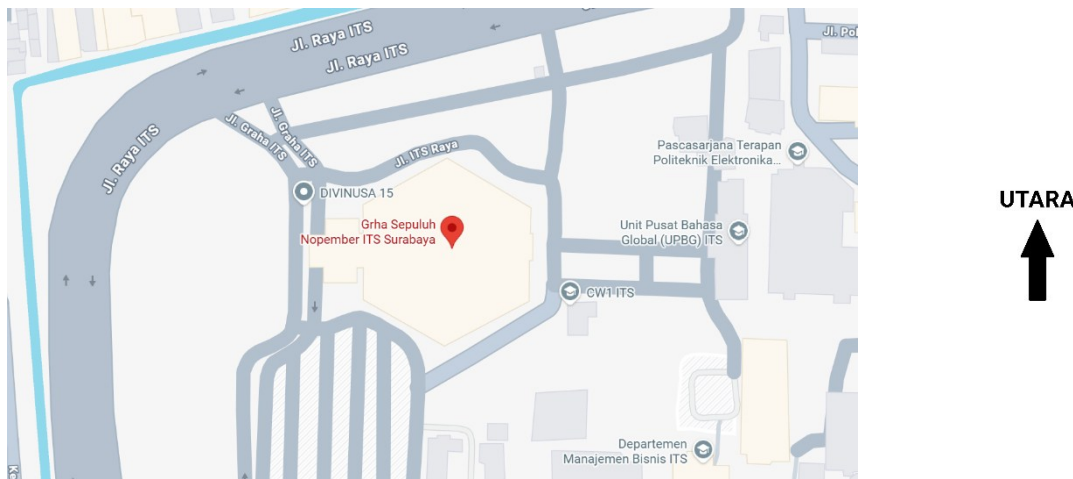
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB 4

### Hasil dan Pembahasan

#### 4.1 Kondisi *Existing*

Grha ITS merupakan bangunan yang berada di Jl. Raya ITS. Bangunan ini dikelilingi oleh jalan, danau, dan beberapa gedung fasilitas lainnya. Bangunan ini menghadap ke arah Barat dan terdapat danau di depan pintu masuk Grha ITS. Sisi utara Grha terdapat jalan Raya ITS yang menjadi akses jalan utama di kawasan ITS. Dua bangunan berdiri di sisi Timur Grha ITS, yaitu gedung Unit Pusat Bahasa Global (UPBG) dan gedung Pascasarjana Terapan PENS. Sementara di sisi Selatan Grha, terdapat gedung Manajemen Bisnis, Tower 3 Vokasi, dan tempat parkir. Di sepanjang jalanan yang mengelilingi Grha ITS, terdapat banyak pohon yang tumbuh rimbun. Posisi Grha ITS ini dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Denah Grha ITS

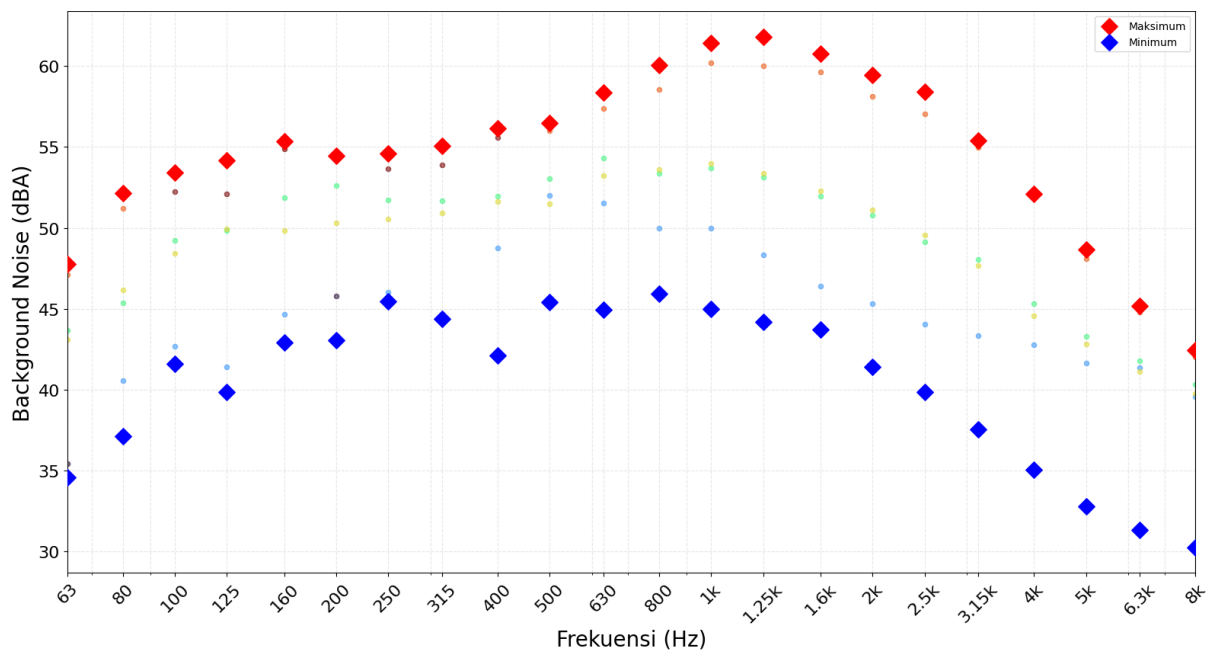
Hasil penelitian akustik Grha ITS pada kondisi *existing* berfokus pada evaluasi parameter ruangan yang didapatkan melalui pengukuran langsung. Parameter yang diukur yaitu *background noise*, *noise criteria*, *reverberation time*, *bass ratio*, *treble ratio*, distribusi SPL,  $D_{50}$ , dan  $C_{80}$ .

Pengukuran kondisi *existing* dilakukan saat cuaca cerah sehingga dapat dieliminasi adanya potensi gangguan eksternal yang disebabkan oleh faktor cuaca buruk seperti hantaman air hujan. Konfigurasi titik sumber suara dan penerima suara dalam pengukuran ini mengacu pada Bab 3. Titik sumber suara mewakili balon dan speaker serta titik penerima suara mewakili area audiens sebagai penonton. Parameter akustik ruang pada pengukuran *existing* menerapkan dua metode utama yaitu *impulse respon* dan *steady sound*. Melalui kedua metode tersebut, performa akustik ruang Grha ITS dapat dianalisis melalui beberapa parameter kuantitatif.

##### 4.1.1 Analisis *Background Noise* dan *Noise Criteria* Kondisi *Existing*

Evaluasi kebisingan latar belakang dalam penelitian ini menggunakan sistem *Noise Criteria* sebagai metode standar untuk menilai kebisingan latar di luar bangunan. Pengukuran kebisingan latar belakang dilakukan ketika sistem audio dalam kondisi tidak aktif. Sumber suara pada pengukuran ini berasal dari bunyi natural yang berasal dari aktivitas pekerja di Grha

ITS, kendaraan bermotor, angin, dan sumber bunyi lainnya. Pengukuran dilakukan sebanyak 6 titik di luar ruangan sesuai dengan Gambar 3.3. Data diukur dalam rentang 63 Hz hingga 8000 Hz dengan filter 1/3 oktaf. Hasil pengukuran *background noise* di luar Grha ITS disajikan pada Gambar 4.2.

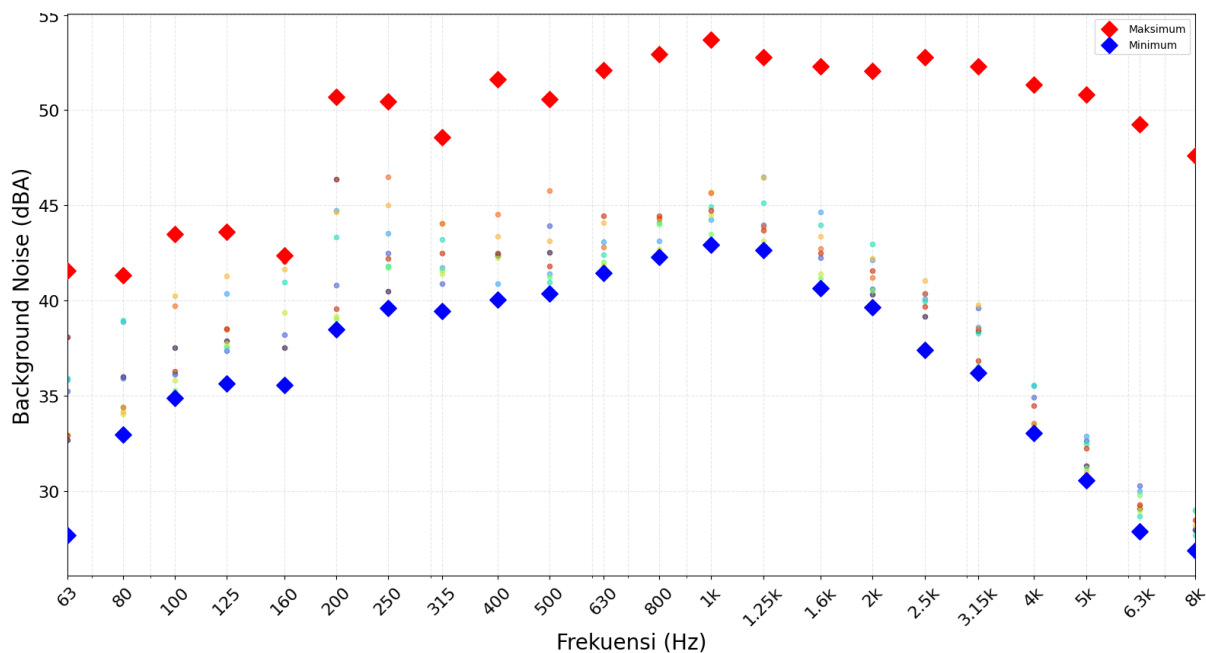


Gambar 4. 2 Grafik *background noise* di sekitar Grha ITS

Berdasarkan Gambar 4.2, nilai *background noise* di luar Grha ITS sangat bervariasi dan memiliki rentang yang luas di setiap frekuensi. Nilai *background noise* meningkat pada frekuensi menengah. Nilai maksimum *background noise* paling tinggi berada pada frekuensi 1250 Hz yang berada di atas 60 dBA. Pada 1250 Hz, distribusi data condong ke nilai ekstrem, terdapat kejadian sesaat dengan intensitas sangat tinggi. Fenomena ini disebabkan oleh aktivitas jalan raya dan pekerja di sekitar Grha ITS yang menghasilkan lonjakan energi pada rentang frekuensi menengah. Dominasi kebisingan pada frekuensi menengah perlu diperhatikan karena rentang frekuensi ini berdekatan dengan frekuensi untuk pemahaman ucapan manusia. Kebisingan pada frekuensi ini berpotensi menurunkan kejelasan komunikasi apabila kebisingan tersebut masuk ke dalam Grha ITS.

Menurut Kementerian Negara Lingkungan Hidup (1996), standar baku kebisingan di ruang terbuka adalah 50 dBA. Nilai *background noise* pada 1000 Hz menunjukkan kondisi yang melampaui batas. Pada frekuensi 1000 Hz, nilai *background noise* mencapai sekitar 61 dBA. Tingginya tingkat kebisingan pada frekuensi tersebut menunjukkan bahwa lingkungan di sekitar Grha ITS memiliki potensi gangguan akustik yang cukup besar. Apabila kebisingan eksternal tersebut tidak diredam secara memadai oleh selubung bangunan, maka dapat meningkatkan *background noise* di dalam ruang dan menurunkan kualitas komunikasi verbal maupun kenyamanan pendengaran selama kegiatan berlangsung.

Pengukuran *background noise* juga dilakukan untuk mengetahui tingkat kebisingan yang terdapat di dalam ruangan. Pengukuran ini digunakan untuk menganalisis seberapa besar pengaruh kebisingan luar yang dapat masuk ke dalam ruangan. Pengukuran dilakukan pada 10 titik di Grha ITS sesuai dengan Gambar 3.3. Hasil pengukuran disajikan ke dalam grafik dalam Gambar 4.3.



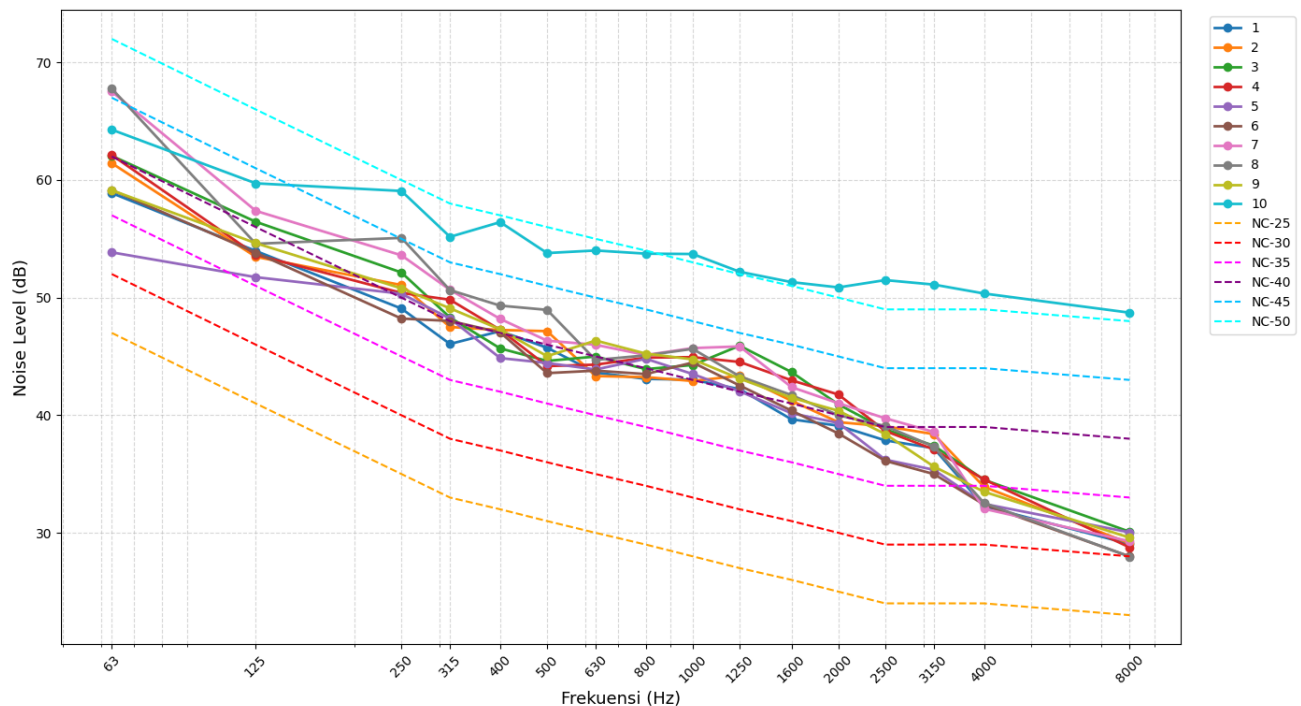
Gambar 4. 3 Grafik *background noise* di dalam Grha ITS

Berdasarkan Gambar 4.3, nilai *background noise* di dalam ruangan menunjukkan pola yang hampir sama dengan kebisingan di luar ruangan, yaitu meningkat secara bertahap dari frekuensi rendah hingga mencapai nilai maksimum pada rentang frekuensi menengah. Nilai maksimum tertinggi berada pada frekuensi 1000 Hz dengan tingkat kebisingan 54 dBA, sedangkan nilai minimum terendah berada pada frekuensi yang sama sebesar 43 dBA. Dominasi kebisingan pada frekuensi menengah disebabkan oleh kombinasi antara kebisingan lingkungan luar dan karakteristik akustik bangunan. Bagian atas bangunan yang tidak sepenuhnya tertutup memungkinkan gelombang bunyi dari lingkungan sekitar masuk ke dalam ruangan melalui jalur transmisi langsung. Akibatnya, meskipun ruangan telah memiliki elemen pembatas bangunan, kebisingan dari luar masih dapat masuk dan meningkatkan tingkat *background noise* di dalam ruangan.

Menurut Kementerian Negara Lingkungan Hidup (1996), standar baku kebisingan fasilitas umum adalah 60 dBA. Hasil pengukuran *background noise* di dalam ruangan masih berada di bawah batas yang direkomendasikan. Bahkan nilai maksimum tertinggi yang terukur hanya sekitar 54 dBA. Namun, kebisingan yang cukup dominan pada rentang frekuensi 500 Hz hingga 1000 Hz perlu diperhatikan karena rentang frekuensi tersebut berperan dalam proses pendengaran dan pemahaman ucapan.

Nilai kebisingan pada setiap titik pengukuran dan frekuensi diplot ke dalam grafik (Gambar 4.3) pada Gambar 4.4 untuk menganalisis *Noise Criteria* (NC) di dalam Grha ITS. Berdasarkan Gambar 4.4, tingkat kebisingan cenderung menurun seiring meningkatnya frekuensi. Pada frekuensi rendah, yaitu 63 Hz hingga 250 Hz, tingkat tekanan suara masih relatif tinggi dengan rentang sekitar 50 dB hingga 68 dB. Beberapa titik pengukuran menunjukkan nilai di atas 65 dB pada frekuensi 63 Hz. Kebisingan yang didominasi pada frekuensi rendah mengindikasikan adanya sumber suara berkarakter *low-frequency noise*. Kebisingan ini berasal dari sistem mekanikal bangunan seperti HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) dan infiltrasi kebisingan dari luar bangunan. Kebisingan ini cenderung

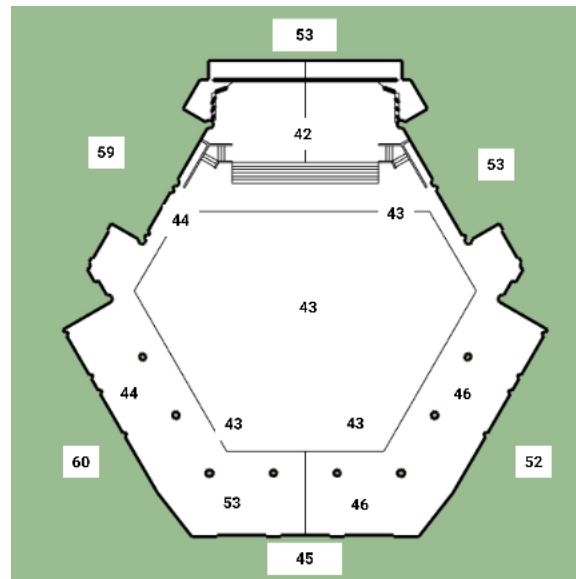
lebih sulit direduksi karena memiliki panjang gelombang yang besar dan dapat merambat melalui elemen bangunan dengan lebih mudah dibandingkan kebisingan frekuensi tinggi.



Gambar 4. 4 Kurva *background noise* dan *kurva noise criteria* ruang Grha ITS

Berdasarkan Gambar 4.4, seluruh titik pengukuran menunjukkan tren penurunan yang relatif konsisten pada rentang frekuensi 250 Hz hingga 4000 Hz. Tingkat kebisingan berkisar dari 48 dB hingga 59 dB pada frekuensi 250 Hz turun menjadi 31 dB hingga 50 dB pada frekuensi 4000 Hz. Sebagian besar kurva pengukuran berkumpul pada rentang 40 dB hingga 45 dB di frekuensi 1000 Hz – 2000 Hz dan terus turun mendekati 30 dB hingga 35 dB pada frekuensi 4000 Hz – 8000 Hz. Kondisi ini menunjukkan bahwa energi bunyi pada frekuensi menengah dan tinggi relatif lebih rendah dibandingkan frekuensi rendah. Namun terdapat beberapa titik pengukuran yang menunjukkan tingkat kebisingan lebih tinggi dibanding titik lainnya. Ini menandakan adanya ketidakseragaman distribusi kebisingan di dalam ruang.

Nilai *noise criteria* dipetakan dalam denah ruang Grha ITS untuk analisis dan visualisasi dalam Gambar 4.4. Pada gambar tersebut, panggung berada di sisi timur dan pintu utama di sisi barat. Sebelah kanan merupakan selatan dan kiri merupakan utara. Pada Gambar 4.5 menunjukkan tingkat kebisingan di luar ruangan sisi kiri dibandingkan sisi kanan. Hal ini dikarenakan sisi kiri ruangan lebih dekat dengan jalan raya sementara sisi kanan dikelilingi oleh gedung fasilitas ITS. Nilai *noise criteria* tertinggi sebesar 60 terdapat di sebelah kiri bawah atau barat laut. Jika dilihat pada Gambar 4.1, daerah ini dekat dengan belokan jalan dan jaraknya paling dekat dengan jalan raya. Pada saat pengukuran, kondisi jalan raya sedang ramai oleh pengendara sehingga nilai kebisingan yang terukur cukup tinggi.



Gambar 4. 5 Distribusi *noise criteria*

Berdasarkan Gambar 4.5, nilai *noise criteria* tertinggi di dalam ruangan berada di dekat pintu utama sebesar 53. Pada bagian ruangan ini, batas antara ruangan dan lingkungan luar adalah pintu kaca. Pintu kaca memiliki sela-sela atau rongga yang dapat meloloskan suara dari luar ke dalam ruangan. Nilai *noise criteria* terendah ditunjukkan pada area panggung sebesar 42. Area depan panggung ini memiliki ruang di belakang panggung sehingga tidak berbatasan langsung dengan lingkungan luar. Nilai kebisingan antara luar dan dalam ruangan yang tidak berbeda jauh menunjukkan bahwa tidak ada material absorpsi di sekitar ruangan untuk meredam suara kebisingan dari luar.

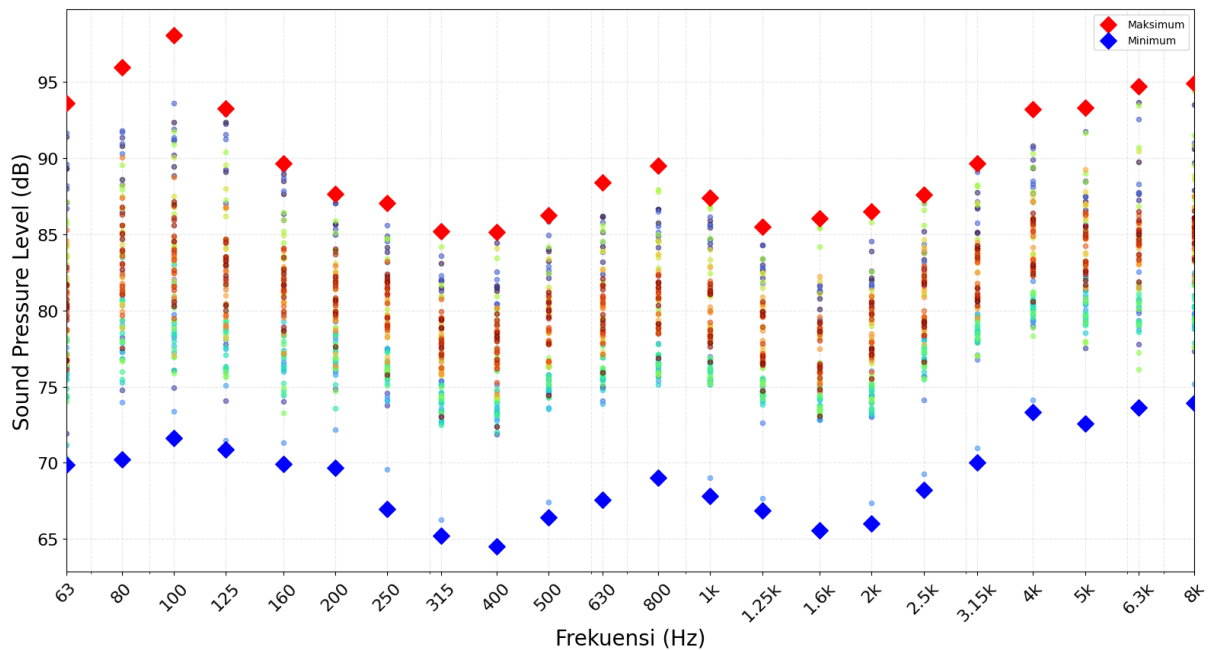
Mayoritas data pengukuran berada di sekitar kurva NC-40 dan beberapa titik mendekati NC-45 hingga NC-50 (Gambar 4.5). Kurva yang paling dominan mengikuti pola pengukuran adalah NC-40. NC-40 menunjukkan bahwa tingkat kebisingan latar belakang ruang berada pada kategori yang relatif tinggi untuk fungsi ruang auditorium atau ruang pertemuan besar. Menurut standar ANSI/ASA S12.2-2019, rekomendasi nilai NC untuk ruang berkapasitas besar (>500 kursi) berada pada rentang NC-20 hingga NC-25. Seluruh titik pengukuran di Grha ITS menunjukkan nilai NC yang melampaui batas rekomendasi tersebut dengan penyimpangan sekitar 15 hingga 25 poin NC dari standar. Hasil ini mengindikasikan adanya defisiensi akustik pada ruang Grha ITS.

Tingginya nilai NC dapat berdampak pada menurunnya kualitas akustik ruang, terutama dalam aspek kejelasan percakapan, kenyamanan pendengaran, dan konsentrasi pengguna ruang selama kegiatan berlangsung. Oleh karena itu, upaya pengendalian bising perlu dilakukan melalaui identifikasi sumber dominan kebisingan, peningkatan isolasi suara dari lingkungan luar, perbaikan sistem HVAC, serta penambahan elemen peredam dan penyerap bunyi pada ruang sehingga ruang Grha ITS dapat mendekati standar yang direkomendasikan dan kualitas akustik ruang Grha ITS menjadi lebih optimal.

#### 4.1.2 Analisis Distribusi *Sound Pressure Level (SPL) Kondisi Existing*

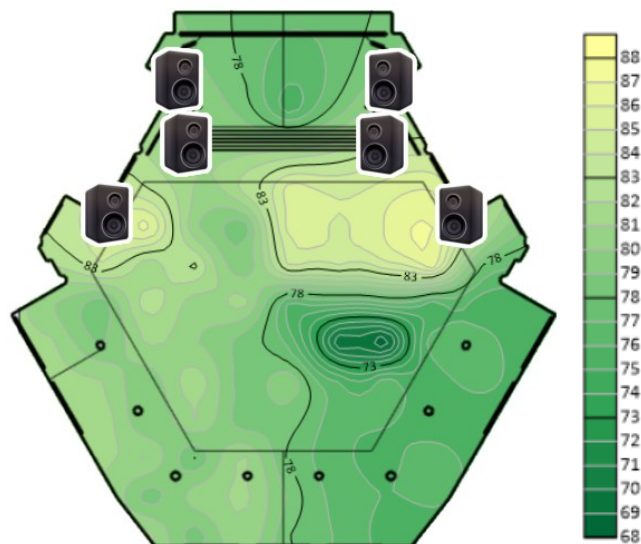
Pengukuran distribusi *Sound Pressure Level* menggunakan *steady sound* yang bersumber dari speaker. Suara yang digunakan adalah *white noise* dengan kekerasan bunyi 100 dB di setiap speaker. Posisi speaker dan titik pengukuran mengikuti Gambar 3.4. Data yang didapatkan

berupa data SPL pada rentang frekuensi 63 Hz hingga 8000 Hz pada 87 titik. Pengukuran distribusi SPL dilakukan untuk mengetahui pemerataan SPL di Grha ITS. Hasil pengukuran distribusi SPL Grha ITS diplot dalam bentuk grafik pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Grafik distribusi SPL Grha ITS kondisi *existing*

Berdasarkan Gambar 4.6, rentang nilai SPL paling luas berada di frekuensi rendah yaitu 63 Hz hingga 125 Hz. Pada frekuensi ini, energi bunyi tersebar secara tidak merata dan menciptakan titik dengan persebaran yang ekstrem. Nilai SPL menurun pada rentang frekuensi 315 Hz – 500 Hz. Penurunan ini tidak berasal dari karakteristik sumber karena *white noise* mengandung energi yang merata di semua frekuensi. Kondisi ini mengindikasikan adanya reduksi energi akustik pada rentang frekuensi tersebut akibat fenomena fisis di dalam ruangan maupun sistem tata suara Grha ITS. Fenomena tersebut dapat berupa interferensi destruktif antar spekaer yang terjadi di rentang frekuensi menengah-bawah. Sebaran data pada frekuensi atas menunjukkan rentang yang lebar hingga 20 dB di antara nilai maksimum dan minimumnya. Kondisi ini mengindikasikan distribusi SPL di dalam ruangan tidak seragam. Ketidakseragaman distribusi suara berpotensi memengaruhi kejelasan informasi yang diterima pendengar, terutama pada area dengan nilai SPL rendah. Distribusi SPL divisualisasikan dalam Gambar 4.7 untuk mengetahui persebaran nilai SPL di dalam Grha ITS pada frekuensi 1000 Hz.



Gambar 4. 7 Persebaran SPL Grha ITS kondisi *existing* frekuensi 1000 Hz

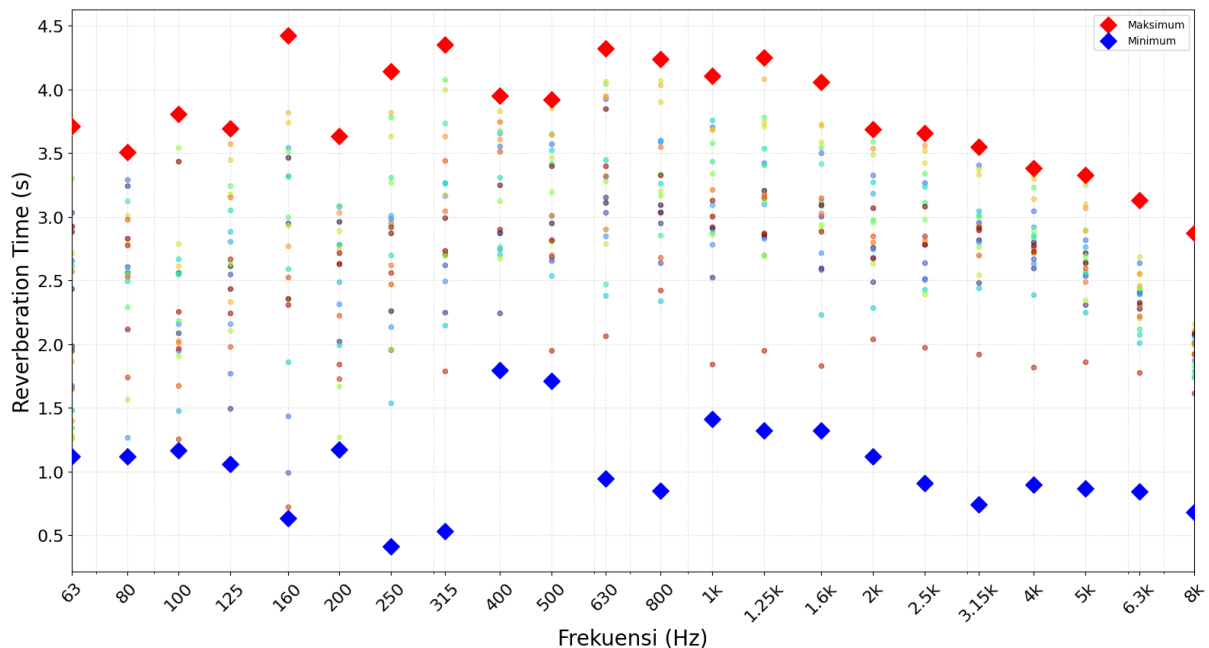
Berdasarkan Gambar 4.7, terdapat area yang memiliki nilai SPL rendah di tengah ruangan. Posisi tengah ruang besar seharusnya menerima kontribusi energi dari seluruh permukaan pantul dan sistem pengeras suara sehingga cenderung menghasilkan SPL yang tinggi dibandingkan sisi ujung ruangan. Nilai ini menunjukkan adanya beberapa fenomena yang terjadi di dalam ruangan. Fenomena pertama adalah adanya interferensi destruktif akibat superposisi gelombang bunyi dari beberapa sumber yang tiba dengan beda fase berlawanan, fenomena kedua adanya gap dalam cakupan *sound system reinforcement* yang menciptakan zona bayangan pada frekuensi tertentu, dan fenomena ketiga adalah suara menyebar keluar melalui celah terbuka sehingga tidak terpantul ke dalam ruangan..

Grha ITS merupakan ruangan besar yang memiliki fungsi pidato dan musik. Suatu ruangan dianggap memiliki distribusi suara untuk pidato dan musik yang baik apabila perbedaan level suara antara titik referensi dan titik pendengar berada pada rentang  $0 \text{ dB} \geq \text{level distribution} \geq -5 \text{ dB}$  (Ahnert & Tennhardt, 2008). Jika titik referensi dipilih di depan speaker yang berada di depan panggung dan titik pendengar terjauh yaitu di dekat pintu, maka nilai SPL titik referensi dan titik pendengar sebesar 86,13 dB dan 76,86 dB pada frekuensi 1000 Hz. Berdasarkan data tersebut, nilai distribusi SPL sebesar pada frekuensi 1000 Hz. Nilai ini menunjukkan bahwa distribusi suara di dalam ruang Grha ITS masih belum merata, terutama pada titik pendengar yang berada jauh dari sumber suara. Penurunan sebesar ini menunjukkan bahwa energi bunyi mengalami pelemahan ketika merambat menuju area belakang ruangan. Sebagian energi suara tidak terdistribusi secara optimal ke seluruh area pendengar

Secara keseluruhan, hasil distribusi SPL pada Grha ITS menunjukkan adanya persebaran energi bunyi yang masih belum merata, terutama bagian tengah ruang sebelah kanan pada Gambar 4.7. Kondisi ini dipengaruhi oleh karakter geometris ruang, konfigurasi sistem tata suara, serta fenomena distribusi bunyi. Ketidakteraturan distribusi SPL dapat berpotensi memengaruhi kenyamanan pendengaran dan kejelasan suara pada titik tertentu sehingga diperlukan evaluasi lebih lanjut untuk memperoleh distribusi suara yang lebih optimal sesuai dengan fungsi ruang sebagai auditorium multifungsi.

#### 4.1.3 Analisis Reverberation Time Kondisi Existing

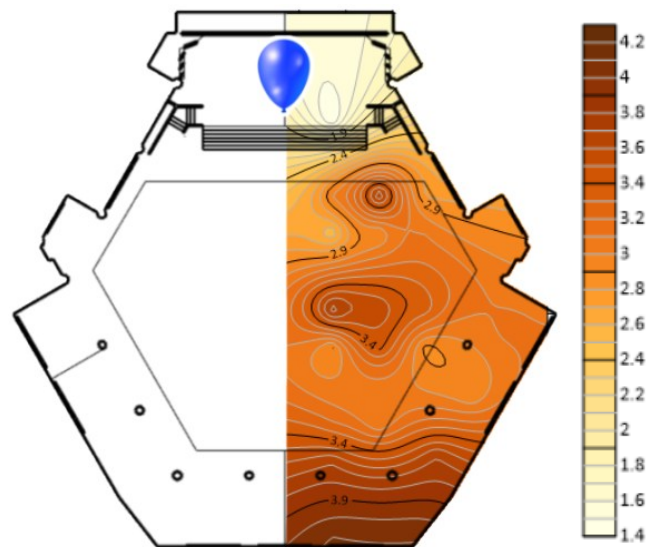
Pengukuran *Reverberation Time* dilakukan untuk menilai lama energi bunyi bertahan di dalam ruangan. Pengukuran ini menggunakan metode *impulse respon*. *Impulse respon* berasal dari suara balon yang diletuskan di tengah panggung. Titik pengukuran dan posisi letusan balon seperti pada Gambar 3.5. Hasil pengukuran didapatkan berupa nilai *reverberation time* yang dianalisis pada rentang frekuensi 63 Hz hingga 8000 Hz di salah satu sisi ruangan. Hasil pengukuran *reverberation time* dapat dilihat pada Gambar 4.8



Gambar 4. 8 Grafik *reverberation time* Grha ITS kondisi existing

Berdasarkan Gambar 4.8, data pengukuran *reverberation time* menunjukkan nilai yang bervariasi pada seluruh rentang frekuensi yang diukur. Nilai *reverberation time* maksimum berkisar antara 2,9 – 4,4 detik sepanjang rentang 63 Hz hingga 8000 Hz. Nilai *reverberation time* setinggi ini pada volume Grha ITS yang sangat besar mengindikasikan bahwa total absorpsi efektif di dalam ruangan sangat rendah. Kondisi ini sesuai dengan karakteristik material Grha ITS yang terdiri dari dinding beton, lantai keramik, pintu besi, dan jendela kaca. Material tersebut memiliki koefisien absorpsi yang sangat rendah, khususnya di frekuensi rendah hingga menengah sehingga sebagian besar gelombang bunyi dipantulkan kembali ke dalam ruangan.

Berdasarkan Gambar 4.8, nilai *reverberation time* maksimum mencapai 3,7 – 4,4 detik pada frekuensi 63 – 160 Hz. Nilai ini mencerminkan ketidakmampuan material reflektif dalam menyerap gelombang berfrekuensi rendah. Energi frekuensi rendah terakumulasi dan meluruh sangat lambat di dalam ruangan. Pada frekuensi 400 – 1000 Hz, nilai *reverberation time* maksimum berkisar pada 3,9 – 4,3 detik. Rentang frekuensi ini merupakan rentang yang paling kritis untuk fungsi pidato. Nilai *reverberation time* yang tinggi pada frekuensi ini dapat mengakibatkan nilai parameter *definition* dan STI menjadi rendah. Parameter *reverberation time* pada frekuensi 1000 Hz diplot ke dalam bentuk gambar untuk memvisualisasikan distribusi nilai pada ruang Grha ITS pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Persebaran *reverberation time* Grha ITS kondisi *existing* frekuensi 1000 Hz

Berdasarkan Gambar 4.9, zona putih – kuning (1,4 – 2,2 detik) terkonsentrasi di bagian atas-tengah sedangkan zona coklat muda – coklat tua (3,2 – 4,2 detik) dominan di bagian bawah denah atau area audiens. Zona coklat (3 – 4,2 detik) menunjukkan nilai RT yang tinggi yang mengindikasikan bahwa energi suara yang datang dari sumber mengalami pantulan berulang yang panjang sebelum meluruh. Pantulan ini diakibatkan material di sekitar audiens seperti lantai keras, dinding beton, plafon yang tinggi, dan minimnya material penyerap di area tersebut

Setiap frekuensi pada Gambar 4.9 memiliki rentang berkisar dari 1,4 detik hingga 4,2 detik. Distribusi nilai RT menunjukkan bahwa *reverberation time* di dalam ruangan tidak tersebar secara merata dan terdapat area tertentu mengalami akumulasi energi bunyi lebih tinggi dibandingkan area lainnya. Pada frekuensi 1000 hz, kondisi ini menjadi lebih kritis karena rentang frekuensi tersebut sangat berpengaruh terhadap kejelasan ucapan dan detail musikal. Akibatnya, area audiens yang jauh dari panggung berpotensi mengalami penurunan kualitas akustik berupa berkurangnya keterpahaman ucapan, munculnya efek gema terselubung, serta menurunnya definisi suara musik di posisi pendengar.

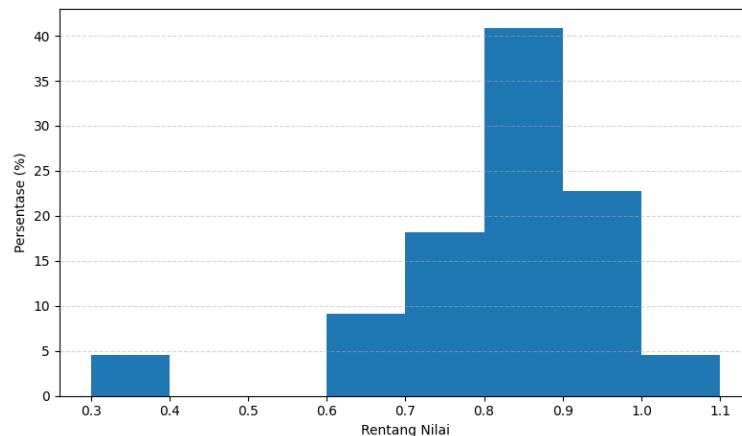
Berdasarkan Gambar 2.3, rekomendasi nilai *reverberation time* fungsi pidato sebesar 1,0 detik hingga 1,2 detik untuk volume ruangan yang besar di antara 10.000  $m^3$  hingga 50.000  $m^3$  (Harris, 1997). Apabila dibandingkan dengan hasil pengukuran Grha ITS, hasil yang memenuhi kriteria ini hanya berada di panggung. Sementara area audiens memiliki nilai di atas 2,6 detik pada frekuensi 1000 Hz. Dengan demikian, *reverberation time* Grha ITS tidak memenuhi kriteria untuk fungsi pidato. Sementara itu, kurva *concert hall* merekomendasikan *reverberation time* sekitar 1,6 detik – 1,8 detik menurut Beranek dan 2,0 detik – 2,4 detik menurut Bagenal dan Wood (Harris, 1997). Terhadap kedua kurva ini, nilai *reverberation time* Grha ITS pada frekuensi 1000 Hz masih melampaui batas rekomendasi untuk fungsi musik.

Hasil pengukuran dan distribusi *reverberation time* menunjukkan kondisi akustik ruangan pada keadaan *existing* masih didominasi oleh pantulan bunyi yang berlebihan terutama pada area audiens. Nilai *reverberation time* yang melebihi standar rekomendasi mengindikasikan bahwa ruangan belum mampu memberikan keseimbangan antara kesan ruang dan kejelasan

suara secara optimal. Oleh karena itu, upaya optimasi perlu dilakukan untuk meningkatkan kualitas pendengaran, baik ucapan maupun musik sesuai fungsi ruangan.

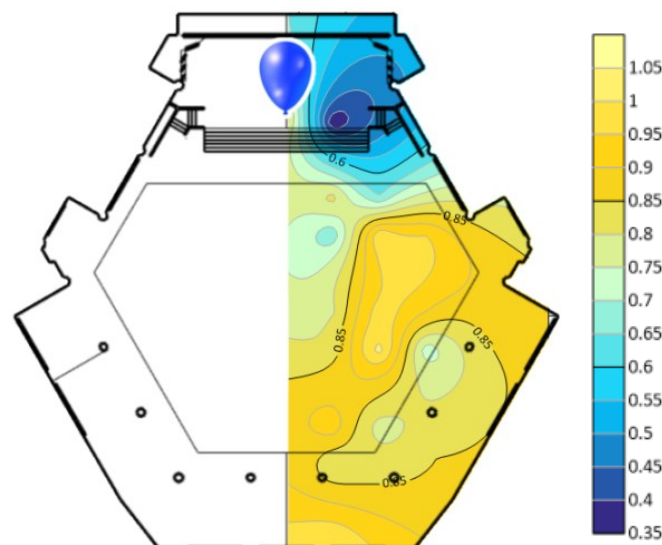
#### 4.1.4 Analisis *Bass Ratio* Kondisi *Existing*

Nilai *bass ratio* dihitung berdasarkan data hasil pengukuran *reverberation time*. *Bass ratio* digunakan untuk mengetahui kesan kehangatan di dalam ruangan. Data *bass ratio* yang terukur pada seluruh titik pengukuran menunjukkan rentang nilai antara 0,36 hingga 1,02 (Gambar 4.10). Sebagian besar nilai *bass ratio* berada pada rentang 0,80 hingga 0,99. Kondisi ini menunjukkan bahwa kondisi akustik ruangan secara umum bersifat cukup seragam.



Gambar 4. 10 Diagram batang *bass ratio* Grha ITS kondisi *existing*

*Bass ratio* merupakan perbandingan antara *reverberation time* pada frekuensi rendah terhadap frekuensi menengah (Everest & Pohlmann, 2009). Ketika nilai *bass ratio* di bawah 1, hal ini menandakan *reverberation time* pada frekuensi rendah lebih pendek dibandingkan frekuensi menengah-tinggi. Kondisi ini menghasilkan karakter suara yang terdengar kurang hangat, lebih tajam, dan cenderung kering. Data pada Gambar 4.10 Divisualisasikan dalam Gambar 4.11



Gambar 4. 11 Persebaran nilai *bass ratio* Grha ITS kondisi *existing*

Berdasarkan Gambar 4.11, zona dengan nilai *bass ratio* tertinggi ditandai dengan warna kuning (0,9 – 1,05). Zona ini terkonsentrasi di bagian tengah ruangan. Area ini menerima

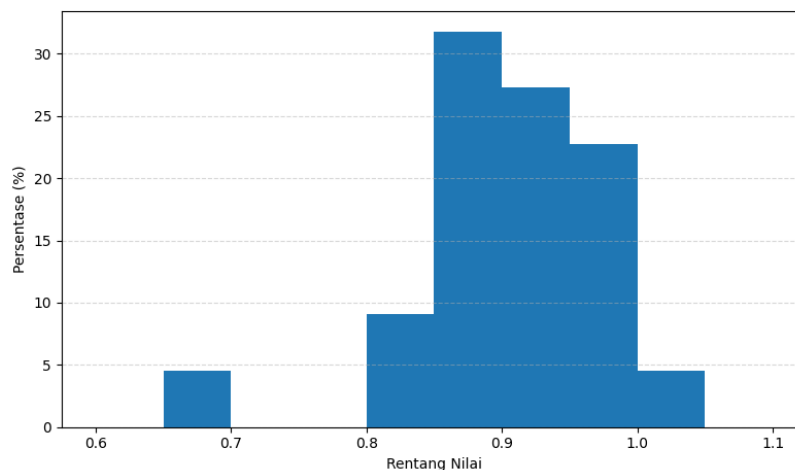
pantulan yang lebih seimbang dari permukaan dinding dan elemen keras lainnya sehingga energi rasio *reverberation time* antar pita frekuensi di area tersebut mendekati nilai kesatuan. Sebaliknya, zona dengan nilai *bass ratio* terendah mendominasi area panggung dan depan panggung. Pendengar yang berada di zona ini akan mempersepsi suara dengan karakter yang kurang hangat dibandingkan pendengar di bagian tengah ruangan.

Nilai *bass ratio* yang ideal untuk fungsi pidato berada pada rentang 0,9 hingga 1,0, sedangkan untuk fungsi musik berada pada rentang 1,1 hingga 1,25 (Everest & Pohlmann, 2009). Pada Gambar 4.9, nilai *bass ratio* untuk fungsi pidato yang memenuhi hanya berada pada zona berwarna kuning (0,9-1). Zona ini berada di dekat pintu dan di tengah ruangan. Sementara zona lainnya berada di bawah dan di atas ambang batas tersebut. Jika dibandingkan dengan standar untuk fungsi musik, tidak ada satu pun zona yang mencapai rentang standar. Nilai tertinggi yang terukur bernilai 1,02, nilai ini berada di bawah ambang bawah standar musik sebesar 1,1.

Kondisi Grha ITS menunjukkan bahwa ruangan bersifat *bright*. Ruangan masih dapat berfungsi untuk pidato namun kurang optimal untuk fungsi musik. Karakter ruangan akan menghasilkan reproduksi suara yang terasa kering, tipis, dan kurang memuaskan secara musikal. Kesenjangan antara kondisi *bass ratio* terukur dan standar menunjukkan bahwa ruangan ini membutuhkan perbaikan atau optimasi akustik agar sesuai dengan fungsi ruangan.

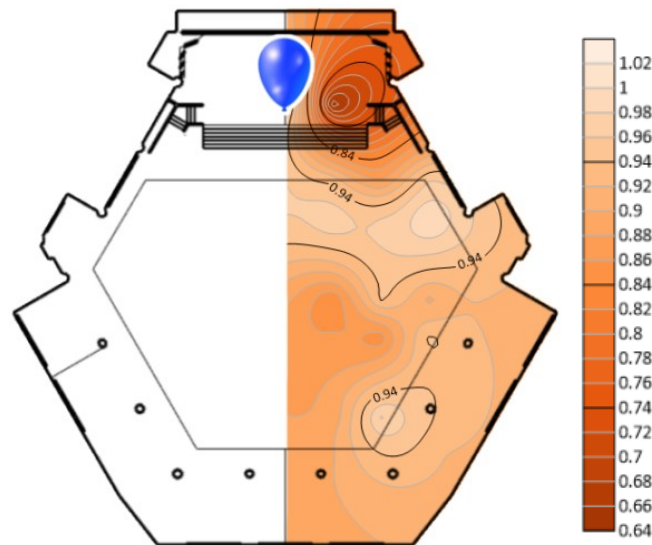
#### 4.1.5 Analisis *Treble Ratio* Kondisi Existing

*Treble ratio* merupakan indikator keseimbangan respons frekuensi ruang terhadap serapan akustik. *Treble ratio* dihitung sebagai rasio antara *reverberation* pada frekuensi tinggi terhadap frekuensi menengah. Persamaan 2.4 Digunakan untuk menghitung *treble ratio* dan hasil perhitungan disajikan pada Gambar 4.12.



Gambar 4. 12 Diagram batang *treble ratio* Grha ITS kondisi *existing*

Berdasarkan Gambar 4.12, data menunjukkan bahwa seluruh titik ukur dalam ruang berada pada rentang 0,65 hingga 1,02. Nilai *treble ratio* yang sangat rendah, yaitu 0,65, mengindikasikan bahwa lokasi tersebut terjadi penyerapan frekuensi tinggi. Sebaliknya, nilai *treble ratio* sebesar 1,02 mengindikasikan kondisi frekuensi tinggi cenderung dipantulkan oleh material permukaan ruangan. Persebaran nilai *treble ratio* divisualisasikan pada Gambar 4.13.

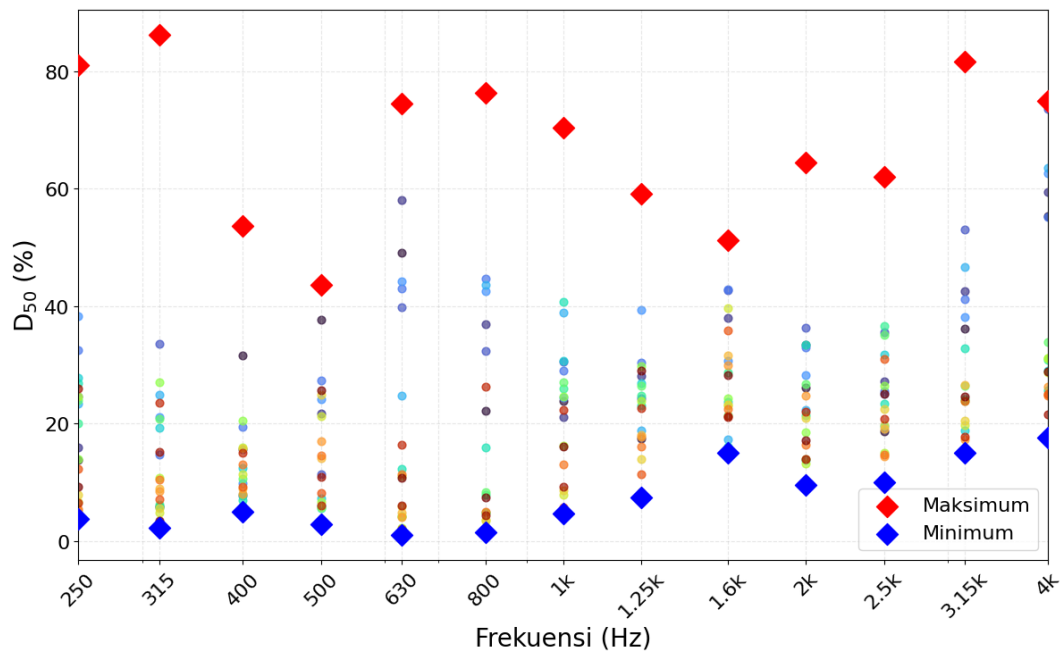


Gambar 4. 13 Persebaran nilai *treble ratio* Grha ITS kondisi *existing*

Berdasarkan Gambar 4.13, area audiens memiliki nilai yang cenderung lebih tinggi sebesar 0,85 hingga 0,95. Distribusi ini menunjukkan bahwa mayoritas ruang memiliki keseimbangan peluruhan frekuensi tinggi yang relatif seragam. Namun, terdapat area tertentu yang menunjukkan nilai lebih rendah yang ditunjukkan oleh warna coklat (0,64 – 0,78), sedangkan sebagian area lain menunjukkan nilai yang sedikit lebih tinggi yang ditandai dengan warna coklat muda – putih (0,92 – 1,02). Perbedaan distribusi ini mengindikasikan adanya variasi lokal dalam proses penyerapan dan penyebaran energi bunyi frekuensi tinggi di dalam ruangan. Secara keseluruhan, distribusi *treble ratio* menunjukkan bahwa ruang memiliki kecenderungan meredam frekuensi tinggi lebih cepat dibandingkan frekuensi menengah, sehingga karakter akustiknya cenderung lebih hangat dan tidak terlalu tajam pada frekuensi tinggi.

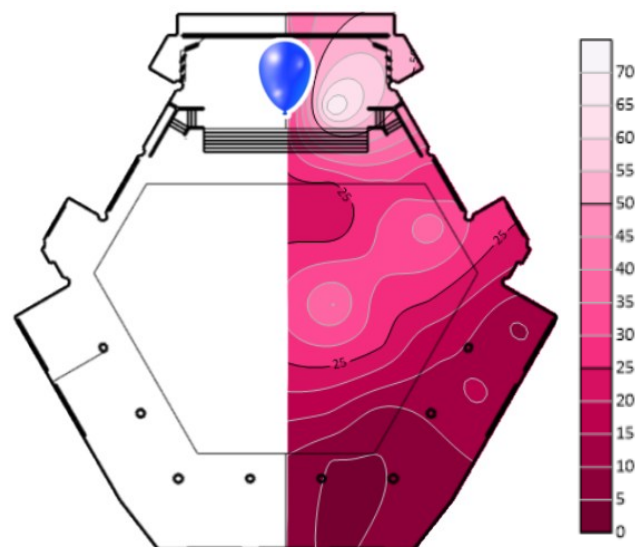
#### 4.1.6 Analisis *Definition (D<sub>50</sub>)* Kondisi *Existing*

Pengukuran  $D_{50}$  dilakukan untuk menggunakan metode *impulse respon* yaitu letusan balon. Hasil pengukuran  $D_{50}$  dapat dilihat pada Gambar 4.14. Analisis dilakukan pada rentang frekuensi 250 Hz hingga 4000 Hz, pemilihan rentang frekuensi ini disesuaikan dengan rentang ucapan manusia (Gambar 2.4). Hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4. 14 Grafik  $D_{50}$  Grha ITS kondisi *existing*

Berdasarkan Gambar 4.14, nilai yang rendah pada rentang frekuensi rendah (0% – 40%) mencerminkan dominasi *late sound energy* terhadap total energi impuls. Ini merupakan karakteristik ruangan bervolume besar dengan kapasitas absorpsi bass yang terbatas. Kondisi ini menyebabkan kejelasan ucapan pada frekuensi rendah menjadi rendah dan tidak merata di seluruh ruangan. Nilai  $D_{50}$  pada frekuensi 400 Hz dan 500 Hz mencapai titik terendah secara keseluruhan. Rendahnya nilai  $D_{50}$  pada rentang ini mengindikasikan bahwa energi setelah 50 ms masih mendominasi sehingga proporsi energi yang tiba dalam 50 ms pertama belum cukup untuk menghasilkan kejelasan suara yang memadai. Frekuensi tinggi seperti 3150 Hz dan 4000 Hz menunjukkan nilai meningkat ( $\approx 10\% - 60\%$ ). Peningkatan ini menunjukkan bahwa energi pantul meluruh lebih cepat dan proporsi energi yang datang dalam 50 ms pertama menjadi lebih besar. Parameter  $D_{50}$  pada frekuensi 1000 Hz divisualisasikan Gambar 4.15.



Gambar 4. 15 Persebaran  $D_{50}$  Grha ITS kondisi *existing* frekuensi 1000 Hz

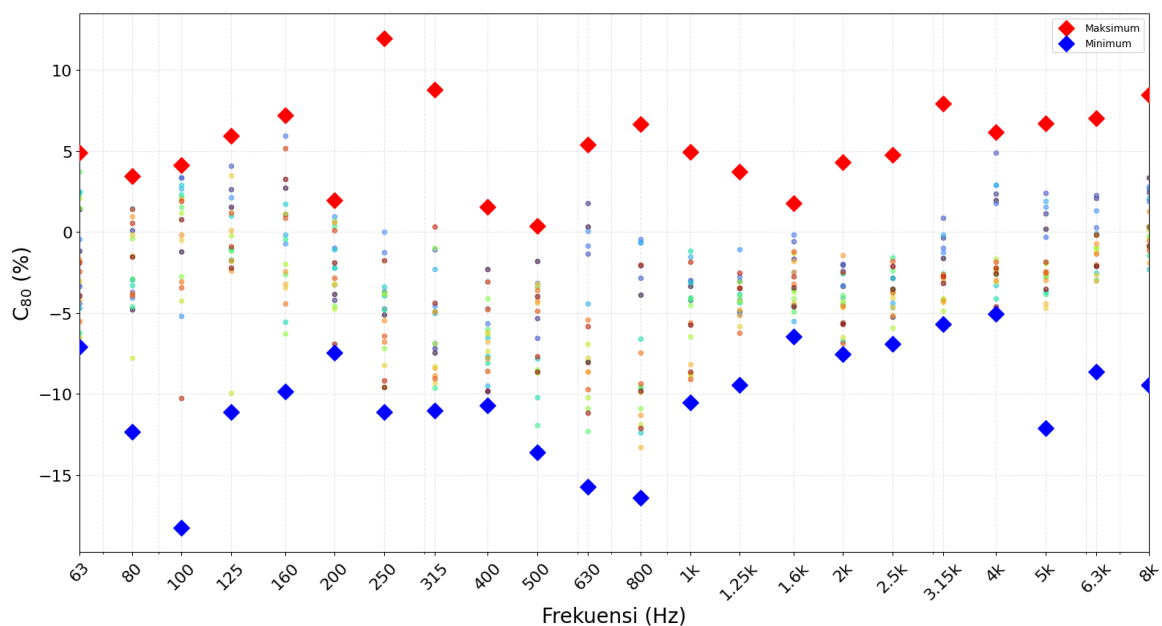
Berdasarkan Gambar 4.15, area panggung menunjukkan nilai yang jauh lebih tinggi dibandingkan area audiens. Area panggung didominasi nilai  $D_{50}$  yang tinggi dan ditunjukkan oleh warna pink hingga putih (45% – 70%). Sementara area audiens didominasi oleh warna pink tua (0% – 20%) yang mencerminkan nilai  $D_{50}$  yang rendah. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa perbedaan kondisi akustik antara area panggung dan area audiens bersifat struktural, bukan sekadar variasi lokal yang acak.

Berdasarkan Gambar 4.15, nilai  $D_{50}$  berada pada rentang antara 0% hingga 70%. Area depan panggung mencatat  $D_{50}$  tertinggi dari seluruh titik ukur dengan nilai mendekati 70%. Pada jarak yang dekat dengan sumber bunyi, proporsi energi yang tiba dalam 50 ms pertama terhadap total energi impuls menjadi sangat besar sehingga menghasilkan nilai  $D_{50}$  yang tinggi. Kondisi di area audiens menunjukkan nilai  $D_{50}$  yang lebih rendah yaitu antara 0% hingga 45%. Dominasi warna pink tua (0% – 30%) di hampir seluruh area audiens pada frekuensi ini mengindikasikan bahwa energi setelah 50 ms sangat mendominasi di area pendengar. Kondisi ini berimplikasi langsung pada rendahnya kejelasan suara yang diterima audiens pada frekuensi tersebut.

Standar nilai  $D_{50}$  yang baik untuk ruangan multifungsi berada pada rentang 45% hingga 70% (Ribeiro, 2002). Apabila data pengukuran dibandingkan dengan standar tersebut, mayoritas hasil pengukuran di area audiens memiliki nilai  $D_{50}$  di bawah batas minimum 45% di setiap frekuensi. Hanya beberapa titik yang memenuhi rentang standar tersebut yaitu di area panggung dan sekitarnya yang berada di dekat sumber suara. Ruang Grha ITS belum memenuhi persyaratan nilai  $D_{50}$  yang direkomendasikan untuk fungsi multifungsi dan diperlukan perbaikan akustik untuk meningkatkan kejelasan suara di area audiens.

#### 4.1.7 Analisis *Clarity* ( $C_{80}$ ) Kondisi Existing

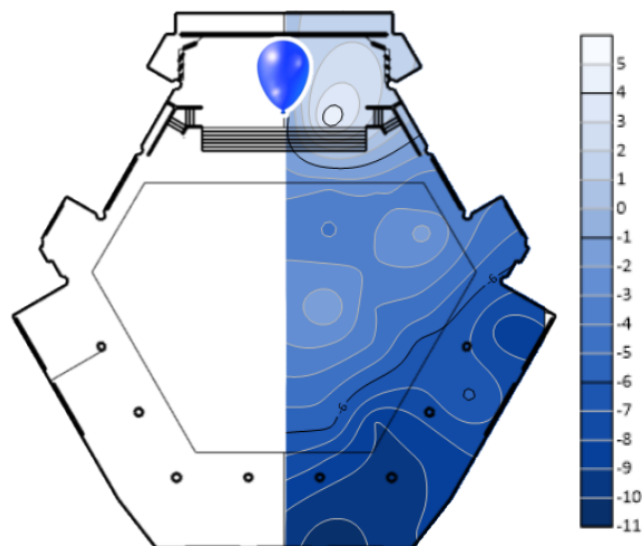
Pengukuran *Clarity* ( $C_{80}$ ) menggunakan metode *impulse response* pada berbagai titik sesuai dengan Gambar 3.5. Data pengukuran dianalisis dalam rentang 63 Hz hingga 8000 Hz. Pemilihan rentang ini menyesuaikan dengan rentang frekuensi musik pada Gambar 2.1. Hasil pengukuran  $C_{80}$  disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.16.



Gambar 4. 16 Grafik  $C_{80}$  Grha ITS kondisi existing

Berdasarkan Gambar 4.16, nilai rata-rata  $C_{80}$  menunjukkan kecenderungan meningkat pada frekuensi 63 Hz–160 Hz, kemudian menurun pada rentang 250 Hz–800 Hz, dan kembali meningkat pada frekuensi di atas 1000 Hz. Pada frekuensi rendah, sebagian besar nilai  $C_{80}$  berada lebih dekat ke 0 dB dibandingkan frekuensi lainnya. Kondisi ini menunjukkan bahwa energi bunyi yang diterima dalam 80 ms pertama relatif lebih besar dibandingkan energi yang datang setelah 80 ms. Pada rentang frekuensi 250 Hz–800 Hz, distribusi nilai  $C_{80}$  bergeser ke arah yang lebih negatif dengan kondisi paling dominan pada frekuensi sekitar 800 Hz. Hal ini mengindikasikan bahwa *late sound energy* lebih mendominasi dibandingkan energi awal. Dominasi *late sound energy* tersebut menunjukkan adanya akumulasi pantulan pada frekuensi menengah sehingga energi bunyi bertahan lebih lama di dalam ruangan. Akibatnya, suara yang diterima pendengar cenderung kurang tegas karena bercampur dengan pantulan-pantulan yang masih tersisa.

Pada frekuensi di atas 1000 Hz, distribusi nilai  $C_{80}$  kembali bergerak ke arah yang lebih tinggi hingga frekuensi 8000 Hz. Kecenderungan ini menunjukkan bahwa energi bunyi yang diterima dalam 80 ms pertama semakin dominan dibandingkan energi yang datang setelahnya. Kondisi tersebut menyebabkan informasi yang terkandung dalam sinyal suara dapat diterima dengan lebih jelas dan tegas oleh pendengar. Selain itu, sebaran data pada setiap frekuensi menunjukkan rentang yang cukup lebar antara nilai minimum dan maksimum. Sebagai contoh, pada frekuensi 250 Hz nilai  $C_{80}$  tersebar dari sekitar -11 dB hingga 12 dB. Rentang yang besar ini menunjukkan bahwa distribusi kejelasan bunyi belum merata di seluruh area pendengar. Variasi tersebut dipengaruhi oleh perbedaan jarak terhadap sumber bunyi, karakteristik pantulan dari dinding dan plafon, serta geometri ruangan yang menyebabkan setiap titik menerima proporsi energi awal dan energi pantulan yang berbeda. Akibatnya, sebagian area memperoleh kejelasan bunyi yang lebih baik, sedangkan area lainnya menerima kontribusi energi pantulan yang lebih dominan. Parameter  $C_{80}$  pada frekuensi 1000 Hz divisualisasikan pada Gambar 4.17.



Gambar 4. 17 Persebaran  $C_{80}$  Grha ITS kondisi *existing* frekuensi 1000 Hz

Berdasarkan Gambar 4.17, zona biru – putih di area panggung memiliki nilai  $C_{80}$  mencapai 4 dB hingga 5 dB. Nilai ini menunjukkan  $C_{80}$  area panggung yang baik. Namun area penonton tetap didominasi warna biru tua dengan nilai -6 dB hingga -11 dB di bagian tengah dan belakang.

Nilai  $C_{80}$  yang paling disukai pendengar berada pada rentang -1 dB hingga -4 dB untuk fungsi konser simfoni (Beranek, 2004). Ruangan dengan rentang nilai  $C_{80}$  ini terasa cukup reverberan namun detail musik tetap terdengar. Sementara itu, rentang optimum  $C_{80}$  untuk musik yang sedikit lebar yaitu -2 dB hingga 4 dB (Ribeiro, 2002). Data pada Gambar 4.17 menunjukkan bahwa hanya beberapa titik di beberapa frekuensi yang memenuhi kriteria Beranek dan Ribeiro.

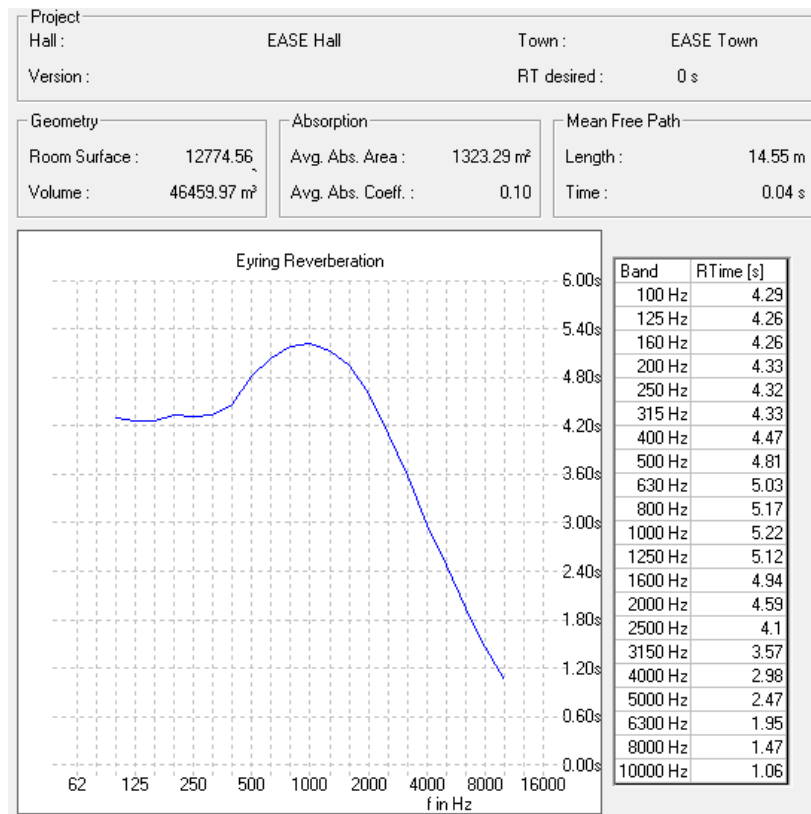
Hasil pengukuran dan analisis distribusi  $C_{80}$  menunjukkan bahwa ruangan dalam kondisi *existing* belum memenuhi persyaratan akustik untuk fungsi musik. Banyak titik di area penonton yang tidak masuk ke dalam rentang standar ruang untuk musik dan nilai  $C_{80}$  di setiap titik tidak homogen. Kondisi ini disebabkan dari volume ruangan yang sangat besar dan belum memiliki *treatment* akustik yang memadai sehingga energi dengung mendominasi energi awal di hampir seluruh area penonton pada hampir seluruh rentang frekuensi yang diukur.

## 4.2 Simulasi EASE 4.3

Pengukuran data simulasi komputer menggunakan perangkat lunak EASE 4.3. Hasil pengukuran didapatkan berupa nilai distribusi SPL, *reverberation time*, *bass ratio*, *treble ratio*, STI, dan  $C_{80}$ . Pengukuran melalui simulasi komputer ini menyesuaikan dengan kondisi *existing* ruangan Grha ITS. Ruangan dibuat menyerupai Grha ITS dengan perangkat lunak SketchUp Pro 21. Setelah ruangan terbentuk, parameter akustik ruangan diukur menggunakan perangkat lunak EASE 4.3. Pengukuran dengan EASE 4.3 dimulai dengan memasukkan material. Material ruangan dipilih dan disesuaikan dengan kondisi *existing* Grha ITS. Pengukuran distribusi SPL, STI, dan  $C_{80}$  dilakukan dengan dua kondisi yaitu sumber suara dengan satu speaker dan sumber suara dengan seluruh speaker.

### 4.2.1 Analisis Reverberation Time Simulasi EASE 4.3

Pengukuran *reverberation time* menghasilkan satu nilai tunggal di setiap frekuensi yang mempresentasikan lama waktu yang dibutuhkan tingkat tekanan bunyi untuk mengalami penurunan sebesar 60 dB. Gambar 4.18, menunjukkan nilai *reverberation time* pada rentang frekuensi 100 Hz hingga 10000 Hz. Nilai *reverberation time* berkisar dari 1,06 detik (10000 Hz) hingga 5,22 detik (1000 Hz). Nilai *reverberation time* pada setiap frekuensi mencerminkan tingkat kehilangan energi bunyi yang terjadi selama propagasi dan pemantulan. Nilai yang terukur mengindikasikan bahwa energi bunyi masih tersimpan di dalam medan akustik ruang dalam rentang waktu tertentu sebelum teredam akibat absorpsi permukaan, hamburan oleh objek di alam ruang, serta rugi-rugi energi yang terjadi selama perambatan gelombang bunyi.



Gambar 4. 18 *Reverberation time* Grha ITS Simulasi

Hasil simulasi pada EASE 4.3 dapat diamati bahwa energi bunyi di dalam Grha ITS mengalami peluruhan yang berbeda di setiap frekuensi (Gambar 4.18). Pola kurva menunjukkan *reverberation time* cenderung meningkat dari frekuensi rendah menuju frekuensi menengah, nilai mencapai maksimum pada frekuensi 1000 Hz. Semakin besar nilai *reverberation time*, semakin lama energi bunyi bertahan akibat proses pemantulan berulang pada dinding, lantai, plafon, maupun elemen lain di dalam ruangan. Sebaliknya, nilai yang lebih kecil menunjukkan energi bunyi lebih cepat teredam sehingga tingkat tekanan bunyi menurun dalam waktu singkat setelah sumber bunyi dihentikan.

Berdasarkan Gambar 2.3, rekomendasi nilai *reverberation time* fungsi pidato sebesar 1,0 detik hingga 1,2 detik untuk volume ruangan yang besar di antara 10.000 m<sup>3</sup> hingga 50.000 m<sup>3</sup> (Harris, 1997). Apabila dibandingkan dengan simulasi EASE 4.3 Grha ITS, nilai *reverberation time* pada frekuensi 1000 Hz berada di atas rentang tersebut, yaitu 5,22 detik. Dengan demikian, *reverberation time* Grha ITS tidak memenuhi kriteria untuk fungsi pidato. Sementara itu, kurva *concert hall* merekomendasikan *reverberation time* sekitar 1,6 detik – 1,8 detik menurut Beranek dan 2,0 detik – 2,4 detik menurut Bagenal dan Wood (Harris, 1997). Terhadap kedua kurva ini, nilai *reverberation time* Grha ITS simulasi EASE 4.3 masih melampaui batas rekomendasi untuk fungsi musik.

Nilai *reverberation time* yang melebihi rentang standar rekomendasi menunjukkan bahwa energi bunyi terlalu lama di dalam ruangan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa proses absorpsi energi bunyi belum cukup efektif untuk menghilangkan energi hasil pemantulan dalam waktu yang diharapkan. Akibatnya, energi bunyi terus mengalami refleksi berulang. Kondisi ini menunjukkan bahwa ruangan memiliki karakter reverberan yang kuat sehingga perlu menjadi pertimbangan dalam perancangan dan pengaturan sistem tata suara. Hasil analisis *reverberation*

*time* ini dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan strategi optimasi sistem tata suara agar performa akustik ruang menjadi lebih efektif sesuai dengan fungsinya.

#### 4.2.2 Analisis Bass Ratio Simulasi EASE 4.3

Perhitungan *bass ratio* dilakukan untuk mengukur kehangatan ruang Grha ITS. Berdasarkan Gambar 4.18, nilai *bass ratio* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.3. Nilai *bass ratio* didapatkan dari perbandingan *reverberation time* pada frekuensi 125 Hz dan 250 Hz terhadap frekuensi 250 Hz dan 1000 Hz. *Bass ratio* dihitung dengan persamaan 2.3 dan didapatkan hasil sebesar 0,86.

*Bass ratio* Grha ITS diperoleh sebesar 0,86. Nilai ini menunjukkan bahwa *reverberation time* pada frekuensi rendah lebih rendah dibandingkan frekuensi menengah. Kondisi ini mengindikasikan ruangan memiliki karakteristik akustik cenderung *bright*. Energi pada frekuensi rendah mengalami peluruhan lebih cepat dibandingkan frekuensi menengah, sehingga suara yang dihasilkan di dalam ruangan akan terasa kurang hangat dan kurang penuh secara tonal.

Rentang standar *bass ratio* sebesar 0,9 – 1,0 untuk fungsi *speech* dan 1,1 – 1,25 untuk fungsi musik (Everest & Pohlmann, 2009). Apabila nilai *bass ratio* Grha ITS dibandingkan dengan standar tersebut, maka nilai *bass ratio* Grha ITS berada di bawah rentang standar untuk kedua fungsi tersebut. Dengan demikian, hasil simulasi menunjukkan *bass ratio* di bawah ambang batas standar pidato dan musik. Kesesuaian antara kedua hasil ini memperkuat kondisi akustik ruangan yang teridentifikasi defisiensi kehangatan tonal yang bersifat menyeluruh.

#### 4.2.3 Analisis Treble Ratio Simulasi Ease 4.3

*Treble ratio* merupakan parameter untuk menggambarkan sejauh mana ruangan memengaruhi keseimbangan frekuensi antara frekuensi tinggi dan menengah. Perhitungan *treble ratio* pada simulasi menggunakan persamaan 2.4 dan nilai yang didapatkan sebesar 0,75.

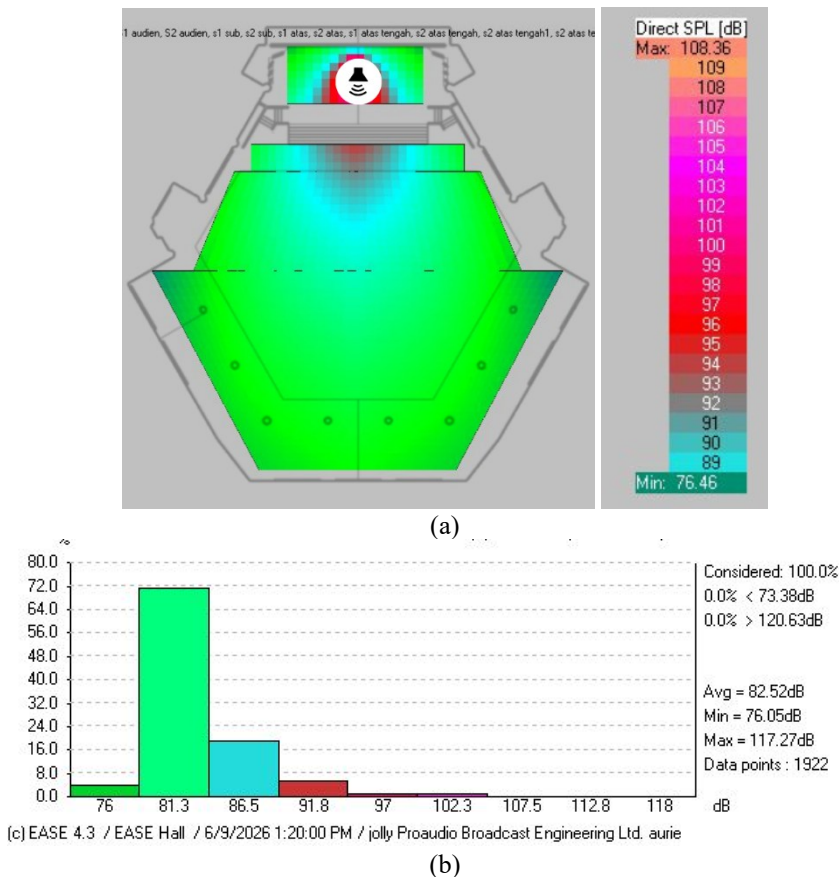
Nilai *treble ratio* sebesar 0,75 menunjukkan bahwa *reverberation time* pada frekuensi tinggi lebih pendek dibandingkan frekuensi menengah. Nilai ini berada di bawah 1 yang mengindikasikan adanya perbedaan peluruhan energi antara frekuensi tinggi dan frekuensi menengah. Energi bunyi frekuensi tinggi mengalami penurunan lebih cepat di dalam ruangan sedangkan energi bunyi frekuensi menengah mampu bertahan lebih lama. Karakteristik ini memberikan kesan akustik yang lebih hangat karena frekuensi tinggi tidak bertahan lama di dalam ruangan. Namun detail bunyi yang bergantung pada komponen frekuensi tinggi, seperti artikulasi konsonan percakapan dan kejernihan instrumen musik tertentu, dapat berkurang.

#### 4.2.4 Simulasi EASE 4.3 Satu Sumber Suara

Pengukuran Simulasi EASE 4.3 dengan satu sumber suara dilakukan untuk mengevaluasi karakteristik ruang Grha ITS. Sumber suara yang digunakan berupa speaker yang diletakkan di tengah panggung. Posisi sumber suara ini mirip dengan metode *impulse response* yang digunakan pada pengukuran kondisi *existing*. Parameter yang diukur antara lain distribusi SPL, STI, dan  $C_{80}$ .

##### 4.2.4.1 Analisis Distribusi Sound Pressure Level (SPL) Simulasi EASE 4.3 Satu Sumber Suara

Pengukuran distribusi SPL dengan satu sumber suara dilakukan untuk mengetahui bagaimana persebaran SPL di dalam ruangan. Analisis dilakukan pada frekuensi 1000 Hz. Hasil distribusi SPL pada frekuensi 1000 Hz dapat dilihat pada Gambar 4.19.

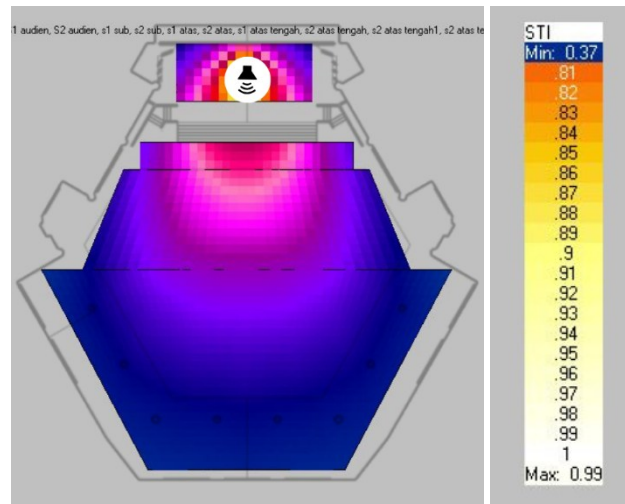


Gambar 4. 19 Distribusi SPL simulasi satu sumber suara frekuensi 1000 Hz. (a) Persebaran SPL, dan (b) Diagram batang SPL

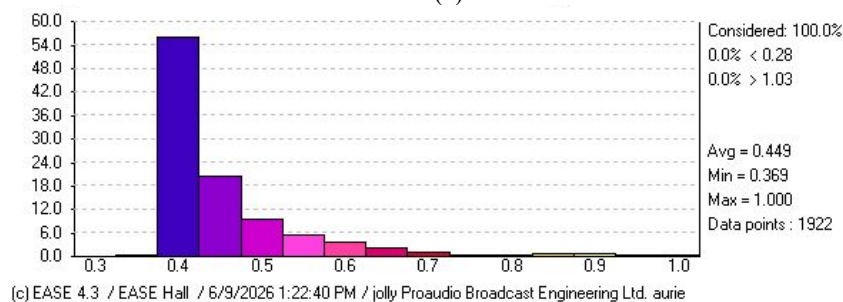
Berdasarkan Gambar 4.19, nilai rata-rata SPL pada frekuensi 1000 Hz sebesar 82,52 dB dengan nilai minimum 76,05 dB dan nilai maksimum 117,27 dB. Hasil pemetaan memperlihatkan bahwa mayoritas audiens berada pada rentang SPL yang relatif homogen. Namun terlihat adanya penurunan level yang lebih nyata pada area yang jauh dari sumber bunyi. Apabila ditinjau berdasarkan kriteria distribusi level untuk ruangan menurut Ahnert & Tennhardt (2008), perbedaan antara area audiens dekat sumber suara dengan titik terjauh lebih dari 10 dB. . Dengan demikian, distribusi SPL pada frekuensi 1000 Hz tidak memenuhi kriteria keseragaman. Kondisi ini mengindikasikan bahwa pada frekuensi 1000 Hz terdapat beberapa area pendengar yang berpotensi menerima tingkat tekanan bunyi lebih rendah dibandingkan area referensi, sehingga kejelasan informasi suara, khususnya untuk fungsi pidato, dapat berkurang. Oleh karena itu, diperlukan optimasi lebih lanjut terhadap konfigurasi dan pengarahan speaker agar distribusi SPL pada frekuensi ini menjadi lebih merata.

#### 4.2.4.2 Analisis *Speech Transmission Index* (STI) Simulasi EASE 4.3 Satu Sumber Suara

STI merupakan parameter yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat kejelasan suara dalam suatu ruangan. Nilai STI berada pada rentang 0 hingga 1, di mana semakin tinggi nilainya menunjukkan semakin baik tingkat keterpahaman ucapan yang diterima oleh audiens. Hasil simulasi STI dapat dilihat pada Gambar 4.20.



(a)



(b)

Gambar 4. 20 STI Grha ITS simulasi satu sumber suara frekuensi 1000 Hz. (a) Persebaran STI, dan (b) Diagram batang STI

Berdasarkan hasil simulasi STI pada Gambar 4., nilai STI berada pada rentang 0,369 – 1 dengan rata-rata 0,449. Distribusi dominan berada pada nilai 0,4 sebesar lebih dari 54%, di atas 0,4 lebih dari 33%, dan sisany di bawah 0,4. Area dengan nilai STI berada di depan panggung dan area tengah dekat dengan sumber bunyi. Area ini ditandai dengan warna merah muda hingga putih. Semakin menjauh ke area audiens dan sisi ruangan, nilai STI menurun dan warnanya menjadi biru tua. Kondisi ini terjadi karena energi *direct sound* (kurang dari 50 ms) lebih sedikit dibandingkan bunyi yang datang setelahnya, sedangkan bunyi pantulan meningkat dan membuat sinyal ucapan menjadi kurang jelas (Persamaan 2.6).

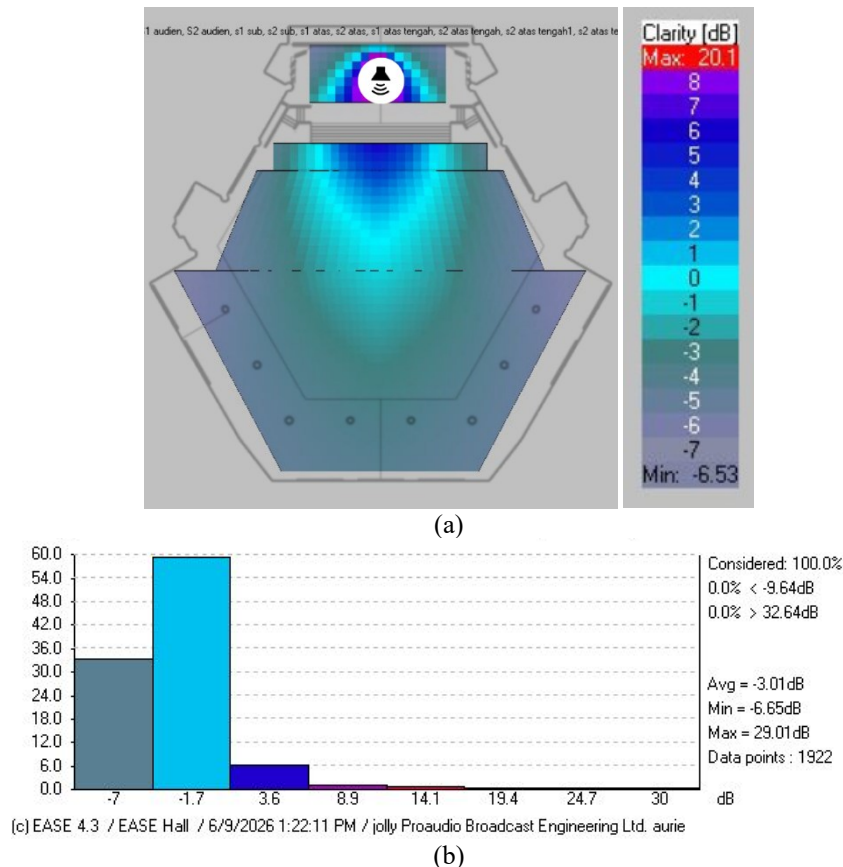
Kualitas STI menurut Houtgast (2002) dibagi menjadi beberapa kategori yaitu 0,45–0,60 (cukup), 0,60–0,75 (baik), dan 0,75–1,00 (sangat baik). Berdasarkan kategori tersebut, STI Grha ITS berada pada kategori kurang hingga cukup karena mayoritas nilai STI sebesar 0,4 sebanyak 54%. Intelligibilitas percakapan pada sebagian besar area audiens belum optimal. Dengan demikian, sistem tata suara dan karakter akustik ruang masih memerlukan optimasi. Optimasi dilakukan melalui pengaturan ulang arah speaker atau peningkatan pemerataan cakupan suara agar nilai STI dapat meningkat secara lebih merata ke rentang  $\geq 0,60$  sehingga mencapai kategori baik.

#### 4.2.4.3 Analisis *Clarity* ( $C_{80}$ ) Simulasi EASE 4.3 Satu Sumber Suara

$C_{80}$  digunakan untuk mengevaluasi tingkat kejelasan suara di dalam ruangan dengan membandingkan energi bunyi yang datang 80 ms pertama terhadap energi bunyi yang datang setelah 80 ms sesuai dengan persamaan 2.5. Nilai  $C_{80}$  yang tinggi menunjukkan dominasi energi langsung dan pantulan awal sehingga detail bunyi lebih jelas terdengar, sedangkan nilai

yang terlalu rendah menunjukkan dominasi energi pantulan yang dapat mengurangi kejelasan suara. Hasil simulasi  $C_{80}$  pada frekuensi 1000 Hz dapat dilihat pada Gambar 4.21.

Pada frekuensi 1000 Hz distribusi  $C_{80}$  menunjukkan nilai rata-rata sebesar -3,81 dB dengan nilai minimum -6,53 dB dan maksimum 20,2 dB. Gambar 4.a memperlihatkan sebagian besar area audiens berada pada rentang warna abu-abu hingga biru yang menunjukkan nilai  $C_{80}$  sebesar -7 dB hingga 4 dB.



Gambar 4. 21  $C_{80}$  Grha ITS simulasi satu sumber suara frekuensi 1000 Hz. (a) Persebaran  $C_{80}$ , dan (b) Diagram batang  $C_{80}$

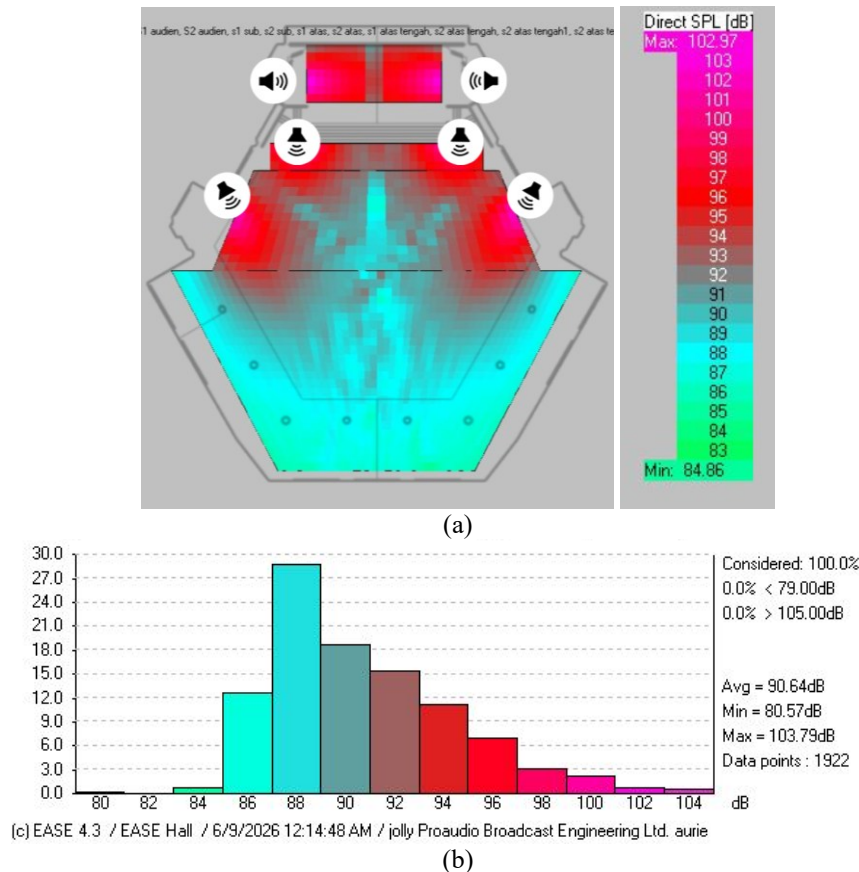
Berdasarkan Gambar 4.21b, terlihat bahwa sebagian besar titik pengukuran terkonsentrasi pada -1,7 dB sebesar 60%. Sebaran data yang didominasi oleh nilai negatif menunjukkan bahwa energi bunyi yang datang setelah 80 ms lebih besar dibandingkan bunyi awal. Beranek (2004) merekomendasikan nilai  $C_{80}$  berada pada rentang -4 dB hingga -1 dB dan standar Ribeiro (2002) yang merekomendasikan rentang -2 dB hingga 4 dB, maka nilai dominan pada frekuensi ini (-1,7 dB sebesar 60%) menunjukkan tingkat kejelasan yang baik. Namun nilai ini masih belum merata di seluruh ruangan.

#### 4.2.5 Simulasi EASE 4.3 Seluruh Speaker

Pengukuran Simulasi EASE 4.3 dengan sumber suara seluruh speaker dilakukan untuk mengevaluasi sistem tata suara Grha ITS. Sumber suara yang digunakan berupa speaker yang diletakkan di beberapa titik. Posisi sumber suara ini mirip dengan posisi speaker pada pengukuran kondisi *existing*. Parameter yang diukur antara lain distribusi SPL, STI, dan  $C_{80}$ .

#### 4.2.5.1 Analisis Distribusi *Sound Pressure Level* (SPL) Simulasi EASE 4.3 Seluruh Speaker

Pengukuran distribusi SPL dilakukan untuk mengetahui pemerataan dari suara yang dihasilkan speaker. Pengukuran ini menggunakan speaker yang diletakkan sesuai dengan kondisi *existing* (ruang kosong). Jenis speaker diatur menyerupai speaker yang ada di Grha ITS. Tingkat tekanan bunyi speaker diatur pada level max di setiap frekuensi. Analisis dilakukan pada frekuensi 1000 Hz seperti pada Gambar 4.22.



Gambar 4. 22 Distribusi SPL Grha ITS simulasi seluruh speaker frekuensi 1000 Hz. (a) Persebaran SPL, dan (b) Diagram batang SPL

Distribusi SPL pada frekuensi 1000 Hz memiliki rentang nilai dari 80,57 dB hingga 103,97 dB dengan rata-rata 90,64 dB (Gambar 4.22). Kondisi ini menunjukkan bahwa variasi tingkat tekanan bunyi masih terjadi pada berbagai titik di area audiens. Nilai SPL tertinggi tetap berada di dekat dengan sumber bunyi sedangkan nilai yang lebih rendah ditemukan pada lokasi yang lebih jauh dari sumber bunyi. Namun, terdapat zona warna biru nilai SPL sebesar 87 dB hingga 91 dB. Keberadaan zona ini mengindikasikan adanya daerah dengan tekanan bunyi yang relatif lebih rendah dibandingkan area sekitarnya. Fenomena ini mengakibatkan penurunan tekanan bunyi sehingga tampak sebagai zona biru yang lebih jelas yang terbentuk di daerah tertentu pada Gambar 4.22a.

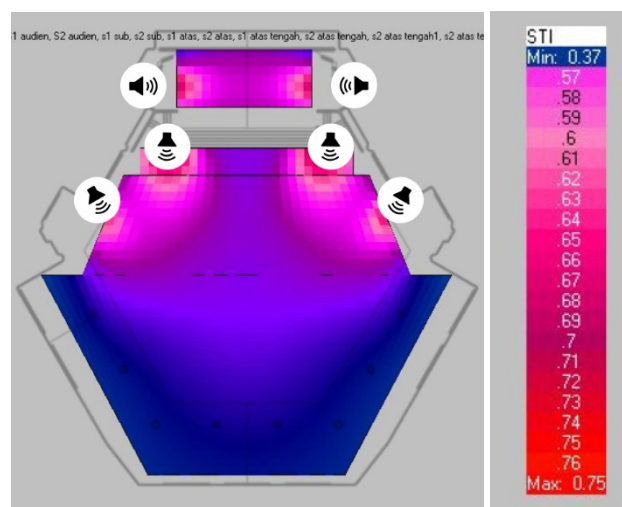
Distribusi SPL seperti terlihat pada Gambar 4.22b, pada frekuensi 1000 Hz didominasi nilai 88 dB dengan persentase lebih dari 27% dari seluruh area pengukuran. Dominasi ini menunjukkan bahwa sebagian besar area audiens menerima tingkat tekanan bunyi yang berada pada nilai tersebut. Gambar 4.22b juga terlihat bahwa konsentrasi data pada rentang SPL tertentu banyak terakumulasi pada tingkat tekanan bunyi dari 86 dB hingga 96 dB, sementara

nilai di bawah 84 dB dan di atas 100 dB hanya menempati sebagian kecil area pengukuran. Rentang nilai yang jauh ini mengindikasikan bahwa distribusi SPL di dalam Grha ITS tidak merata jika disesuaikan dengan standar Ahnert & Tennhardt (2008). Beberapa area mengalami tekanan bunyi akibat dominasi bunyi langsung sedangkan area lainnya mengalami penurunan SPL akibat pelemahan energi selama propagasi. Kondisi ini menyebabkan audiens yang berada pada posisi yang berbeda di dalam ruangan berpotensi menerima tingkat kekerasan bunyi yang tidak sama. Hasil distribusi SPL dipengaruhi oleh berbagai fenomena akustik yang menyebabkan variasi tingkat tekanan bunyi pada area audiens. Oleh karena itu, evaluasi tidak hanya dilakukan berdasarkan distribusi SPL tetapi juga perlu mempertimbangkan parameter akustik lainnya seperti *reverberation time*, *bass ratio*, STI, dan  $C_{80}$ .

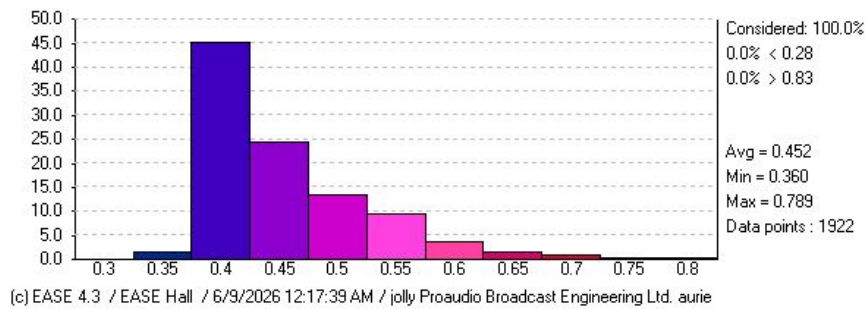
#### 4.2.5.2 Analisis *Speech Transmission Index* (STI) Simulasi EASE 4.3 Seluruh Speaker

Analisis kejelasan ucapan untuk fungsi ruang pidato menggunakan hasil pengukuran STI. Sumber suara dalam pengukuran simulasi berasal dari speaker yang telah diletakkan sesuai dengan kondisi *existing*. Gambar 4.23 menunjukkan peta distribusi STI. Zona berwarna merah muda-oranye menunjukkan rentang nilai STI antara 0,6 hingga 0,8, sedangkan zona biru-ungu menunjukkan rentang nilai STI antara 0,3 hingga 0,6. Pada Gambar 4.23a, zona merah muda-kuning berkumpul di area dekat dengan sumber suara. Informasi suara yang dipancarkan oleh speaker masih diterima dengan dominasi energi bunyi langsung sehingga kejelasan ucapan dapat dipertahankan dengan baik ketika mencapai pendengar.

Semakin dekat suatu titik terhadap sumber suara, semakin besar rasio antara energi bunyi langsung dan energi bunyi pantul yang diterima. Nilai STI pada area dekat dengan speaker cenderung lebih tinggi dibandingkan area jauh dari speaker. Ketika pendengar berada jauh dari sumber suara, energi bunyi setelah 50 ms lebih dominan sehingga pendengar secara maksimal. Kontribusi bunyi pantul dari dinding, lantai, plafon, dan elemen lain berpengaruh pada energi bunyi yang akan sampai ke pendengar. Superposisi antara bunyi langsung dan bunyi pantul yang datang dengan selang waktu berbeda dapat mengurangi kejelasan informasi ucapan yang diterima pendengar. Perubahan warna dari merah muda-oranye (0,57 – 76) menuju biru-ungu (di bawah 0,57) pada area yang lebih jauh dari sumber suara menggambarkan adanya penurunan kualitas transmisi sinyal ucapan di dalam ruang.



(a)



(b)

Gambar 4. 23 STI Grha ITS simulasi seluruh speaker frekuensi 1000 Hz. (a) Persebaran STI, dan (b) Diagram batang STI

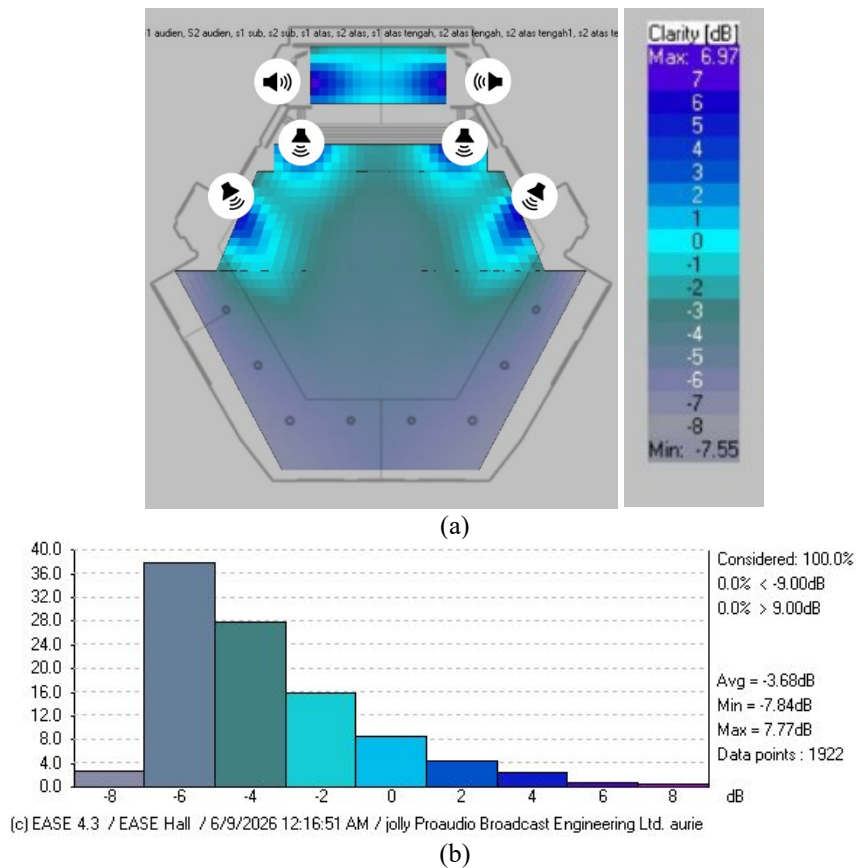
Berdasarkan Gambar 4.23b, nilai rata-rata STI menunjukkan angka 0,452 dengan nilai minimum dan maksimum sebesar 0,360 dan 0,789. Rentang STI yang besar menunjukkan adanya variasi kejelasan ucapan di dalam Grha ITS. Nilai maksimum berada pada area yang dekat dengan sumber suara sehingga menerima bunyi sebelum 50 ms lebih besar. Sementara titik terendah menunjukkan area yang menerima bunyi pantul dalam proporsi yang lebih besar. Nilai STI mayoritas berada pada angka 0,4 dengan persentase 45%. Dominasi nilai STI pada kisaran 0,4 mencakup hampir setengah jumlah titik ukur. Dominasi ini menunjukkan bahwa sebagian besar area audiens mengalami kondisi akustik yang dikendalikan oleh kombinasi bunyi langsung dan bunyi pantul.

Nilai STI yang baik berada pada rentang 0,60 hingga 0,75 dan sangat baik pada rentang 0,75 hingga 1,00 (Houtgast, 2002). Berdasarkan standar tersebut, persentase nilai STI yang memenuhi di bawah 5%. Hasil ini menunjukkan bahwa area dengan tingkat kejelasan ucapan yang tinggi hanya menempati sebagian kecil dari keseluruhan area pendengar. Persentase yang kecil mengindikasikan kondisi akustik yang mampu mempertahankan informasi ucapan secara optimal hanya terjadi pada lokasi-lokasi tertentu di dalam ruangan.

Distribusi nilai STI yang diperoleh menunjukkan performa kejelasan ucapan di dalam Grha ITS belum merata pada seluruh area pendengar. Meskipun terdapat beberapa titik dengan nilai STI yang tinggi, jumlah titik yang memenuhi kriteria sangat terbatas. Ini menandakan kualitas transmisi ucapan yang diterima pendengar bergantung pada posisi pendengar terhadap sumber suara di dalam Grha ITS. Hasil Analisis STI menunjukkan bahwa kejelasan ucapan di Grha ITS memiliki distribusi yang tidak homogen yang ditunjukkan dengan nilai STI tertinggi hanya berada pada area tertentu. Hasil pengukuran STI ini menjadi dasar dalam proses optimasi sistem tata suara untuk meningkatkan pemerataan cakupan suara dan kejelasan ucapan pada area dengan nilai STI rendah.

#### 4.2.5.3 Analisis *Clarity* ( $C_{80}$ ) Simulasi EASE 4.3 Seluruh Speaker

Pengukuran  $C_{80}$  pada simulasi EASE 4.3 dilakukan untuk mengukur tingkat kejelasan suara musik yang dihasilkan oleh speaker. Analisis dilakukan pada frekuensi 1000 Hz. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.24.



Gambar 4. 24  $C_{80}$  Grha ITS simulasi seluruh speaker frekuensi 1000 Hz. (a) Persebaran  $C_{80}$ , dan (b) Diagram batang  $C_{80}$

Berdasarkan Gambar 4.24, nilai  $C_{80}$  yang tinggi berada di area dekat dengan speaker. Kondisi ini disebabkan dominasi energi *direct sound* belum mengalami pelemahan, sehingga energi awal yang tiba sebelum 80 ms jauh lebih besar dibandingkan energi pantulan. Seiring bertambahnya jarak dari sumber menuju tengah ruangan, nilai  $C_{80}$  mengalami penurunan ke tingkat menengah hingga rendah.

Berdasarkan data histogram 4.24b, distribusi nilai  $C_{80}$  di dalam ruangan ini didominasi oleh nilai negatif dengan rata-rata -3,68 dB. Nilai  $C_{80}$  pada hasil simulasi memiliki rentang antara -7,84 dB hingga 7,77 dB. Dominasi nilai negatif ini mengindikasikan bahwa pada sebagian besar area audiens, energi pantulan lebih dominan dibandingkan energi langsung. Fenomena ini terjadi karena tingginya *reverberation time* atau kurangnya material penyerap di dalam Grha ITS.

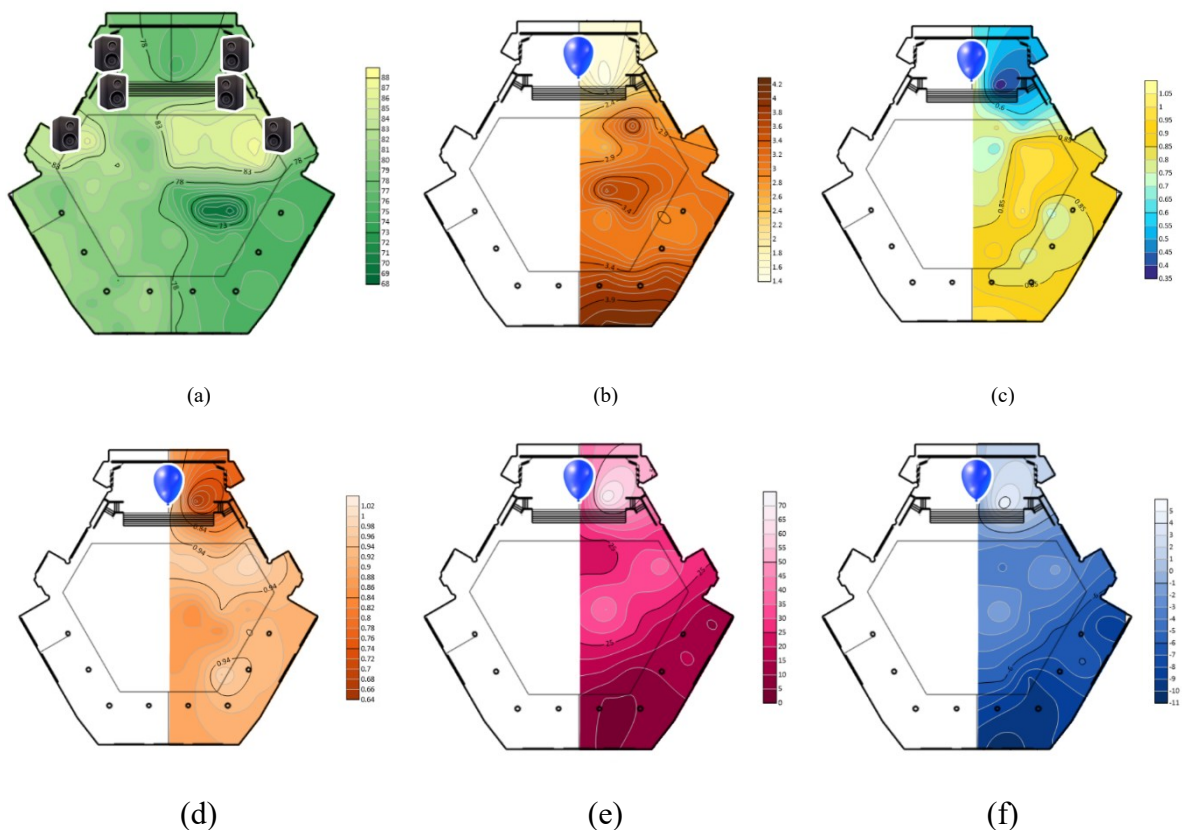
Standar nilai  $C_{80}$  untuk musik simfoni berada pada rentang -1 dB hingga -4 dB (Beranek, 2004). Nilai dominan  $C_{80}$  pada frekuensi 1000 Hz sebesar -6 dB (di atas 36%) belum memenuhi standar. Hal ini menunjukkan ruangan cenderung lebih reverberan dibandingkan kondisi optimum. Sementara itu, zona yang memenuhi rentang ini (-4 – 4 dB) berada di area panggung dan depan panggung sehingga detail musik masih dapat dipertahankan pada beberapa posisi pendengar. Sebagian ruangan tidak memenuhi standar nilai ini yaitu area tengah hingga belakang. Rentang optimum ruangan auditorium untuk fungsi musik secara umum berada di antara -2 dB hingga 4 dB (Ribeiro, 2002). Pada frekuensi 1000 Hz, sebagian area ruangan telah memenuhi rentang optimum. Gambar 4.19a menunjukkan nilai yang memenuhi standar dengan persentase di atas 28%. Meskipun demikian, sebagian area masih memiliki nilai yang rendah

sehingga kejernihan musik belum merata di seluruh ruang audiens, terutama di area tengah hingga dekat pintu.

Parameter  $C_{80}$  menunjukkan bahwa Grha ITS masih didominasi oleh karakter reverberan. Meskipun sebagian area telah mendekati atau memenuhi rentang optimum untuk pertunjukan musik, distribusi nilai  $C_{80}$  yang belum merata menunjukkan perlunya optimasi sistem tata suara agar kejernihan musik dapat tercapai secara lebih seragam pada seluruh area pendengar.

### 4.3 Optimasi Sistem Tata Suara Grha ITS dengan Simulasi EASE 4.3

Optimasi sistem tata suara mempertimbangkan hasil pengukuran parameter akustik pada kondisi *existing*. Optimasi sistem tata suara menggunakan simulasi EASE 4.3 untuk mendapatkan parameter akustik hasil optimalisasi. Optimasi sistem tata suara dilakukan dengan menambahkan jumlah dan sudut speaker.



Gambar 4. 25 Persebaran parameter akustik Grha ITS kondisi *existing* frekuensi 1000 Hz. (a) Distribusi SPL, (b) *Reverberation time*, (c) *Bass ratio*, (d) *Treble ratio*, (e)  $D_{50}$ , dan (f)  $C_{80}$

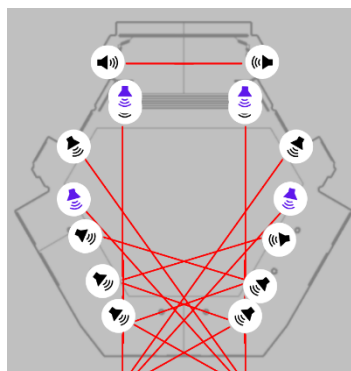
Berdasarkan Gambar 4.25a, nilai *reverberation time* berada pada rentang 1,4 detik hingga 4,2 detik. Nilai *reverberation time* di area tengah mencapai 3,9 detik hingga 4,2 detik. Nilai ini terlalu tinggi untuk pidato dan musik. Sementara itu nilai *reverberation time* yang rendah di sebagian sudut ruangan mengindikasikan variasi material penyerap yang tidak merata. Ruang yang tidak memiliki penyerapan suara akan menghasilkan suara yang terlalu terang dan bergema dengan pencitraan stereo yang kurang jelas. Untuk mendapatkan citra stereo yang stabil, speaker ditempatkan pada posisi yang simetri kanan dan kiri termasuk pengaturan sudut dan posisi penguat suara yang presisi terhadap posisi pendengar (Colloms, 2018). Berdasarkan

Gambar 4.25c dan 4.25d, defisiensi bass yang besar di bagian belakang dan tengah. Distribusi *bass ratio* dan *treble ratio* yang tidak merata menunjukkan adanya masalah *room modes* yang tidak terdistribusi merata.

Berdasarkan Gambar 4.25e, area tengah-belakang memiliki nilai  $D_{50}$  yang sangat rendah. Hampir semua energi tiba setelah 50 ms. Perbedaan nilai yang tajam dari depan ke belakang menunjukkan tidak ada sistem speaker yang berfungsi untuk mendukung area tengah-belakang, sehingga area ini hanya mengandalkan bunyi pantulan dari permukaan ruangan. Untuk kualitas suara dan preferensi pendengar, pantulan yang datang dari samping (pada sudut  $40^{\circ}$ - $90^{\circ}$ ) dapat meningkatkan kesan ruangan tanpa merusak kejelasan dibandingkan pantulan dari depan atau belakang (Toole, 2006). Nilai  $D_{50}$  yang berada di area ini berkorelasi dengan masalah SPL pada Gambar 4.25a, area yang sama tidak mendapat *direct sound* yang kuat. Terlihat pada Gambar 4.25f bahwa nilai  $C_{80}$  memiliki nilai yang tinggi di panggung dan rendah di belakang ruangan. Area di dekat panggung masih mendekati ambang batas tetapi area tengah hingga belakang memiliki nilai  $C_{80}$  yang sangat rendah.

Area yang membutuhkan optimasi dapat ditinjau melalui keseluruhan parameter akustik pada frekuensi 1000 Hz. Area tengah-belakang memiliki titik yang paling parah dengan nilai parameter akustik rendah. Area ini akan diberikan speaker tambahan yang diletakkan di balkon dan diarahkan ke area. Area kiri dan kanan memiliki distribusi SPL dan  $D_{50}$  yang lemah. Solusi untuk area kiri dan kanan adalah memberikan *side-fill speaker* atau *line array* pendek yang diarahkan ke area ini tanpa menambah *reverb* berlebihan. Rekomendasi optimasi sistem tata suara ini dibuat dengan kondisi akustik ruangan, seperti *reverberation time*, dianggap tetap atau sesuai yang terukur pada ruangan, sehingga efektivitasnya akan terbatas.

Optimasi sistem tata suara dilakukan dengan menambahkan speaker di berbagai titik seperti pada Gambar 4.26. Speaker diletakkan di atas panggung. Speaker ini menggantung di bawah balkon lantai 3 Grha ITS. Penambahan speaker ini menyesuaikan dengan kondisi sistem tata suara Grha ITS saat kegiatan berlangsung. *Delay speaker* lainnya berada di area tengah dan menggantung di bawah balkon lantai 3 Grha ITS. Sudut speaker diarahkan ke area tengah-belakang ruangan. Speaker lainnya diletakkan di dekat tiang-tiang yang berada di dalam ruangan dengan arah ke tengah ruangan. Peletakkan speaker ini menghadap ke depan audiens sehingga tidak ada pendengar yang mendapat *direct sound* dari belakang.



Gambar 4. 26 Posisi speaker optimasi sistem tata suara Grha ITS

Berdasarkan Gambar 4.26, simbol speaker biru menandakan speaker berada di atas balkon lantai 3 sementara speaker berwarna hitam diletakkan di atas 2 meter dari lantai. Speaker

diposisikan dalam keadaan simetris kanan kiri. Sudut dan *time delay* speaker disajikan dalam Tabel 4.

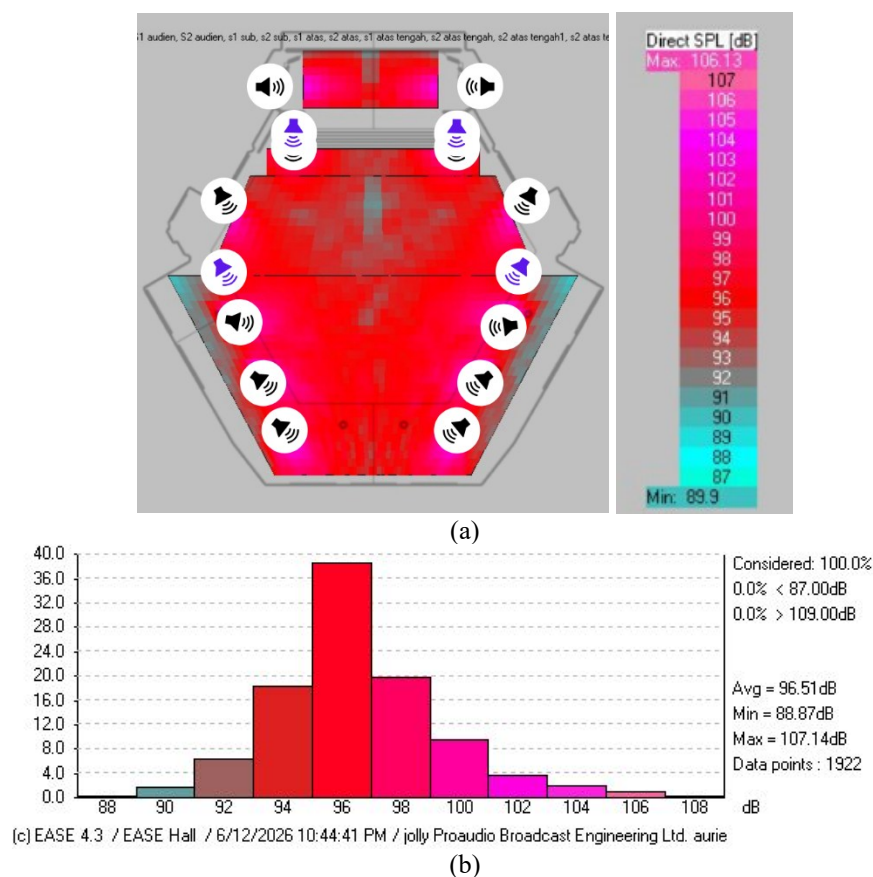
Tabel 4. 1 Sudut dan *delay time* speaker optimasi sistem tata suara Grha ITS

| Posisi                               | Sudut | Time Delay |
|--------------------------------------|-------|------------|
| Atas panggung menggantung di balkon  | 0°    | 0 ms       |
| Tengah ruangan menggantung di balkon | 30°   | 50 ms      |
| Tengah ruangan                       | 55°   | 0 ms       |
| Tengah – belakang ruangan            | 55°   | 85 ms      |
| Belakang ruangan                     | 30°   | 106 ms     |

Berdasarkan konfigurasi posisi, sudut orientasi, dan *time delay* yang telah ditentukan pada Tabel 4.1, sistem tata suara hasil optimasi diharapkan mampu meningkatkan pemerataan distribusi tingkat tekanan bunyi serta kualitas akustik ruangan. Hasil konfigurasi ini kemudian dianalisis lebih lanjut melalui simulasi untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap parameter akustik ruang.

#### 4.3.1 Analisis Optimasi Distribusi Sound Pressure Level (SPL)

Parameter distribusi SPL digunakan sebagai indikator kuantitatif untuk mengevaluasi pemerataan tingkat tekanan bunyi yang diterima oleh pendengar. Untuk menilai keberhasilan optimasi dengan simulasi, Gambar 4.27, memperlihatkan distribusi SPL di dalam ruang Grha ITS.



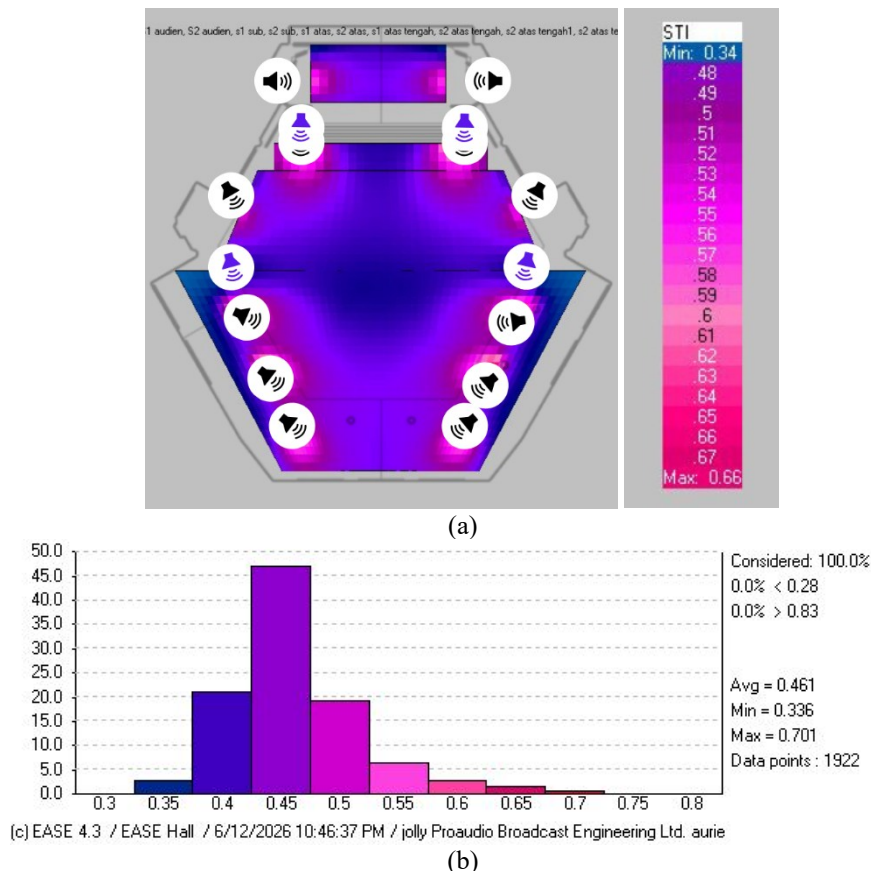
Gambar 4. 27 Optimasi distribusi SPL Grha ITS

Berdasarkan Gambar 4.27, nilai rata-rata tercatat sebesar 96,51 dB dengan nilai minimum 88,87 dB dan nilai maksimum 107,14 dB. Pada frekuensi 1000 Hz, distribusi histogram lebih terpusat dengan dominasi kuat pada rentang 96 dB di atas 36% dibandingkan distribusi. Area tengah auditorium didominasi oleh warna merah pekat yang mengindikasikan konsentrasi SPL yang tinggi. Sementara itu, area tepi menunjukkan gradasi warna yang lebih pudar sebagai indikasi penurunan level tekanan suara. Pola ini mencerminkan energi bunyi terkonsentrasi pada area yang paling dekat dengan sumber suara dan melemah ke arah sisi yang dekat dengan batas permukaan.

Standar keseragaman SPL menurut (Ahnert & Tennhardt, 2008), suatu ruangan dianggap memiliki distribusi suara yang baik ketika perbedaan suara antara titik referensi dan titik pendengar berada pada rentang 6 dB, maka kondisi ruangan ini tidak memenuhi kriteria tersebut. Range total distribusi SPL mencapai 18,27 dB. Nilai distribusi SPL pada Grha ITS tidak memenuhi syarat secara rentang SPL yang terukur, namun persebaran nilai pada Gambar 4.27a menunjukkan warna merah yang sangat dominan. Artinya, nilai paling minimum hanya berada di area tertentu saja yaitu di pinggir ruangan. Area tersebut jarang digunakan sebagai tempat duduk pendengar. Sebanyak 80% nilai SPL didominasi oleh angka 94 dB – 98 dB pada frekuensi 1000 Hz (Gambar 4.27b). Oleh karena itu, distribusi nilai SPL dapat dikatakan cukup merata di dalam Grha ITS.

#### 4.3.2 Analisis Optimasi *Speech Transmission Index*

Optimasi parameter STI di Grha ITS dilakukan untuk menjamin tingkat kejelasan ucapan. Ini berhubungan dengan fungsi pidato Grha ITS. Gambar 4.28, menampilkan pola distribusi STI pasca optimalisasi.



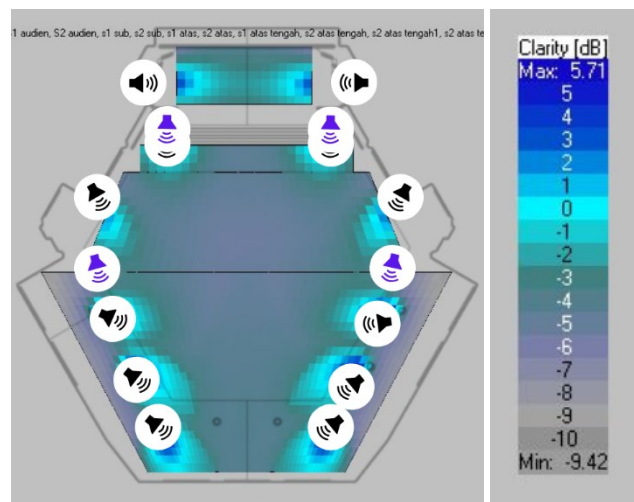
Gambar 4. 28 Optimasi STI Grha ITS

Berdasarkan Gambar 4.28, seluruh distribusi nilai STI pada hasil optimasi terkonsentrasi pada rentang 0,4-0,50 dengan tidak ada nilai yang turun di bawah 0,35 dan tidak ada nilai yang melampaui 0,7. Berdasarkan Tabel 2.3, tidak ada area yang mencapai kategori "Sangat Baik" setelah dilakukan optimalisasi. Sebagian besar area ruangan berada pada kategori cukup sebesar 65%. sehingga penambahan speaker tidak berhasil menggeser distribusi nilai STI ke rentang yang lebih tinggi.

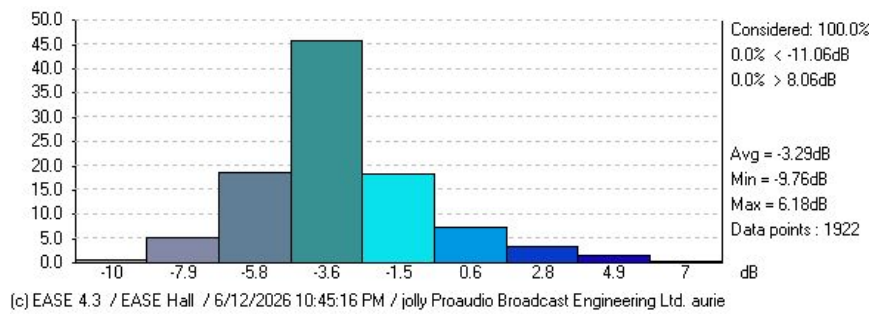
Peningkatan nilai STI yang kurang optimum setelah penambahan speaker ini berhubungan dengan energi suara langsung dan energi *reverberant*. STI mengukur sejauh mana modulasi sinyal suara dapat dipertahankan setelah merambat melalui ruangan. Gangguan utama terhadap modulasi adalah energi *reverberant*. Dengung dapat menyebabkan efek pengaburan kejelasan suara. Ketika speaker tambahan dioperasikan pada level maksimum akan terjadi peningkatan total energi ke dalam ruangan secara merata. Energi tambahan ini pada akhirnya terserap dalam medan *reverberant* yang sudah jenuh. Akibatnya, dengung meningkat proposional dengan sinyal sehingga rasio modulasi tidak membaik. Beberapa area mendapatkan nilai STI yang memburuk, terutama di area yang sebelumnya sudah menerima suara langsung yang cukup dari speaker utama.

#### 4.3.3 Analisis Optimasi *Clarity* ( $C_{80}$ )

Kualitas akustik ruang untuk pertunjukan musik diukur melalui nilai  $C_{80}$ . Hasil simulasi akustik menggunakan perangkat lunak EASE 4.3 menunjukkan distribusi nilai  $C_{80}$  pada ruang Grha ITS setelah penambahan speaker. Gambar 4.29 menunjukkan distribusi nilai  $C_{80}$  pada frekuensi 1000 Hz. Nilai rata-rata  $C_{80}$  menunjukkan angka sebesar -3,29 dB dengan nilai minimum -9,76 dB dan maksimum +6,1 dB. Distribusi nilai  $C_{80}$  menunjukkan konsentrasi data pada angka -3,6 dB dengan persentase sebesar 45%. Pola distribusi pada Gambar 4.29 mengindikasikan mayoritas posisi pendengar menerima nilai  $C_{80}$  di bawah nol sementara area dekat dengan speaker menerima nilai  $C_{80}$  yang jauh lebih tinggi.



(a)



(b)

Gambar 4. 29 Optimasi  $C_{80}$  Grha ITS

Beranek (2004) menetapkan bahwa nilai  $C_{80}$  yang disukai pendengar untuk musik simfoni berada pada rentang -1 dB hingga -4 dB yang memiliki karakteristik ruangan terasa cukup reverberan namun detail musik masih dapat didengar dengan jelas. Mengacu pada kriteria ini, nilai  $C_{80}$  frekuensi 1000 Hz yang didominasi -3,6 dB (45%) telah masuk ke dalam rentang yang direkomendasikan. Nilai minimum yang mencapai -9,76 dB menandakan bahwa terdapat area di dalam ruangan mendapatkan persepsi musik yang kabur dan kurang jelas. Ribeiro (2002) menjelaskan rentang optimum -2 dB hingga +4 dB untuk ruangan dengan fungsi musik. Nilai maksimum +6,18 dB melampaui batas ambang yang ditetapkan. Ini mengindikasikan beberapa posisi pendengar menerima suara yang terlalu kering dan didominasi suara langsung.

Kondisi nilai  $C_{80}$  yang kurang optimal dalam pemenuhan standar yang digunakan merupakan konsekuensi yang didapat dari batasan intervensi yang ditetapkan dalam penelitian ini, yakni penambahan sistem tata suara tanpa modifikasi material akustik ruang. Karakteristik reverberansi ruang ditentukan oleh material permukaan tetap tidak berubah sehingga menyebabkan nilai  $C_{80}$  tidak bisa meningkat ke nilai yang lebih tinggi. Optimasi melalui sistem tata suara hanya mampu menggeser distribusi nilai  $C_{80}$  ke arah yang lebih positif tanpa mengurangi dispersi spasialnya secara fundamental.

## 4.4 Pembahasan

### 4.4.1 Perbandingan Hasil Pengukuran Kondisi *Existing* dan Simulasi EASE 4.3

Hasil pengukuran pada kondisi *existing* dibandingkan dengan hasil pengukuran simulasi EASE 4.3 pada frekuensi 1000 Hz. Seluruh parameter dibandingkan ke dalam Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Perbandingan kondisi *existing* dan simulasi EASE 3.4

| Parameter                 | Hasil Pengukuran Kondisi <i>Existing</i>                          | Hasil Pengukuran Simulasi EASE 4.3                           |                                                              |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|                           |                                                                   | Satu Sumber Suara                                            | Sumber Suara Seluruh Speaker                                 |
| Distribusi SPL            | Rentang nilai : 67,82 dB – 87,40 dB<br>Rata-rata : 76,65 dB       | Rentang nilai : 76,05 dB – 117,27 dB<br>Rata-rata : 82,52 dB | Rentang nilai : 80,57 dB – 103,97 dB<br>Rata-rata : 90,64 dB |
| <i>Reverberation Time</i> | Rentang nilai : 1,41 detik – 4,10 detik<br>Rata-rata : 3,13 detik | 5,71 detik                                                   |                                                              |
| <i>Bass Ratio</i>         | Rentang nilai : 0,36 – 1,02                                       | 0,86                                                         |                                                              |

|                     |                                                             |                                                           |                                                            |
|---------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
|                     | Rata-rata : 0,83                                            |                                                           |                                                            |
| <i>Treble Ratio</i> | Rentang nilai : 0,65 – 1,02<br>Rata-rata : 0,91             | 0,75                                                      |                                                            |
| $D_{50}$ dan STI    | Rentang nilai : 4,63% - 70,43%<br>Rata-rata : 22,52         | Rentang nilai : -0,369 – 1,00<br>Rata-rata : 0,449        | Rentang nilai : 0,360 – 0,789<br>Rata-rata : 0,452         |
| $C_{80}$            | Rentang nilai : -10,54 dB – 4,96 dB<br>Rata-rata : -4,77 dB | Rentang nilai : -9,31dB – 6,56 dB<br>Rata-rata : -3,23 dB | Rentang nilai : -7,84 dB – 7,77 dB<br>Rata-rata : -3,68 dB |

Berdasarkan Tabel 4.2, terdapat perbedaan antara pengukuran langsung dengan simulasi, hanya beberapa parameter yang memiliki nilai cukup dekat. Pada distribusi SPL, perbedaan nilai SPL pada pengukuran langsung dan simulasi terpaut cukup besar. Perbedaan ini disebabkan pada simulasi, ruangan bersifat ideal. Tidak ada *background noise* dari luar ruangan yang masuk ke dalam ruangan. Nilai *background noise* yang digunakan pada simulasi hanya mengambil satu titik dari pengukuran langsung. Level *output* yang dihasilkan speaker juga berbeda antara pengukuran langsung dan simulasi akustik. Pada pengukuran langsung, tidak semua speaker menghasilkan *output* yang sama antara speaker kiri dan kanan, sehingga nilai distribusi SPL berbeda antara sisi kanan dengan sisi kiri ruangan meskipun ruangan tersebut simetri. Sementara itu, pada simulasi EASE 4.3, speaker yang digunakan memiliki *output* yang sama pada level maksimal. Oleh karena itu, distribusi SPL pada pengukuran langsung dan simulasi menghasilkan nilai berbeda pada rentang nilai dan rata-rata.

Perbedaan nilai yang cukup tinggi juga ditunjukkan pada parameter *reverberation time*. Kondisi *existing* tidak bisa disimulasikan secara mirip 100%. Grha ITS memiliki ruangan semi terbuka pada lantai 2 dan lantai 3. Simulasi EASE 4.3 sangat terbatas untuk kondisi ini. Sebagai pengganti sisi terbuka ruangan Grha ITS, material absorber diletakkan pada sisi terbuka. Selain itu, terdapat detail kecil yang tidak dimasukkan ke dalam simulasi seperti pintu yang sedikit menjorok ke dalam, bentuk balkon lantai 3, rangka yang terdapat di plafon, serta elemen detail lainnya. Keterbatasan material pada perangkat lunak yang digunakan juga menjadi faktor perbedaan nilai. Material yang digunakan untuk simulasi terbatas pada material yang tersedia di perangkat lunak. Koefisien nilai absorber kondisi *existing* dan simulasi dapat berbeda karena tidak ada data spesifikasi lengkap material yang digunakan pada kondisi *existing*. Perbedaan ini menyebabkan selisih nilai *reverberation time* antara kondisi *existing* dan simulasi.

Nilai *bass ratio* memiliki nilai yang mirip dan dekat antara nilai rata-rata kondisi *existing* dan simulasi. Namun nilai *bass ratio* dalam simulasi hanya ada satu nilai tunggal sehingga tidak bisa dianalisis persebarannya di dalam ruangan. Rendahnya nilai kedua parameter,  $D_{50}$  dan STI, menunjukkan bahwa ruangan pada kondisi *existing* dan simulasi memiliki kejelasan suara yang buruk. Nilai rata-rata  $C_{80}$  pada kondisi *existing* dan simulasi memiliki nilai yang hampir sama. Namun rentang nilai antara kondisi *existing* dengan simulasi menunjukkan nilai yang berbeda. Secara keseluruhan, hasil perbandingan ini menunjukkan bahwa model simulasi cukup representatif untuk digunakan sebagai dasar dalam melakukan optimasi sistem tata suara pada tahap selanjutnya.

#### 4.4.2 Analisis Hasil Optimasi Sistem Tata Suara Antar Parameter

Hasil optimasi ditinjau pada pada frekuensi 1000 Hz untuk analisis interaksi antara parameter di dalam Grha ITS. Nilai parameter yang dibandingkan yaitu distribusi SPL, STI, dan  $C_{80}$ . Nilai parameter dibandingkan dengan standar yang digunakan seperti pada Tabel 4.3.

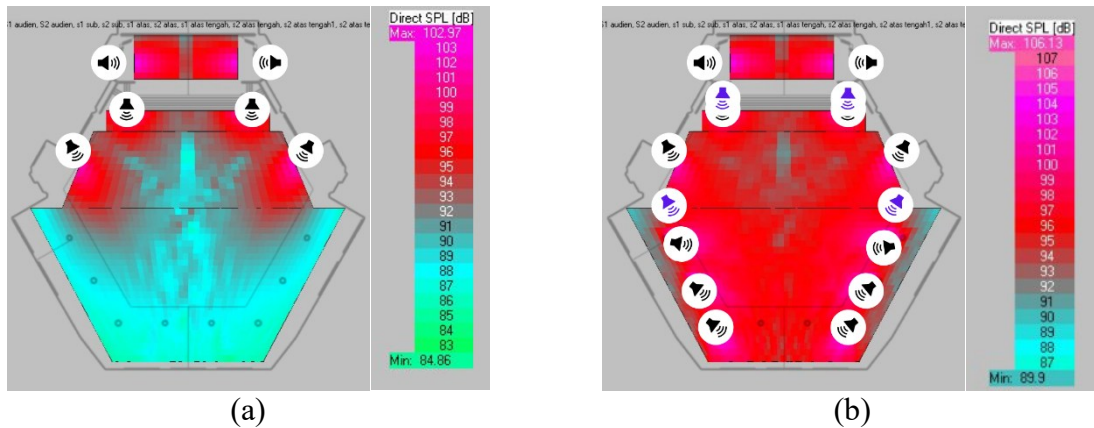
Tabel 4. 3 Perbandingan hasil simulasi existing dan optimasi parameter akustik pada frekuensi 1000 Hz

| Parameter      | Standar                                                                                    | Hasil Simulasi <i>Existing</i>                                   | Hasil Optimalisasi                                                                                                                                    |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Distribusi SPL | 0 dB $\geq$ Distribusi SPL $\geq$ -5 dB<br>(Ahnert & Tennhardt, 2008)                      | Rentang nilai : 80,57 dB – 103,97 dB<br><br>Rata-rata : 90,64 dB | Rentang nilai : 88,87 dB – 107,14 dB<br><br>Rata-rata : 96,51 dB<br><br>Nilai dominan : 96 dB (38%), 98 dB ( $\approx$ 20%), dan 94 ( $\approx$ 18 %) |
| STI            | 0,45 – 0,60 (cukup)<br>0,60 – 0,75 (baik)<br>0,75 – 1,00 (sangat baik)<br>(Houtgast, 2002) | Rentang nilai : 0,360 – 0,789<br><br>Rata-rata : 0,452           | Rentang nilai : 0,336 – 0,701<br><br>Rata-rata : 0,461<br><br>Nilai dominan : 0,45 ( $\approx$ 45%), 0,4 ( $\approx$ 20%), 0,5 ( $\approx$ 20%)       |
| $C_{80}$       | -1 dB hingga -4 dB<br>(Beranek, 2004)                                                      | Rentang nilai : -7,84 dB – 7,77 dB<br><br>Rata-rata : -3,68 dB   | Nilai dominan : -3,6 dB ( $\approx$ 45%), -5,8 dB ( $\approx$ 20%), -1,5 dB (20%)                                                                     |
|                | -2 dB hingga 4 dB<br>(Ribeiro, 2002)                                                       |                                                                  |                                                                                                                                                       |

Berdasarkan Tabel 4.3, distribusi SPL masih memiliki rentang nilai minimum dan maksimum yang luas, namun optimasi mampu mengubah nilai SPL di setiap titik lebih condong pada satu nilai tertentu. Titik yang memiliki SPL rendah hanya pada beberapa titik saja, titik tersebut jarang digunakan sebagai tempat audiens dalam beberapa kegiatan.

Distribusi SPL memengaruhi nilai STI. Apabila terdapat perbedaan SPL yang terlalu besar antara titik, maka sebagian area akan mengalami kekurangan energi. Penambahan speaker di area belakang berhasil meningkatkan STI ruangan dari kategori kurang menjadi cukup. Nilai  $C_{80}$  yang memiliki rata-rata -3,6 dB – -1,5 dB sebanyak 65% berada dalam rentang yang memenuhi standar. Nilai ini juga menunjukkan bahwa energi pantulan yang datang setelah 80 ms masih cukup besar.

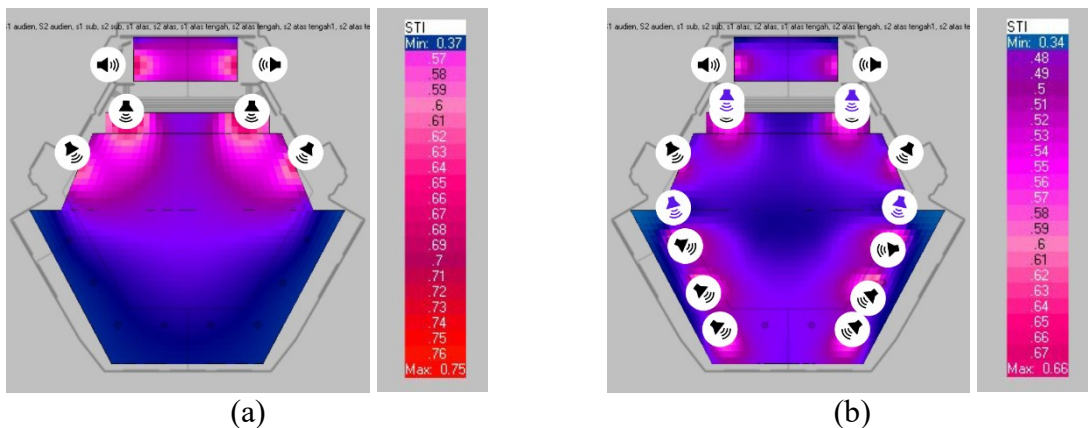
Distribusi SPL optimasi menunjukkan perubahan pada nilai dan pemerataan dibandingkan hasil simulasi EASE 4.3. Perbandingan hasil optimasi dan simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.30 Sebelum optimalisasi, tingkat SPL maksimum mencapai 102,97 dB, namun penurunan energi terjadi sangat cepat di bagian area audiens. Perbedaan nilai SPL tinggi sebesar 14 dB antara pendengar di depan dan belakang. Setelah optimalisasi, nilai SPL meningkat tipis menjadi 106,13 dB. Namun, area belakang yang sebelumnya rendah kini tercover penuh oleh warna merah, nilai SPL di area belakang menjadi ke rentang 98 dB – 102 dB.



Gambar 4. 30 Perbandingan distribusi SPL simulasi *existing* dan optimalisasi. (a) Simulasi *existing*, dan (b) Optimalisasi

Berdasarkan Gambar 4.30, penambahan jumlah speaker berhasil meningkatkan pemerataan distribusi SPL di dalam ruangan. Keberhasilan mereduksi penurunan energi dari 14 dB menjadi kurang dari 5 dB menunjukkan bahwa penempatan speaker efektif memotong jarak tempuh gelombang sebelum mengalami atenuasi parah.

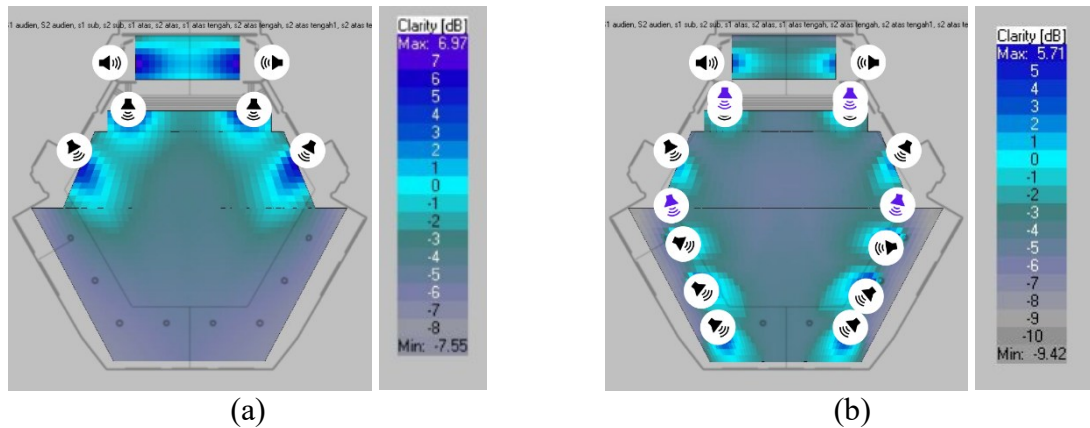
STI optimasi menunjukkan perubahan pada nilai dan pemerataan dibandingkan hasil simulasi EASE 4.3 kondisi *existing*. Perbandingan hasil optimasi dan simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.31.



Gambar 4. 31 Perbandingan STI simulasi *existing* dan optimalisasi. (a) Simulasi *existing*, dan (b) Optimalisasi

Berdasarkan Gambar 4.31, nilai minimum STI berada di angka 0,37 (kategori kurang). Pola visual menunjukkan bahwa nilai STI yang baik (0,60 – 0,70) hanya berada di area depan panggung dan dekat sumber suara. Sebaliknya, area tengah hingga belakang didominasi rentang nilai (0,45 – 0,55). Rendahnya nilai STI menandakan kejelasan ucapan yang buruk bagi audiens di area tersebut. Setelah optimalisasi, nilai STI mengalami pemerataan. Area tengah didominasi oleh warna magenta (0,48 – 0,55) yang masuk ke kategori cukup. Hasil optimasi menunjukkan peningkatan terjadi di area penonton belakang.

Nilai  $C_{80}$  optimasi menunjukkan perubahan pada nilai dan pemerataan dibandingkan hasil simulasi EASE 4.3. Perbandingan hasil optimasi dan simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.32



Gambar 4. 32 Perbandingan  $C_{80}$  simulasi *existing* dan optimalisasi. (a) Simulasi *existing*, dan (b) Optimalisasi

Berdasarkan Gambar 4.32, nilai  $C_{80}$  berada pada rentang maksimum 6,97 dB hingga minimum -7,55 dB. Secara visual, sebaran nilai positif hanya menumpuk di sisi depan dekat speaker dan panggung. Area tengah hingga belakang menunjukkan nilai  $C_{80}$  yang mendekati angka -3 – -8 dB. Setelah optimalisasi, area tengah mengalami peningkatan nilai  $C_{80}$ . Nilai  $C_{80}$  pada area ini tersebar secara merata di hampir seluruh area audiens.

Hasil optimasi pada frekuensi 1000 Hz (Gambar 4.27 – Gambar 4.29) menunjukkan bahwa peningkatan distribusi SPL telah berhasil menyediakan energi suara yang cukup dan relatif seragam di sebagian besar area pendengar. Nilai STI dan  $C_{80}$  juga mengalami peningkatan dan tersebar secara lebih merata dibandingkan sebelum optimalisasi. Permasalahan utama setelah optimasi sistem tata suara bukan lagi kekuarangan energi suara, melainkan dominasi energi pantulan berlebihan yang menurunkan kejernihan dan kejelasan ucapan. Hal ini menunjukkan bahwa upaya lanjutan perlu difokuskan pada pengendalian pantulan dan peningkatan rasio energi awal terhadap energi reverberan agar peningkatan STI dan  $C_{80}$  jauh lebih baik.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB 5

### Kesimpulan dan Saran

#### 5.1 Kesimpulan

Hasil pengukuran kondisi *existing*, simulasi EASE 4.3, dan optimasi sistem tata suara pada Grha ITS didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengukuran lapangan berdasarkan ISO 3382-1:2009 menunjukkan bahwa kondisi akustik *existing* Grha ITS belum memenuhi persyaratan akustik untuk fungsi pidato dan musik. Nilai *noise criteria* memiliki rentang 42 – 53 dBA, distribusi SPL sebesar 67,82 – 87,40 dB dari sumber 100 dB, *reverberation time* sebesar 1,41 – 4,10 detik, *bass ratio* sebesar 0,31 – 1,02, *treble ratio* sebesar 0,65 – 1,02,  $D_{50}$  sebesar 4,63% – 70,43%,  $C_{80}$  sebesar 10,54 – 4,96 dB. Secara keseluruhan, hampir semua parameter akustik tidak memenuhi kriteria standar yang digunakan.
2. Hasil simulasi menggunakan perangkat lunak EASE 4.3 menunjukkan adanya perbedaan nilai terhadap hasil pengukuran lapangan pada beberapa parameter seperti distribusi SPL dan *reverberation time*. Namun simulasi mampu merepresentasikan kecenderungan rendahnya kualitas kejelasan suara. Selain itu, parameter *bass ratio* dan  $C_{80}$  menunjukkan kecenderungan nilai yang relatif dekat dengan hasil pengukuran.
3. Rekomendasi optimasi sistem tata suara dilakukan melalui penambahan speaker pada area yang mengalami defisiensi energi suara. Hasil simulasi optimasi menunjukkan bahwa distribusi SPL menjadi lebih seragam (hampir 80% berada pada rentang 94 – 98 dB) dan nilai  $C_{80}$  telah memenuhi standar sebesar -3,6 – -1,5 dB (65%). Namun, parameter STI menunjukkan kategori "cukup" sebesar 0,4 – 0,5 (80%). Hasil ini dikarenakan tingginya *reverberation time* masih menyebabkan dominasi energi pantulan yang menurunkan kejernihan dan keterpahaman suara.

#### 5.2 Saran

Optimasi sistem tata suara melalui penambahan speaker mampu meningkatkan pemerataan distribusi energi suara di Grha ITS. Akan tetapi, perbaikan tersebut belum mampu meningkatkan parameter STI dan  $C_{80}$  hingga memenuhi standar yang direkomendasikan karena masih tingginya nilai *reverberation time* di dalam ruangan. Oleh karena itu, pengelola Grha ITS disarankan untuk melakukan perbaikan akustik ruang melalui optimasi material untuk menurunkan nilai *reverberation time*. Ketika *reverberation time* dapat berkurang, kualitas kejelasan suara dapat meningkat. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pemodelan geometri ruangan yang lebih detail dan menggunakan data spesifikasi material yang lebih lengkap agar tingkat kesesuaian antara hasil simulasi dan kondisi lapangan dapat ditingkatkan. Kajian lanjut mengenai kombinasi optimasi material dan sistem tata suara juga perlu dilakukan untuk memperoleh solusi yang paling efektif bagi fungsi Grha ITS sebagai auditorium serbaguna.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- Acoustical Society of America. (2019). *American national standard criteria for evaluating room noise (ANSI/ASA S12.2-2019)*. Acoustical Society of America.
- Ahnert, W., & Tennhardt, H.-P. (2008). *Handbook for Sound Engineers Fourth Edition* (7). Elsevier.
- Azmi, F. F. (2024). *Analisis dan Pemodelan Kinerja Akustik serta Sistem Tata Suara di Graha Sepuluh Nopember ITS guna Meningkatkan Efisiensi Ruang sebagai Multifunction Room* [Thesis (Other), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya]. <https://repository.its.ac.id/113958/>
- Barron, M. (2010). *Auditorium Acoustics and Architectural Design* (Second). Spon Press.
- Beranek, L. (2004). *Concert hall and opera houses*. Springer Verlag.
- Bîrţan, C., Popa, D. L., Selişteanu, D., Constantinescu, C., & Roman, M. (2026). Acoustic modeling and analysis for a multipurpose auditorium. *Sound and Vibration*, 60(1). <https://doi.org/10.59400/sv3845>
- Cabrera, D. (2007, July). Acoustic Clarity and Auditory Room Size Perception. *Roceedings of the 14th International Congress on Sound and Vibration (ICSV14)*.
- Cairolì, M. (2021). The architectural acoustic design for a multipurpose auditorium: Le Serre hall in the Villa Erba Convention Center. *Applied Acoustics*, 173. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107695>
- Colloms, M. (2018). *High Performance Loudspeakers: Optimising High Fidelity Loudspeaker Systems*. John Wiley & Sons.
- Doelle, L. L., & Prasetio, L. (1986). *Akustik Lingkungan*. Penerbit Erlangga.
- Eargle, J. (2003). *Loudspeaker Handbook* (Second Edition). Kluwer Academic Publishers.
- Ellizar, E. (2018). Implementasi Teori Pencahayaan, Termal, dan Kebisingan Terhadap Kenyamanan Ruang Ibadah pada Mesjid Al Safar di Rest Area KM. 88 Purwakarta. *Jurnal Ilmiah ARJOUNA*, 02(02), 27–33.
- Everest, F. A., & Pohlmann, K. C. (2009). *Master Handbook of Acoustics Fifth Edition*. McGraw Hill.
- Gade, A. (2007). Acoustics in Halls for Speech and Music. In *Springer Handbook of Acoustics* (pp. 301–350). Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-30425-0\\_9](https://doi.org/10.1007/978-0-387-30425-0_9)
- Griesinger, D. H. (2013). What is “clarity”, and how it can be measured? *Proceedings of Meetings on Acoustics*, 19. <https://doi.org/10.1121/1.4799418>
- Harris, C. M. (1997). *Handbook of Noise Control*. McGraw Hill.
- Houtgast, Tammo. (2002). *Past, present and future of the speech transmission index*. TNO Human Factors.

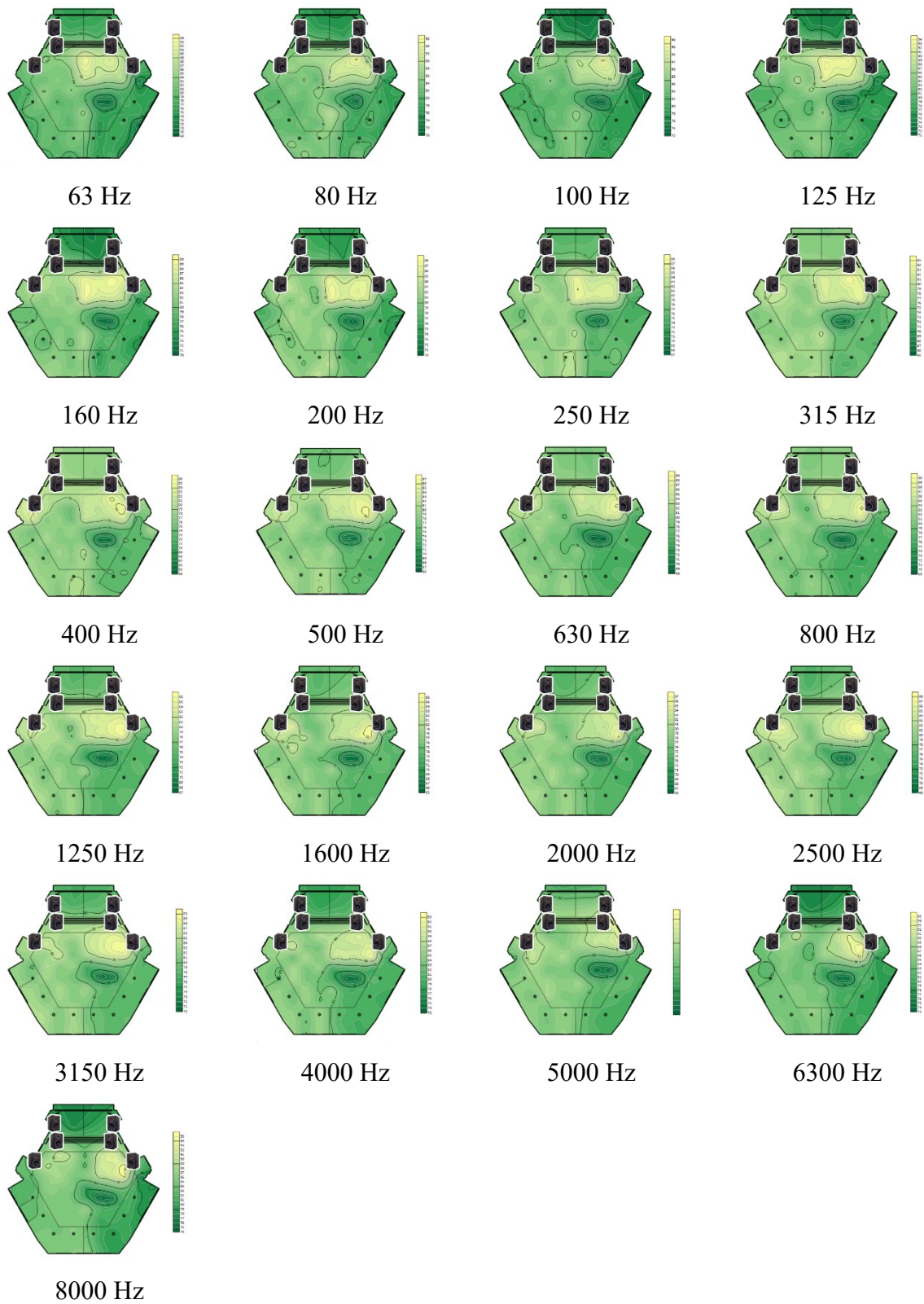
- Indrani, H., Ekasiwi, S. N., & Asmoro, W. (2009). *Analisis Kinerja Akustik Pada Ruuung Auditorium Multifungsi Studi kasus: Auditorium Universitas Kristen Petra, Surabaya*.
- International Organization for Standardization. (2009). *Acoustic — Measurement off room acoustic parameters — Part 1 : Perfomance spaces*. ISO.
- Jambrosic, K., Horvat, M., & Domitrovic, H. (2008). Reverberation time measuring methods. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123(5\_Supplement), 3617–3617. <https://doi.org/10.1121/1.2934829>
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup. (1996). *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 48 Tahun 1996 Tentang : Baku Tingkat Kebisingan*.
- Kingsbury, H. F. (1995). *Review and revision of room noise criteria*.
- Kuttruff, H. (2017). *Room Acoustics* (Sixth Edition). Taylor & Francis.
- Mediastika, C. E. (2022). *Architectural Acoustics*. Penerbit Universitas Ciputra.
- Mourjopoulos, J. (1985). On The Variation and Invertibility of Room Impulse Response Functions. In *Journal of Sound and Vibration* (Vol. 102, Number 2).
- Pohl, J. (2009). *The Emergence of Building Science: Historical Roots, Concepts, and Applications*. CADRC Center, Cal Poly. <https://doi.org/10.1002/9781444392333>
- Rachmasari, N., & Subagio, I. (2024). ACOUSTICAL PERFORMANCE OPTIMIZATION OF MASJID AL-IRSYAD SATYA KOTA BARU PARAHYANGAN 1. *Jurnal RISA (Riset Arsitektur)*, 08(01), 52–67. [www.journal.unpar.ac.id](http://www.journal.unpar.ac.id)
- Ribeiro, M. (2002). *Room Acoustic Quality of a Multipurpose Hall : A Case Study - How to Dress a Cinema for Music Performances*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:191238961>
- Siska, D. (2019). Analisa Kebisingan dan Studi Akustik dalam Tatanan Bangunan. *Arsitekno*, 6(6), 33. <https://doi.org/10.29103/arj.v6i6.1228>
- Soulodre, G. A., & Bradley, J. S. (1995). Subjective evaluation of new room acoustic measures. *Journal of the Acoustical Society of America*, 98(1), 294–301.
- Subrahmanyam, N. (1995). *A Textbook Of Sound* (Second Revised). Vikas Publishing House PVT LTD.
- Sukaj, S., Derme, U., & Iannace, G. (2026). Possible Merits of the Orchestra Pit Covering for Speech Activities in Baroque Theatres. *Applied Sciences*, 16(2), 819. <https://doi.org/10.3390/app16020819>
- Sutanto, H. (2015). *Prinsip Prinsip Akustik dalam Arsitektur*. PT Kanisius.
- Toole, F. E. (2006). Loudspeakers and Rooms for Sound Reproduction-A Scientific Review\*. *Journal of the Audio Engineering Society (JAES)*, 54.
- Utami, S. (2014). *Kualitas Akustik Ruang pada Masjid Berkarakter Opening Wall Design (Studi Kasus: Masjid Al Qomar Purwosari Surakarta)*.

Vér, I. L., & Beranek, L. L. (2006). *Noise and Vibration Control Engineering : Principles and Applications* (Second). John Wiley & Sons.

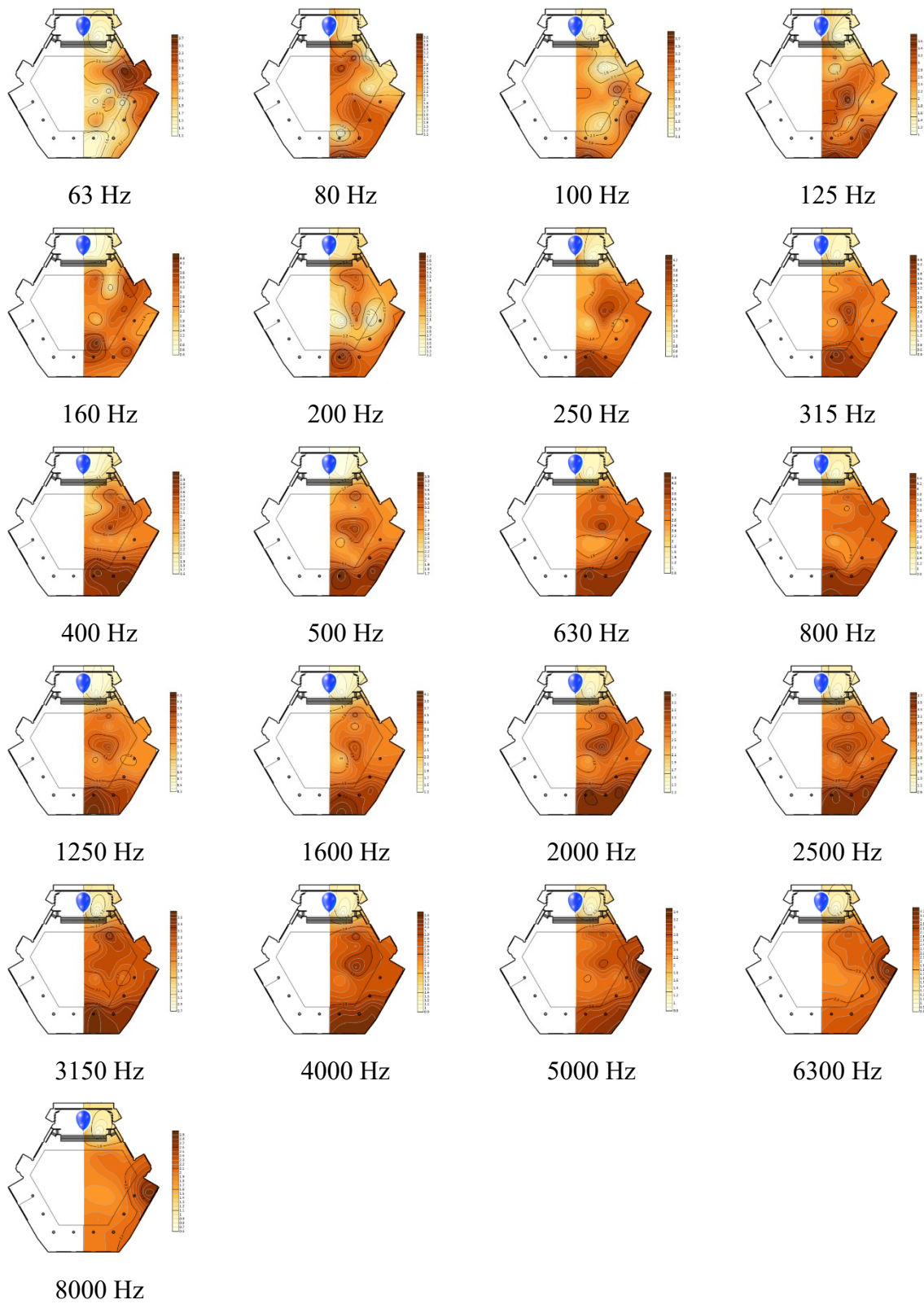
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN

Lampiran 1. Persebaran distribusi SPL setiap frekuensi kondisi *existing*



Lampiran 2. Persebaran reverberation time setiap frekuensi kondisi *existing*



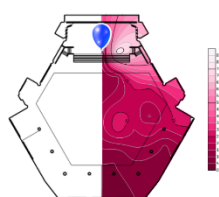
Lampiran 3. Tabel hasil perhitung bass ratio kondisi *existing*

| No | Reverberation Time (s) |        |        |         | Bass Ratio |
|----|------------------------|--------|--------|---------|------------|
|    | 125 Hz                 | 250 Hz | 500 Hz | 1000 Hz |            |
| 1  | 2.61                   | 2.26   | 2.95   | 3.00    | 0.82       |
| 2  | 1.50                   | 1.96   | 2.69   | 2.53    | 0.66       |
| 3  | 2.55                   | 2.95   | 2.66   | 2.91    | 0.99       |
| 4  | 1.77                   | 2.99   | 3.57   | 3.70    | 0.65       |
| 5  | 2.16                   | 2.14   | 2.81   | 2.78    | 0.77       |
| 6  | 2.81                   | 3.01   | 3.01   | 3.09    | 0.95       |
| 7  | 2.88                   | 1.54   | 2.54   | 2.88    | 0.82       |
| 8  | 3.05                   | 2.70   | 3.53   | 3.76    | 0.79       |
| 9  | 3.69                   | 3.31   | 3.42   | 3.44    | 1.02       |
| 10 | 3.24                   | 3.78   | 3.65   | 3.58    | 0.97       |
| 11 | 2.63                   | 3.27   | 3.20   | 3.34    | 0.90       |
| 12 | 2.11                   | 1.96   | 2.80   | 2.86    | 0.72       |
| 13 | 3.18                   | 3.63   | 3.47   | 4.09    | 0.90       |
| 14 | 3.45                   | 2.95   | 3.86   | 3.68    | 0.85       |
| 15 | 2.34                   | 3.82   | 3.92   | 3.68    | 0.81       |
| 16 | 3.58                   | 4.14   | 3.65   | 4.10    | 1.00       |
| 17 | 3.16                   | 2.62   | 3.01   | 3.22    | 0.93       |
| 18 | 1.98                   | 2.47   | 2.70   | 3.01    | 0.78       |
| 19 | 0.73                   | 0.41   | 1.71   | 1.41    | 0.36       |
| 20 | 0.64                   | 2.56   | 1.95   | 1.84    | 0.84       |
| 21 | 2.31                   | 2.92   | 2.82   | 3.13    | 0.88       |
| 22 | 2.36                   | 2.87   | 3.40   | 2.92    | 0.83       |

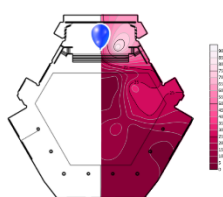
Lampiran 4. Tabel hasil perhitungan treble ratio kondisi *existing*

| No | Reverberation Time (s) |         |        |         | Treble Ratio |
|----|------------------------|---------|--------|---------|--------------|
|    | 2000 Hz                | 4000 Hz | 500 Hz | 1000 Hz |              |
| 1  | 2.76                   | 2.80    | 2.95   | 3.00    | 0.93         |
| 2  | 2.49                   | 2.60    | 2.69   | 2.53    | 0.97         |
| 3  | 2.68                   | 2.67    | 2.66   | 2.91    | 0.96         |
| 4  | 3.33                   | 3.05    | 3.57   | 3.70    | 0.88         |
| 5  | 2.75                   | 2.63    | 2.81   | 2.78    | 0.96         |
| 6  | 3.19                   | 2.92    | 3.01   | 3.09    | 1.00         |
| 7  | 2.29                   | 2.39    | 2.54   | 2.88    | 0.86         |
| 8  | 3.27                   | 2.86    | 3.53   | 3.76    | 0.84         |
| 9  | 2.97                   | 2.84    | 3.42   | 3.44    | 0.85         |
| 10 | 3.59                   | 3.23    | 3.65   | 3.58    | 0.94         |
| 11 | 2.96                   | 2.89    | 3.20   | 3.34    | 0.89         |
| 12 | 2.63                   | 2.71    | 2.80   | 2.86    | 0.94         |
| 13 | 3.49                   | 3.33    | 3.47   | 4.09    | 0.90         |
| 14 | 3.66                   | 3.30    | 3.86   | 3.68    | 0.92         |
| 15 | 3.68                   | 3.14    | 3.92   | 3.68    | 0.90         |
| 16 | 3.54                   | 3.38    | 3.65   | 4.10    | 0.89         |
| 17 | 2.80                   | 2.72    | 3.01   | 3.22    | 0.89         |
| 18 | 2.85                   | 2.76    | 2.70   | 3.01    | 0.98         |
| 19 | 1.12                   | 0.90    | 1.71   | 1.41    | 0.65         |
| 20 | 2.04                   | 1.82    | 1.95   | 1.84    | 1.02         |
| 21 | 2.67                   | 2.73    | 2.82   | 3.13    | 0.91         |
| 22 | 3.07                   | 2.78    | 3.40   | 2.92    | 0.92         |

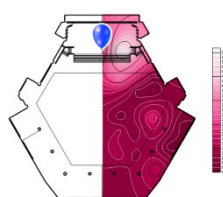
Lampiran 5. Persebaran  $D_{50}$  setiap frekuensi kondisi *existing*



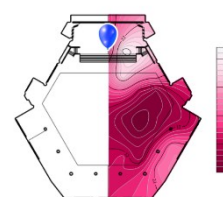
250 Hz



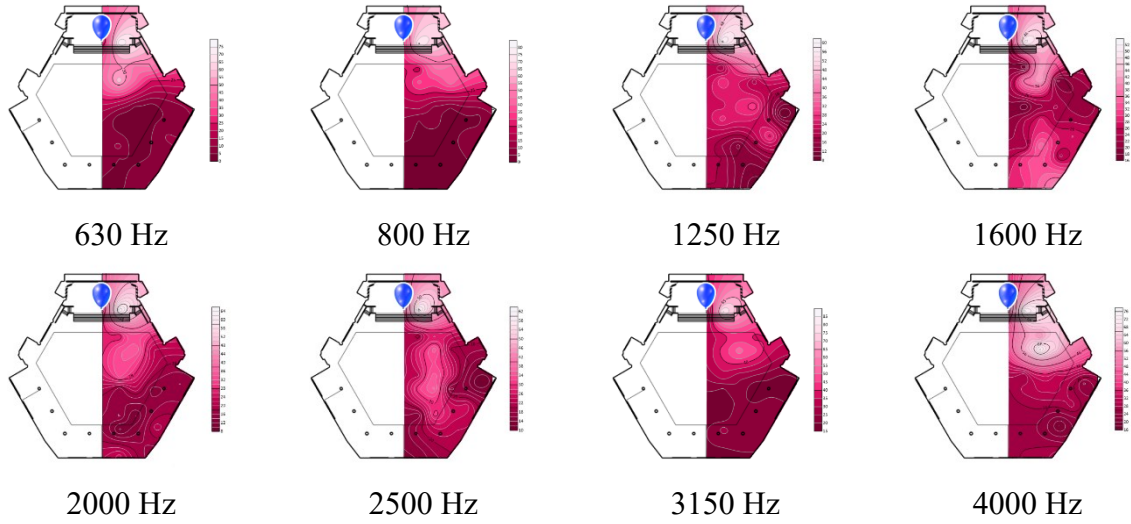
315 Hz



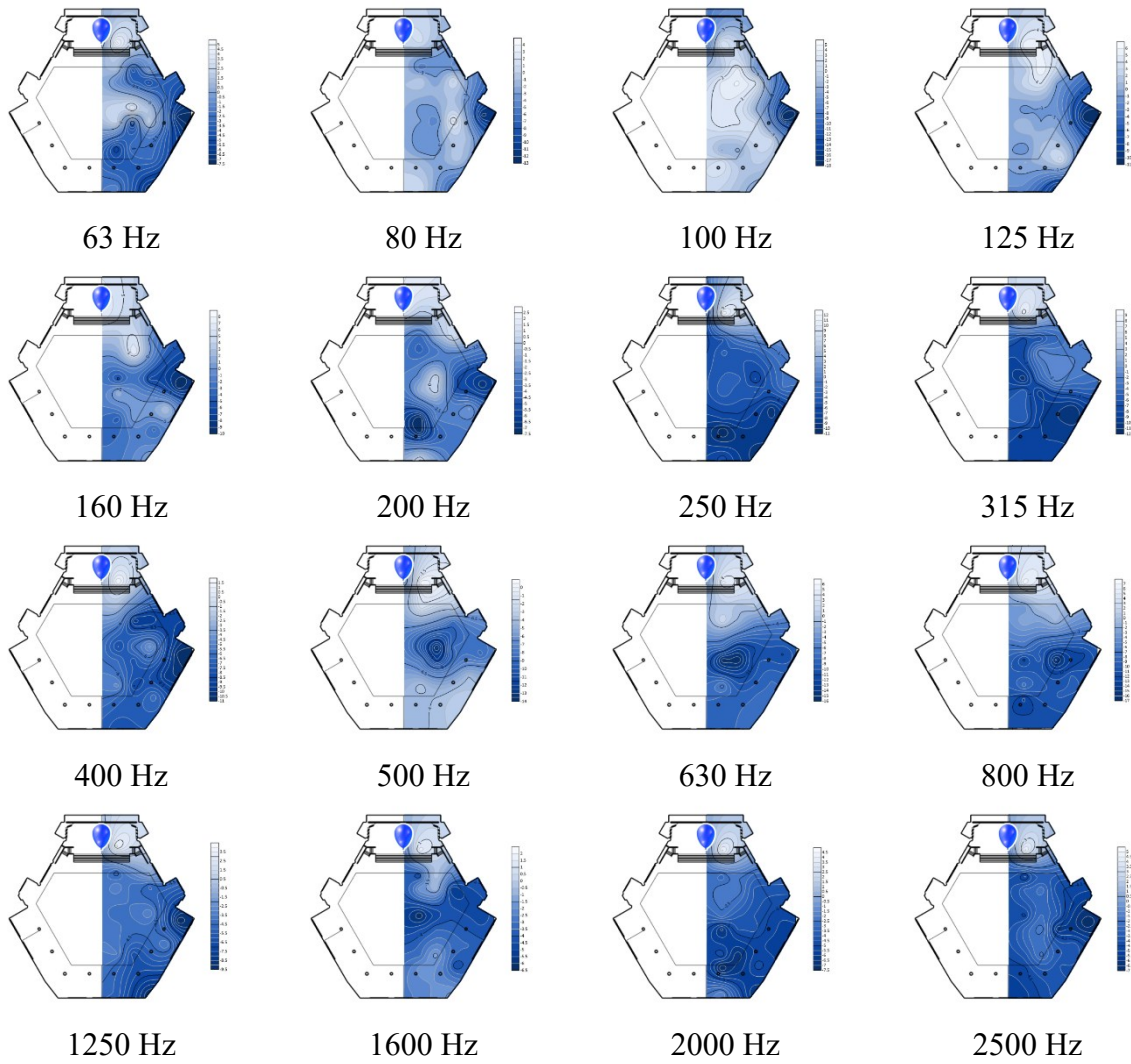
400 Hz



500 Hz



Lampiran 6. Persebaran  $C_{80}$  setiap frekuensi kondisi *existing*



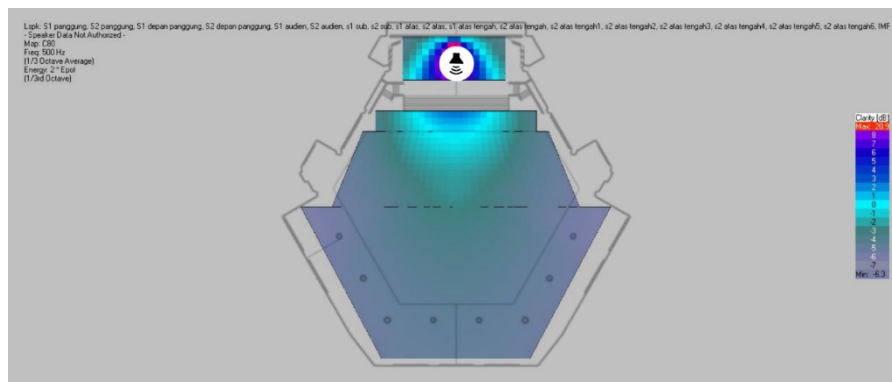


### Lampiran 10. $C_{80}$ setiap frekuensi simulasi satu speaker

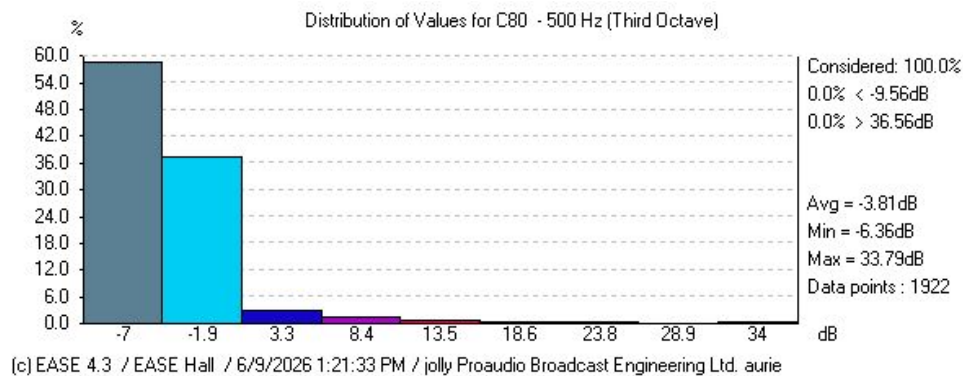


(c) EASE 4.3 / EASE Hall / 6/9/2026 1:21:21 PM / jolly Proaudio Broadcast Engineering Ltd. a

### Lampiran 11. Persebaran $C_{80}$ simulasi satu speaker frekuensi 500 Hz



### Lampiran 12. Histogram $C_{80}$ simulasi satu speaker frekuensi 500 Hz

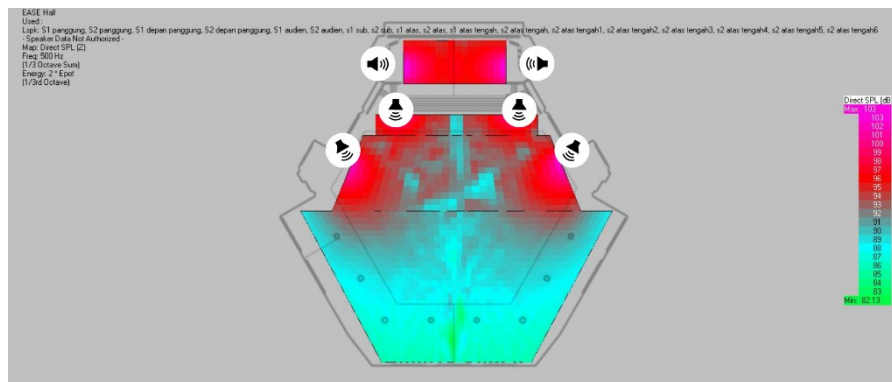


### Lampiran 13. SPL setiap frekuensi simulasi seluruh speaker

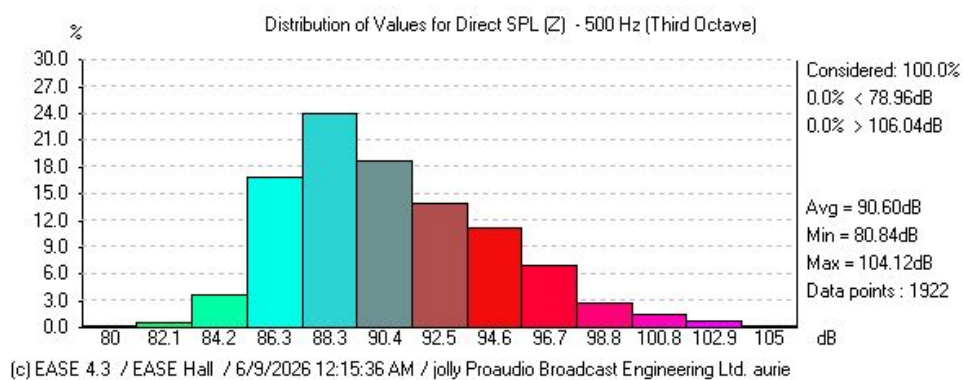


(c) EASE 4.3 / EASE Hall / 6/9/2026 12:14:10 AM / jolly Proaudio Broadcast Engineering Ltd.

#### Lampiran 14. Persebaran SPL simulasi seluruh speaker frekuensi 500 Hz



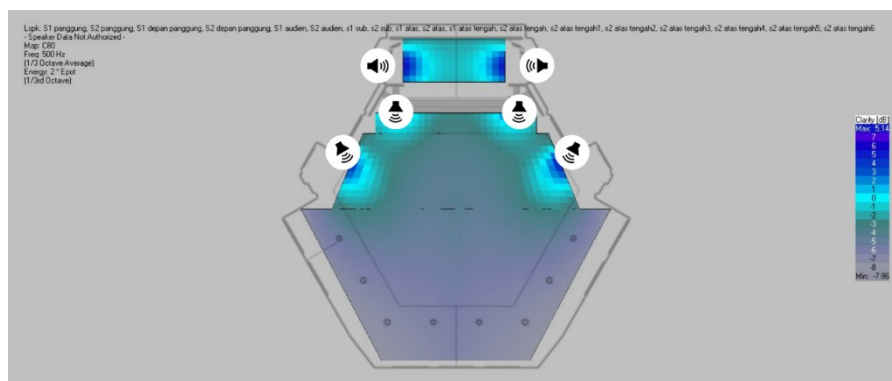
#### Lampiran 15. Histogram SPL simulasi seluruh speaker frekuensi 500 Hz



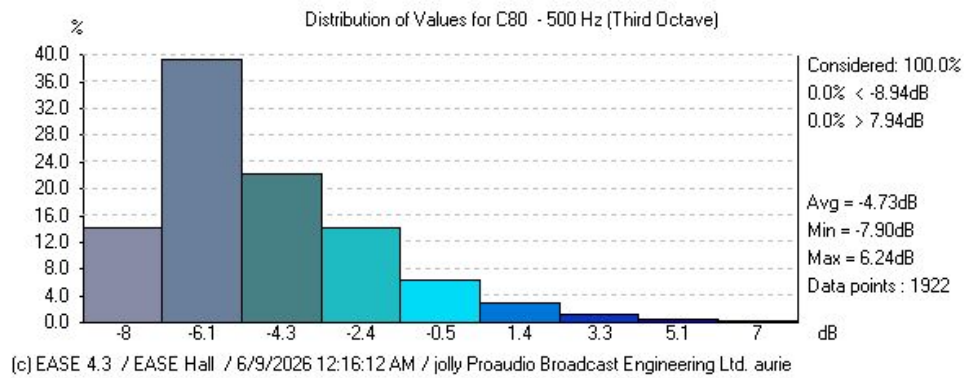
#### Lampiran 16. $C_{80}$ setiap frekuensi simulasi seluruh speaker



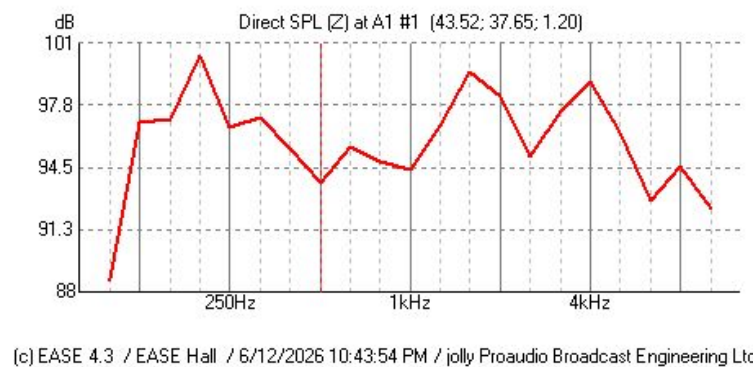
#### Lampiran 17. Persebaran $C_{80}$ simulasi seluruh speaker frekuensi 500 Hz



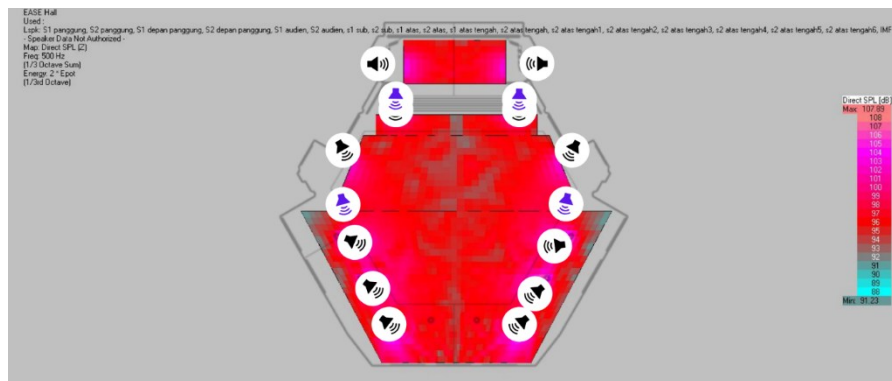
### Lampiran 18. Histogram $C_{80}$ simulasi seluruh speaker frekuensi 500 Hz



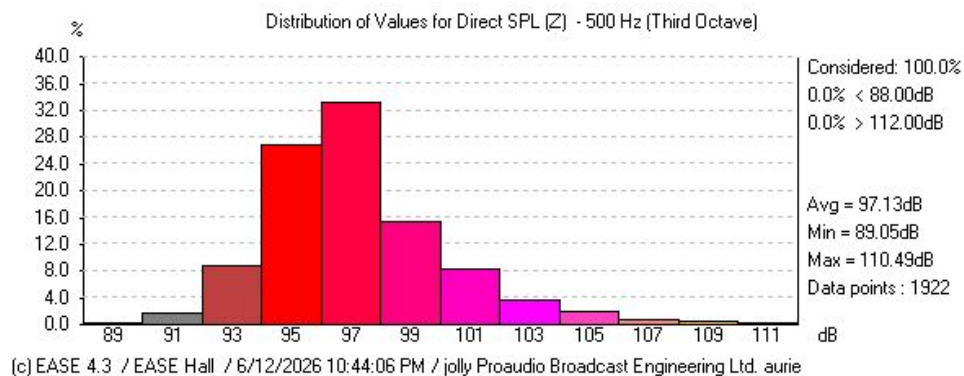
### Lampiran 19. SPL setiap frekuensi optimalisasi



### Lampiran 20. Persebaran SPL optimasi frekuensi 500 Hz



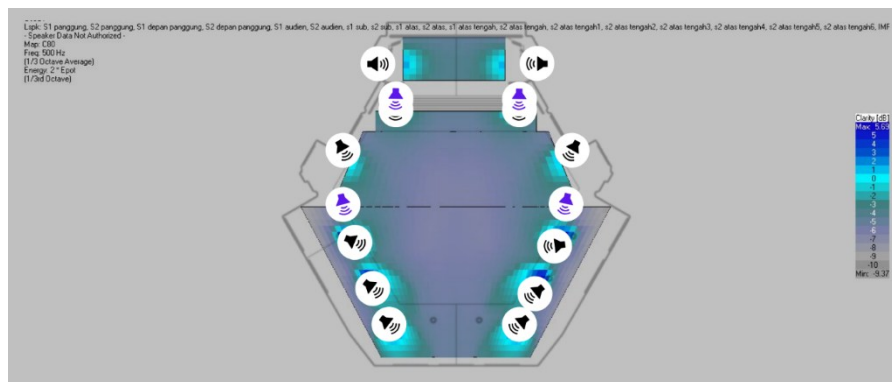
### Lampiran 21. Histogram SPL optimasi frekuensi 500 Hz



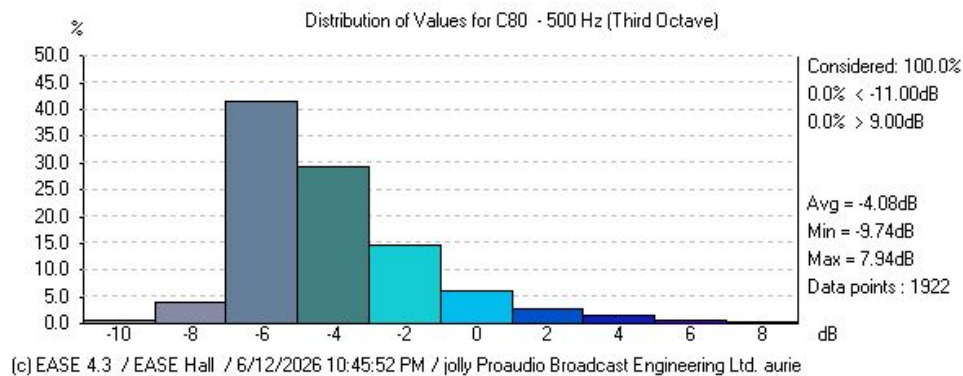
## Lampiran 22. $C_{80}$ setiap frekuensi optimalisasi



## Lampiran 23. Persebaran $C_{80}$ optimasi frekuensi 500 Hz



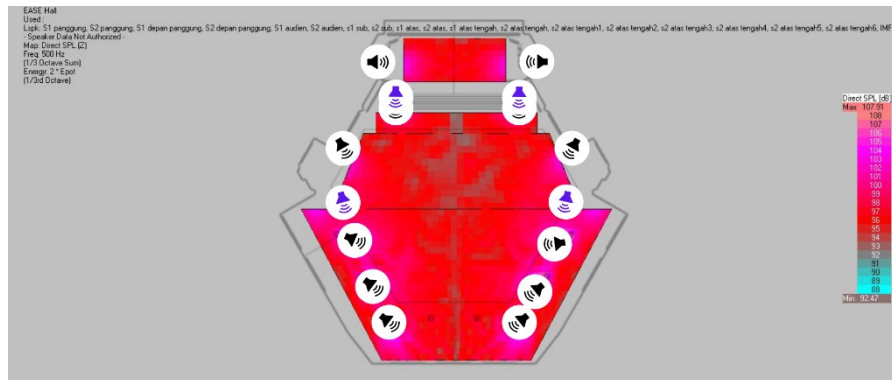
## Lampiran 24. Histogram $C_{80}$ optimasi frekuensi 500 Hz



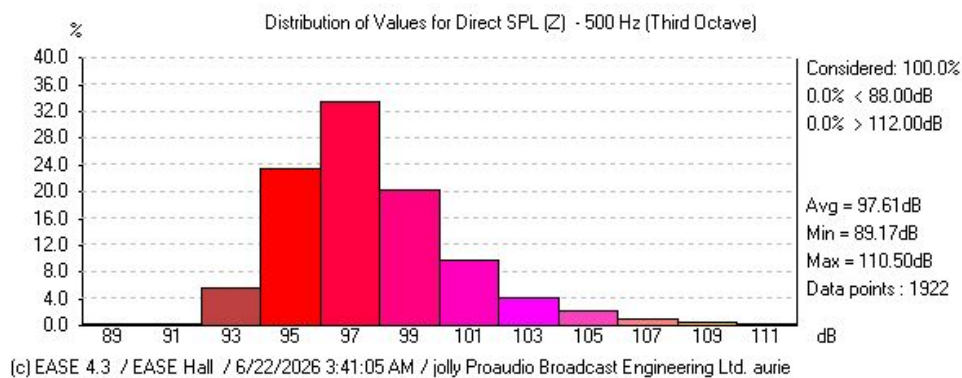
## Lampiran 25. SPL simulasi optimasi terisi audiens setiap frekuensi



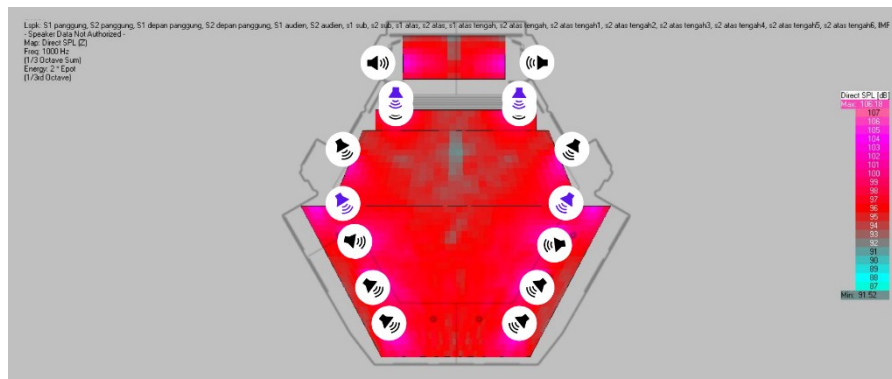
## Lampiran 26. Persebaran SPL simulasi optimasi terisi audiens frekuensi 500 Hz



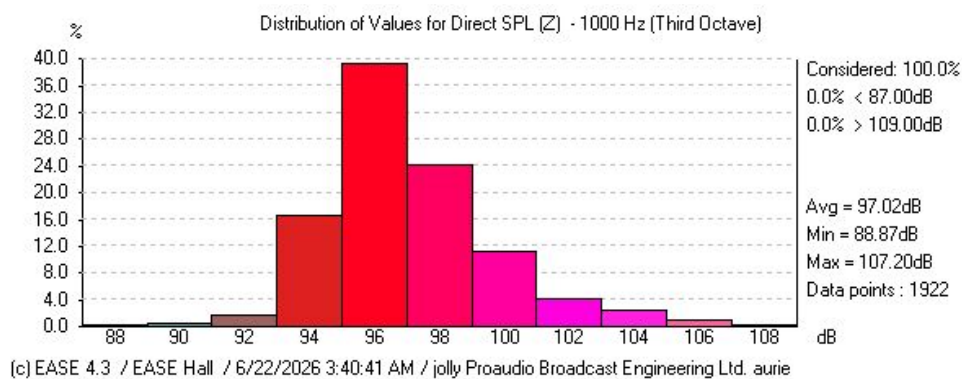
## Lampiran 27. Histogram SPL simulasi optimasi terisi audiens 500 Hz



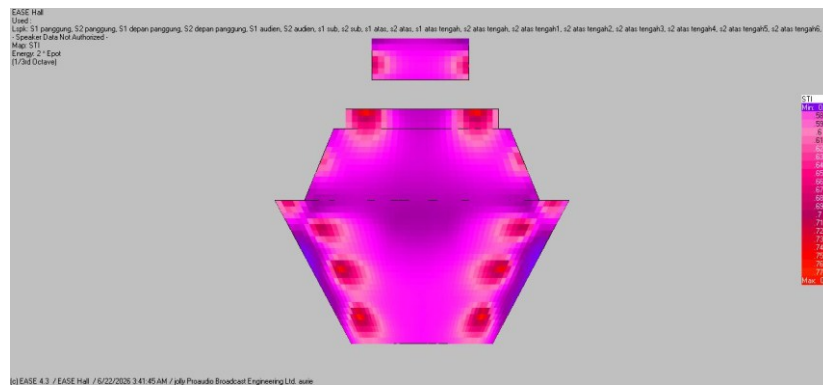
## Lampiran 28. Persebaran SPL simulasi optimasi terisi audiens frekuensi 1000 Hz



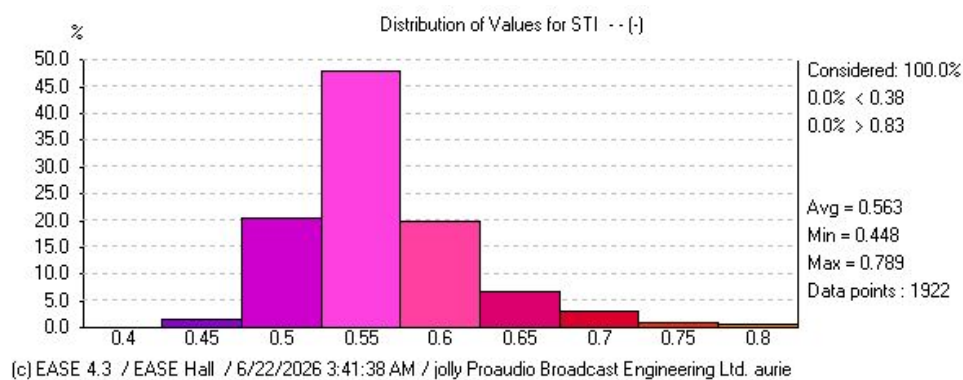
## Lampiran 29. Histogram SPL simulasi optimasi terisi audiens frekuensi 1000 Hz



### Lampiran 30. Persebaran STI simulasi optimasi terisi audiens



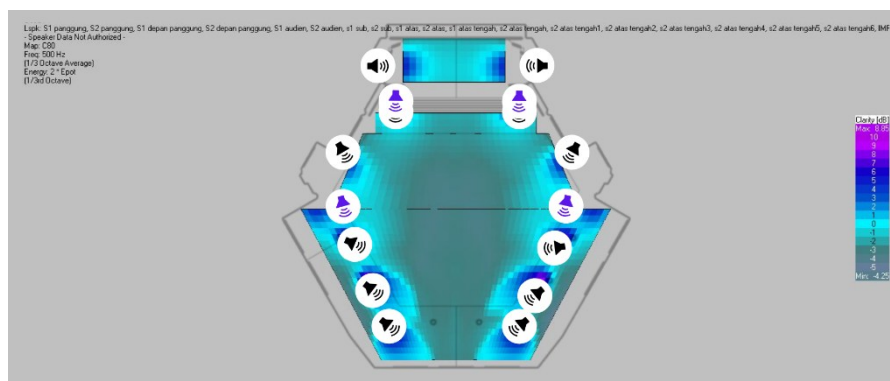
### Lampiran 31. Histogram STI simulasi optimasi terisi audiens



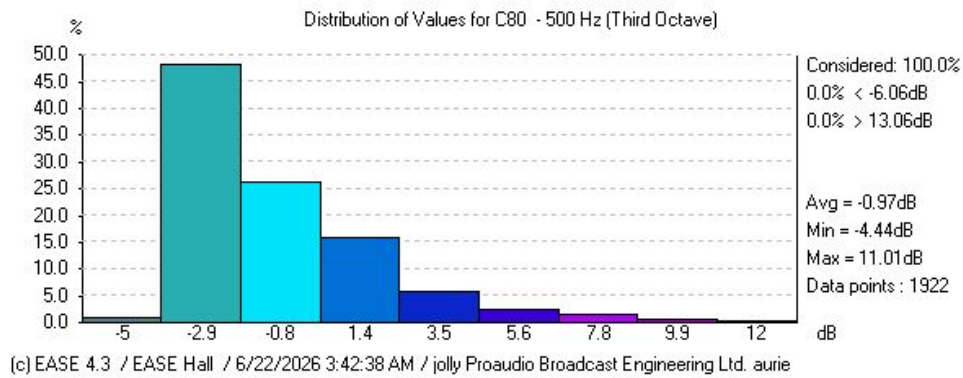
### Lampiran 32. $C_{80}$ simulasi optimasi terisi audiens setiap frekuensi



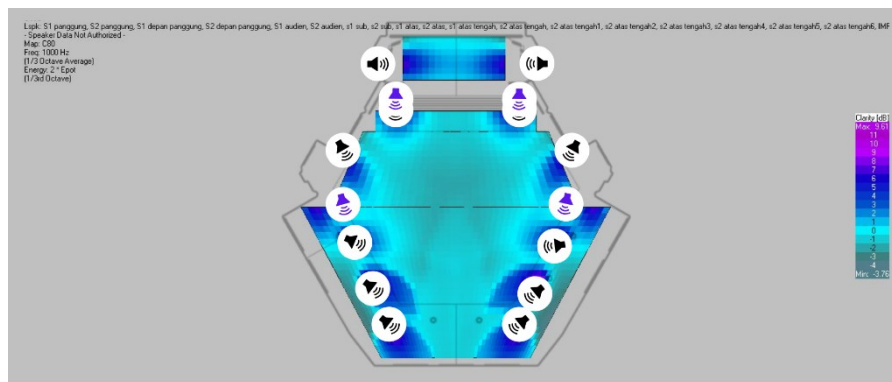
### Lampiran 33. Persebaran $C_{80}$ simulasi optimasi terisi audiens frekuensi 500 Hz



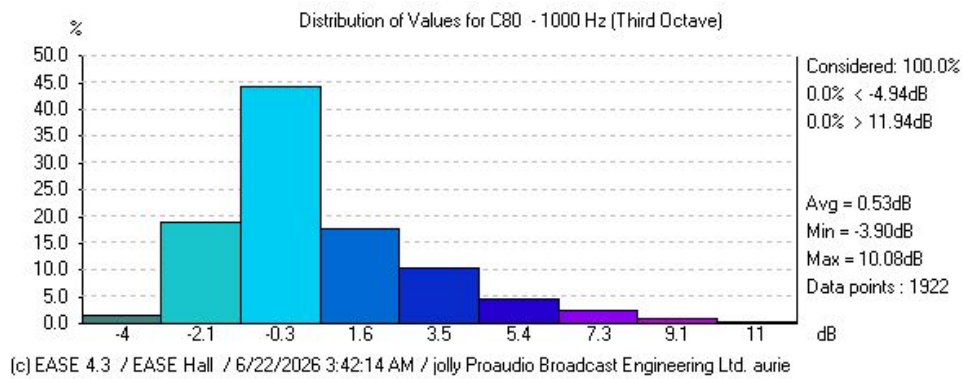
#### Lampiran 34. Histogram $C_{80}$ simulasi optimasi terisi audiens frekuensi 500 Hz



#### Lampiran 35. Persebaran $C_{80}$ simulasi optimasi terisi audiens frekuensi 1000 Hz



#### Lampiran 36. Histogram $C_{80}$ simulasi optimasi terisi audiens frekuensi 1000 Hz



## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 9 Februari 2004, merupakan anak kedua dari 4 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SD Ketintang 1 Surabaya, SMP Negeri 6 Surabaya, dan SMA Negeri 6 Surabaya. Setelah lulus dari SMAN tahun 2022, Penulis mengikuti SNMPTN dan diterima di Departemen Fisika FSAD - ITS pada tahun 2022 dan terdaftar dengan NRP 5001221003.

Di Departemen Fisika Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan Seminar yang diselenggarakan oleh Departemen, Himpunan Mahasiswa Fisika (Himasika) sebagai staff media informasi pada semester 4 hingga semester 5. Penulis juga aktif mengikuti kegiatan UKM Victory of Sepuluh Nopember Marching Corps.

Dalam kegiatan akademik, Penulis aktif mengikuti seminar fisika yang diselenggarakan oleh Departemen Fisika untuk meningkatkan ilmu pengetahuan.