

# Analisis dan Simulasi Optimasi Parameter Akustik Ruang pada *Smart Classroom*

## Departemen Fisika ITS

Raditya Bagus Indra Kusuma, Suyatno, dan Gontjang Prajitno  
 Departemen Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
*e-mail:* kangyatno@physics.its.ac.id

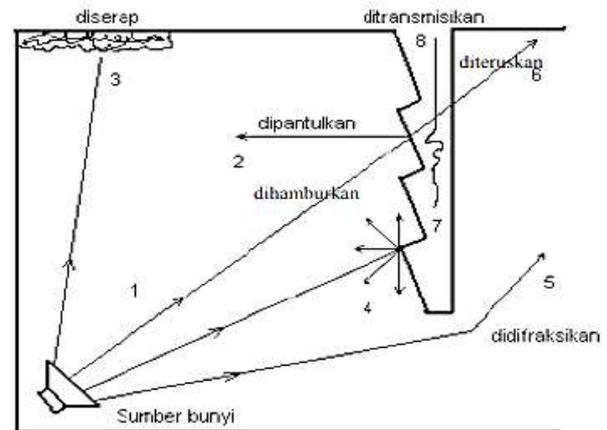
**Abstrak**—Dalam penelitian ini dibahas analisis parameter akustik ruang hasil pengukuran dan simulasi optimasi tata letak *loudspeaker* pada ruang *smart classroom* Departemen Fisika ITS. Ruang *smart classroom* memiliki fungsi sebagai ruang kelas atau *meeting room*. Dalam mengevaluasi ruang tersebut parameter akustik ruang yang perlu diukur berdasarkan ISO 3382-1 adalah persebaran SPL, RT, dan  $C_{50}$ . Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode impulse response. Pengambilan data dilakukan dalam dua keadaan yaitu saat ruang kosong dan saat ruang telah diisi meja dan kursi. Berdasarkan hasil pengukuran diperoleh persebaran SPL yang merata dengan selisih titik terdekat dan titik terjauh sebesar 2 dB untuk dua keadaan. Nilai waktu dengung diperoleh sebesar 0,45 s untuk keadaan pertama dan 0,57 s untuk keadaan kedua. Nilai  $C_{50}$  untuk dua keadaan berada pada rentang -2 - 5 dB. Simulasi yang dilakukan adalah simulasi parameter akustik ruang pada kondisi eksisting dan perbaikan sistem tata suara. Berdasarkan hasil simulasi, nilai terbaik diperoleh dari simulasi perbaikan sistem tata suara dimana hasil persebaran SPL lebih merata dan optimal,  $C_{50}$  berada pada rentang 1-3 dB. Namun untuk waktu dengung masih belum memenuhi rekomendasi yaitu sebesar 0,58 ketika ruangan berisi *audience*. Permasalahan rendahnya waktu dengung dapat diatasi dengan perbaikan komposisi material penyusun ruang atau perbaikan pengaturan sistem tata suara.

**Kata Kunci**—Bunyi, *Impulse Respon*s, Parameter Akustik, Simulasi.

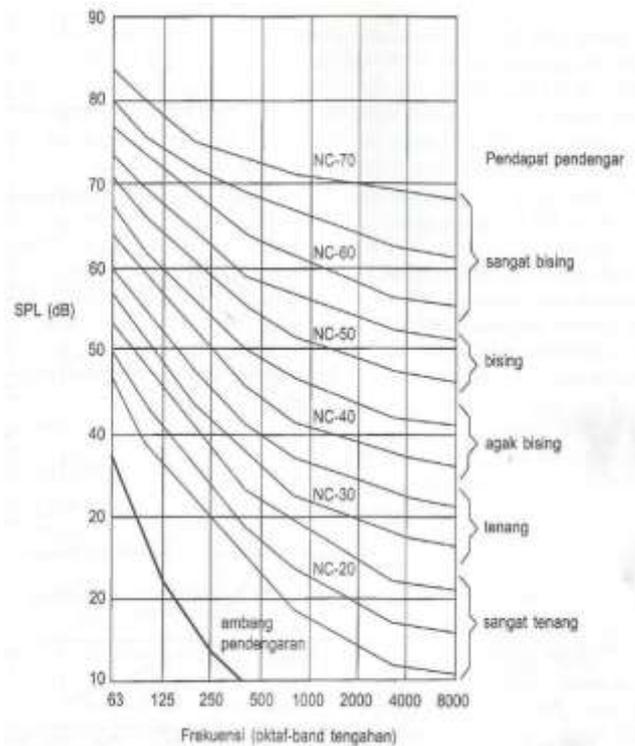
### I. PENDAHULUAN

**S**ALAH satu faktor yang perlu diperhatikan dalam perancangan ruangan adalah akustik ruang. Desain akustik ruang pada ruang kelas dimana didominasi oleh percakapan bertujuan untuk membuat proses belajar mengajar menjadi lebih lancar dan nyaman. Parameter akustik ruang yang akan dicapai adalah distribusi tingkat tekanan bunyi, waktu dengung, dan kejelasan bunyi.

Bunyi adalah fenomena perambatan energi mekanik dalam bentuk gelombang longitudinal yakni terjadinya pemampatan dan perenggangan partikel udara. Cepat atau lambatnya getaran ini dihubungkan dengan besaran frekuensi yang didefinisikan sebagai jumlah getaran yang terjadi dalam satu satuan waktu. Getaran yang terlalu cepat ataupun terlalu lambat tidak dapat dideteksi oleh manusia. Apabila jumlah getaran dihitung per detik, maka frekuensi dinyatakan dalam Hz. Batas frekuensi bunyi yang dapat didengar oleh telinga manusia berkisar antara 20 Hz sampai 20 kHz. Bunyi yang berada pada rentang diatas 20 kHz disebut ultrasonik dan di bawah 20 Hz disebut infrasonik. Dalam terapan akustik, kecepatan rambat gelombang bunyi di udara ( $c$ ) diambil sebesar 340 m/s. Persamaan di bawah menunjukkan hubungan antara cepat rambat gelombang frekuensi serta panjang gelombang.



Gambar 1. Sifat bunyi dalam ruang.



Gambar 2. Kurva noise criteria.

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

dengan  $c$  adalah kecepatan rambat bunyi (m/s) dan  $f$  adalah frekuensi bunyi (Hz).

Dalam ruangan tertutup, bunyi yang dihasilkan oleh sumber akan merambat kearah tertentu dan membentur pembatas ruangan, bunyi tersebut akan dipantulkan, dan/atau diserap, dan/atau ditransmisikan tergantung dengan

Tabel 1.

Rekomendasi Nilai Noise Criteria (NC) untuk Ruang Tertentu		
Fungsi Bangunan/Ruang	Nilai NC yang disarankan	Identik dengan tingkat kebisingan (dBA)
Kantor, kelas, ruang baca, perpustakaan, dan ruang lain dengan tingkat akustik cukup	NC 30 – NC 35	40 s.d 45
Kantor dengan penggunaan ruang bersama, cafetaria, tempat olahraga, dan ruang lain dengan tingkat akustik cukup	NC 35 – NC 40	45 s.d 50
Lobi, koridor, ruang bengkel kerja, dan ruang lain yang tidak memerlukan tingkat akustik yang cermat	NC 40 – NC 45	50 s.d 55
Dapur, ruang cuci, garasi pabrik, pertokoan	NC 45 – NC 55	55 s.d 65

Tabel 2.

Nilai Optimum Parameter Akustik Ruang Kelas	
Parameter	Preferensi
Waktu Dengun (RT)	0,6 – 0,8 s
Clarity (C <sub>50</sub> )	-4 < C <sub>50</sub> < 4

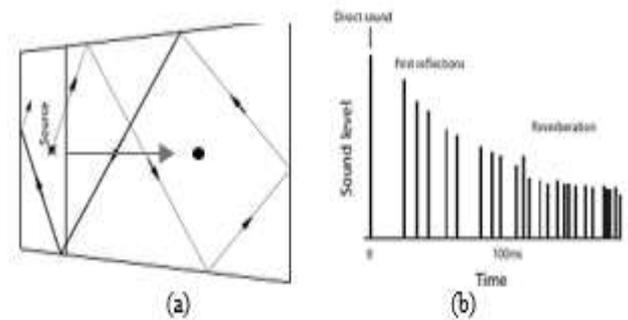
karakteristik pembentuk elemen pembatas dinding tersebut. Berdasarkan Gambar 1 terdapat 3 hal yang umumnya pasti terjadi dalam suatu ruangan yaitu absorpsi, refleksi, dan difusi [1].

Absorpsi bunyi merupakan fenomena terserapnya energi bunyi yang disebabkan ketika gelombang bunyi mengenai suatu bidang atau material yang memiliki karakteristik menyerap bunyi. Efisiensi penyerapan energi bunyi pada setiap material berbeda-beda bergantung dari besarnya koefisien absorpsi material. Koefisien absorpsi material dinyatakan dalam huruf  $\alpha$  (alfa) yang bernilai 0-1. Sebuah material yang memiliki nilai  $\alpha=1$  maka semua energi bunyi yang diterimanya akan diserap. Refleksi atau pemantulan bunyi terjadi karena bunyi mengenai suatu material atau bidang yang keras dan datar. Gejala pemantulan bunyi yaitu bunyi datang dan bunyi pantul terletak pada bidang yang sama dan sudut bunyi datang akan sama dengan sudut bunyi pantul (Hukum Snellius). Difusi bunyi merupakan fenomena persebaran bunyi ketika bunyi mengenai bidang yang tidak rata. Difusi bunyi dibutuhkan dalam suatu ruang agar tingkat tekanan bunyi di setiap bagian ruangan sama dan gelombang bunyi dapat menyebar ke segala arah sehingga medan bunyi dikatakan serba sama (Gambar 1).

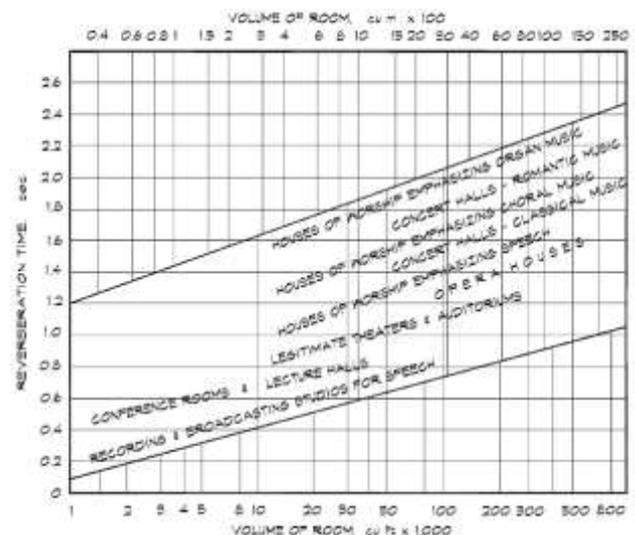
Background Noise adalah bunyi di sekitar kita yang muncul secara tetap pada tingkat energi tertentu. Selain ditentukan dari nilai tingkat energi tekanan bunyi (dB), tingkat kebisingan juga ditentukan oleh frekuensi bunyi yang menonjol. Kedua faktor inilah yang kemudian dipertimbangkan dalam sebuah nilai yang disebut *Noise Criteria* (NC). Gambar 2 menunjukkan pendekatan nilai NC.

Berdasarkan pada Gambar 2, pada frekuensi tinggi nilai SPLnya rendah atau menurun, hal ini menunjukkan bahwa telinga manusia lebih nyaman mendengar bunyi berfrekuensi rendah daripada berfrekuensi tinggi [2].

Berdasarkan keputusan Menteri Tenaga Kerja No.51 Tahun 1999 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika di Tempat kerja, nilai NC dan SPL yang dianjurkan untuk suatu ruangan ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 3. (a) Perambatan bunyi dalam ruangan (b) Grafik peluruhan bunyi.



Gambar 4. Grafik parameter RT terhadap volume ruang pada frekuensi 1000Hz.

Tingkat tekanan bunyi atau *Sound Pressure Level* (SPL) adalah skala logaritmik dari tekanan bunyi yang diukur relatif terhadap tekanan bunyi referensinya. Sebagai ruang kelas, mempunyai tingkat kejelasan bunyi yang tinggi dalam ruang sangat diperlukan agar setiap pendengar pada semua posisi menerima tingkat tekanan bunyi yang sama atau merata.

Bunyi yang berasal dari pembicara atau pengajar diupayakan merata penyebarannya dalam ruangan, agar para pendengar yang berada pada posisi yang berbeda-beda memiliki penangkapan yang sama akan informasi yang diberikan. Adapun syarat untuk mencapai tingkat tekanan bunyi yang merata yaitu ketika tingkat tekanan bunyi antara posisi terdekat dan jauh dari sumber tidak boleh lebih dari 6 dB [3].

Untuk menjelaskan kerasnya bunyi, tingkat tekanan bunyi (SPL) menggunakan satuan dB [3].

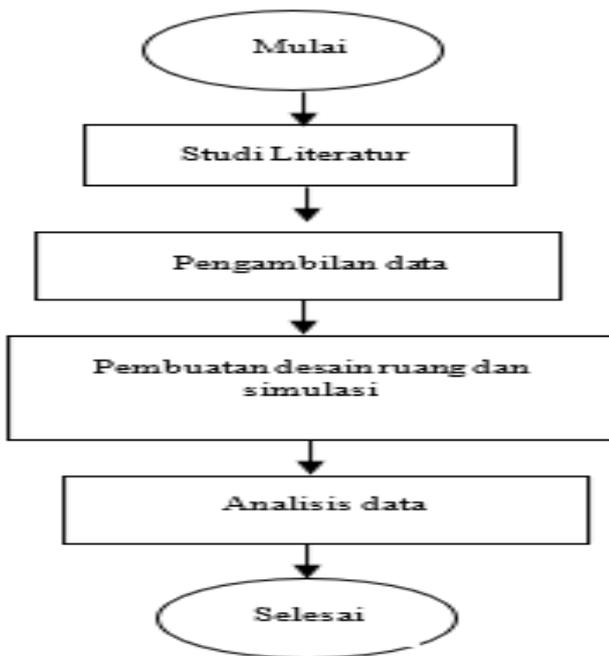
$$SPL = 10 \cdot \log\left(\frac{p_{rms}}{p_{ref}}\right)^2$$

dengan:

$p_{rms}$  = tekanan yang terukur

$p_{ref}$  = tekanan referensi ( $2 \times 10^{-5}$  Pa)

Dalam perancangan ruang akustik, pertimbangan parameter akustik ruang menjadi salah satu dari beberapa elemen utama yang harus dipertimbangkan. Bergantung pada penggunaan akhir ruangan, akustik ruangan mungkin memiliki kepentingan yang lebih besar atau lebih kecil, tetapi dalam semua kasus keduanya harus dipertimbangkan. Salah



Gambar 5. Diagram alir.



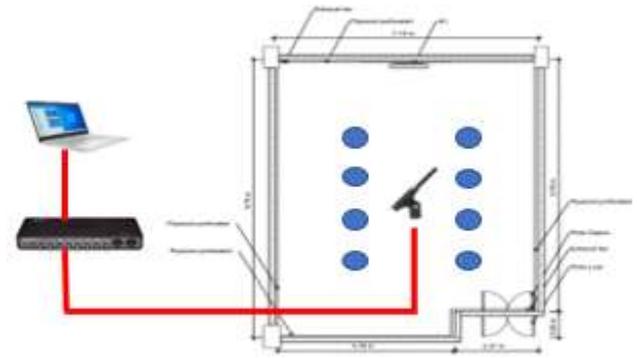
Gambar 6. Ruang smart classroom Departemen Fisika ITS.

satu aspek parameter akustik ruang yang cukup penting dipertimbangkan adalah waktu dengung/Reverberation Time [4].

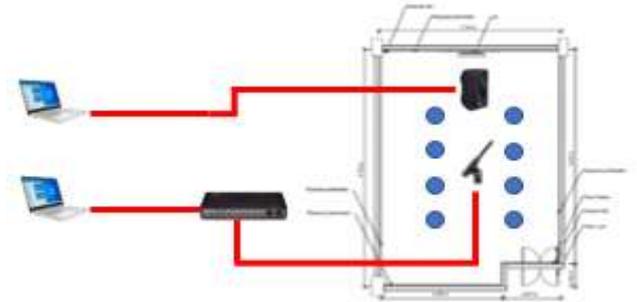
Gambar 3 (a) menunjukkan perambatan bunyi dalam ruang, akan ada 2 bunyi yang diterima oleh telinga manusia yaitu direct sound dan indirect sound, indirect sound merupakan bunyi yang berasal dari pantulan-pantulan bidang dalam ruang. Gambar 3 (b) menunjukkan grafik peluruhan bunyi dalam ruang dimana akan ada 2 aspek yaitu early reflection dan reverberation, aspek reverberation inilah sinyal yang menjadi analisa dalam pencarian reverberation time atau waktu dengung dalam ruang dan parameter kejelasan bunyi (C50) [5].

Waktu dengung merupakan salah satu faktor penentu kualitas akustik ruang yang paling sering diperhitungkan. Waktu dengung adalah lama waktu yang dibutuhkan untuk bunyi dalam suatu ruangan meluruh sebesar 60 dB. Waktu dengung terlalu pendek akan menyebabkan ruangan ‘mati’, sebaliknya waktu dengung yang panjang akan memberikan suasana ‘hidup’ pada ruangan [6].

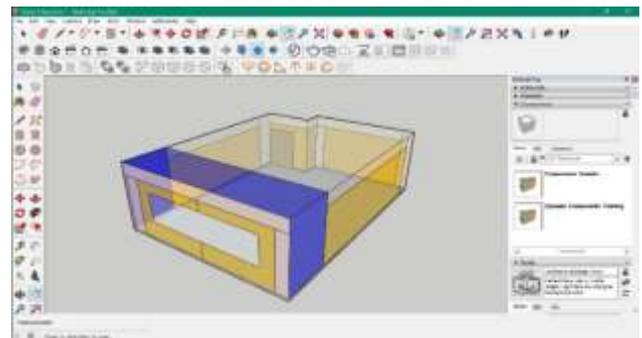
Waktu dengung ruang dapat dihitung dengan melihat fungsi akustik ruang dan volume ruangnya. Waktu dengung ruang juga dapat diprediksi dengan menggunakan formula Sabine.



Gambar 7. Skema pengambilan data bising latar belakang.



Gambar 8. Skema pengambilan data distribusi tingkat tekanan bunyi.



Gambar 9. Model desain ruang menggunakan sketchup.

$$RT_{60} = \frac{0,161V}{Sa}$$

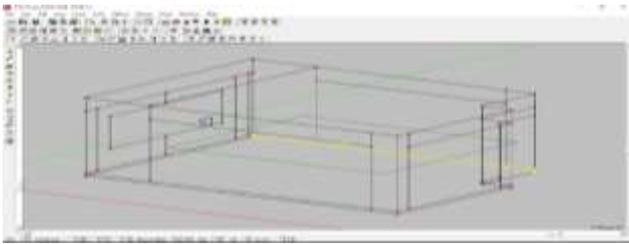
dengan:

- RT60 = Waktu dengung (s)
- V = Volume ruangan (m<sup>3</sup>)
- S = Luasan area permukaan ruangan (m<sup>2</sup>)
- α = Rata-rata koefisien absorpsi ruangan

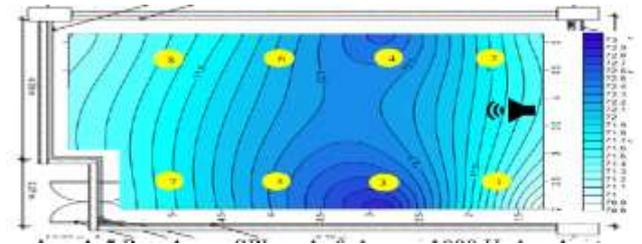
Merujuk pada Gambar 4, nilai rekomendasi waktu dengung pada frekuensi 1000 Hz berdasarkan volume ruangan yang digunakan dan berdasarkan fungsi dari ruangan itu sendiri.

Proses C50 biasa digunakan untuk pengukuran tingkat kejelasan ucapan (speech) dimana terdapat asumsi bahwa bunyi yang ditangkap pendengar dalam percakapan adalah sebelum 50 ms dan bunyi yang datang setelahnya dianggap bunyi yang merusak [7]. Nilai C50 yang direkomendasikan pada ruangan yang memiliki fungsi untuk percakapan berkisar antara -4dB – 4dB.

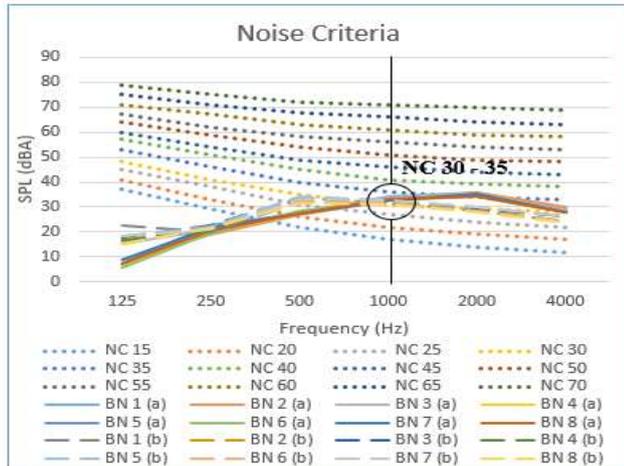
Menurut standar dari Leslie dan ISO 3382 part 1, parameter objektif yang meliputi waktu dengung (Reverberation Time) dan C<sub>50</sub> (Clarity) memiliki standar besaran optimum tertentu yang perlu diperhatikan seperti pada Tabel 2.



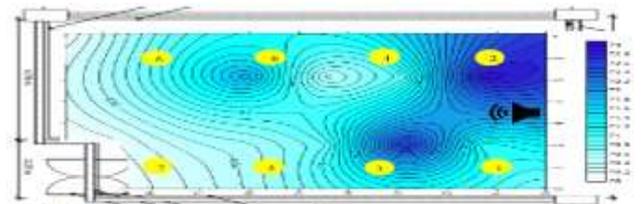
Gambar 10. Model desain ruang menggunakan EASE 4.3.



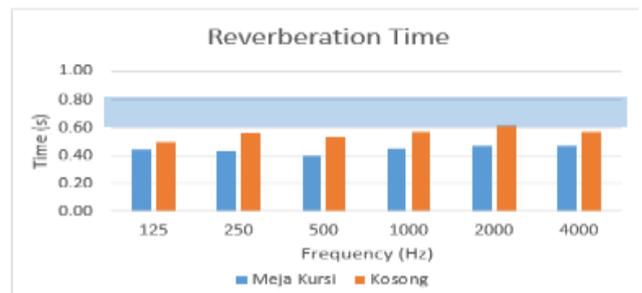
Gambar 13. Persebaran SPL pada frekuensi 1000 Hz kondisi tanpa meja kursi.



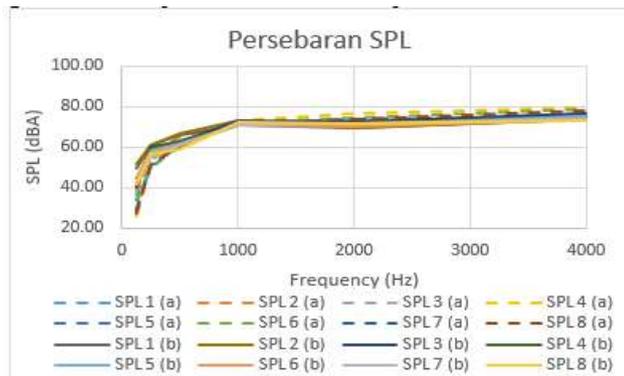
Gambar 11. Grafik NC ruang *smart classroom* (a) Kondisi kosong (b) Kondisi berisi meja kursi.



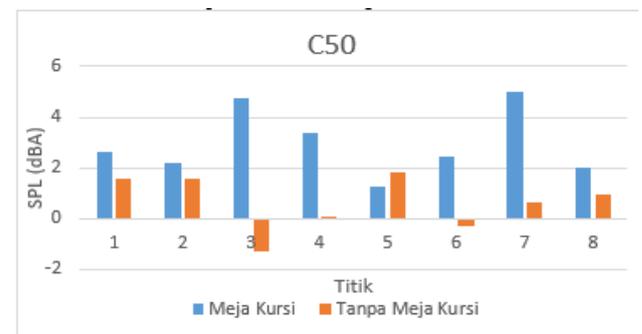
Gambar 14. Persebaran SPL pada frekuensi 1000 Hz kondisi ada meja kursi.



Gambar 15. Grafik data RT.



Gambar 12. Grafik data SPL (a) Kondisi kosong (b) Kondisi berisi meja kursi.



Gambar 16. Grafik data  $C_{50}$  pada frekuensi 1000 Hz.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

### A. Diagram Alir

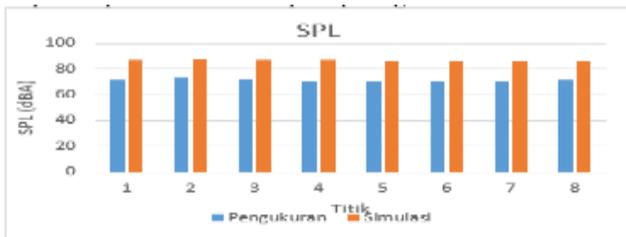
Pada pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini, tahapan-tahapan yang ada mengikuti diagram alir seperti Gambar 5.

### B. Peralatan dan Bahan

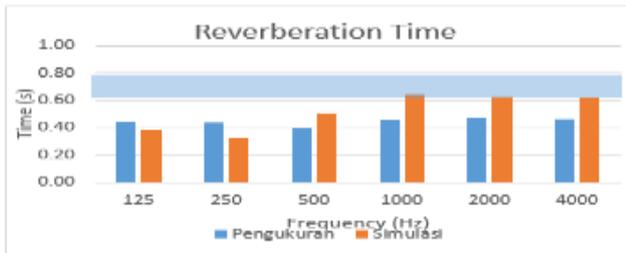
Peralatan dan bahan yang digunakan pada penelitian antara lain mikrofon dbx yang berfungsi sebagai sensor penerima sinyal bunyi, speaker dbr Yamaha yang berfungsi sebagai sumber bunyi, tascamp us800 yang berfungsi sebagai *driver* untuk menyambungkan mikrofon ke laptop, stand mic sebagai tempat mikrofon, laptop beserta *software* pengukuran berupa YMEC, dan *software* simulasi berupa Sketchup dan EASE 4.3. Pengambilan data dilakukan pada ruang kelas *Smart Classroom* Departemen Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang memiliki komposisi material penyusun ruangan berupa *gypsum finished* cat dan *fabric*, *perforated panel*, dan keramik. Tampilan ruangnya dapat dilihat pada Gambar 6.

### C. Langkah Kerja

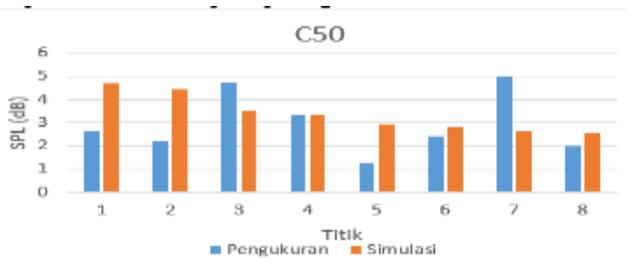
Langkah Langkah kerja pada penelitian ini dibagi menjadi empat bagian, yakni pengambilan data bising latar belakang, pengambilan data persebaran distribusi tingkat tekanan bunyi, pengambilan data respon impuls, dan pemodelan desain ruang dengan menggunakan software Sketchup untuk kemudian dilakukan simulasi pada software EASE 4.3. Pengukuran dilakukan saat kondisi ruangan tanpa pendengar dan pada siang hari. Ruang *Smart Classroom* merupakan ruangan yang tergolong ruang percakapan sehingga frekuensi yang diamati sesuai dengan frekuensi percakapan dengan rentang 125-4000 Hz. Sesuai dengan observasi awal ditentukan titik pengukuran sebanyak 8 titik, dimana posisi titik minimal berada 1 meter dari dinding untuk mengurangi dominasi *near field* atau komponen pantul. Selain itu sumber bunyi berupa speaker harus 1,5 meter dari lantai, kemudian ketinggian mikrofon harus 1,2 meter yang mana menyesuaikan ketinggian telinga ketika orang duduk.



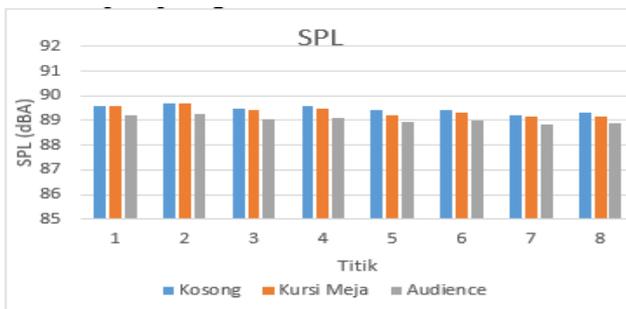
Gambar 17. Grafik data SPL pada frekuensi 1000 Hz hasil pengukuran dan simulasi.



Gambar 18. Grafik data RT hasil pengukuran dan simulasi.



Gambar 19. Grafik data C<sub>50</sub> pada frekuensi 1000 Hz hasil pengukuran dan simulasi.



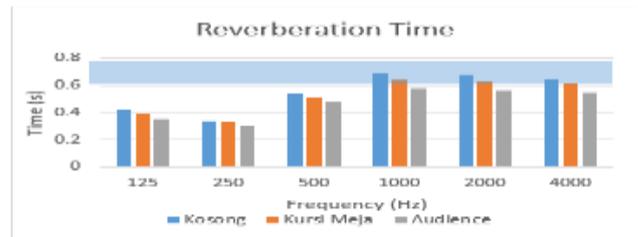
Gambar 20. Grafik data SPL pada frekuensi 1000 Hz hasil simulasi.

1) Pengambilan Data Bising Latar Belakang

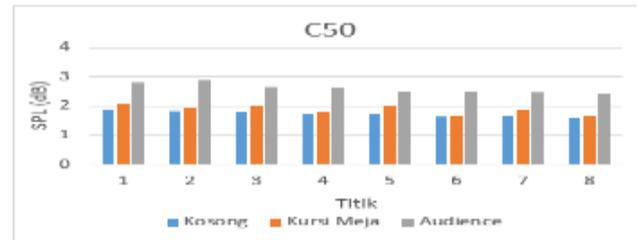
Pengambilan data bising latar belakang dilakukan dengan kondisi seluruh peralatan mekanikal dalam ruangan seperti AC dan lampu dinyalakan agar sesuai dengan kondisi ruang saat digunakan. Pengambilan data bising latar belakang bertujuan untuk mengetahui kualitas kebisingan di sekitar ruang dan mengetahui nilai perbandingan antara sebelum dan sesudah pengukuran. Diukur SPL tanpa sumber bunyi di setiap titik pengukuran dengan menggunakan mikrofon yang terhubung pada soundcard yang dihubungkan dengan software YMEC pada laptop. Di ambil data SPL di setiap titik selama 10 detik. Untuk skema pengambilan datanya dapat dilihat pada Gambar 7.

2) Pengambilan Data Persebaran Distribusi Tingkat Tekanan Bunyi

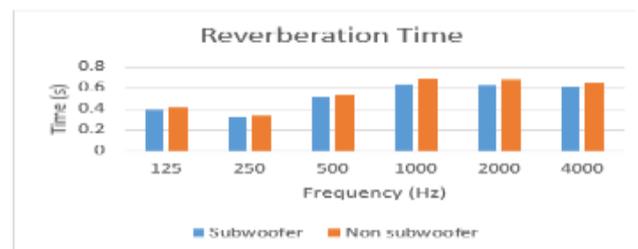
Pengambilan data persebaran distribusi tingkat tekanan bunyi (SPL) dilaku kan dengan menggunakan sumber bunyi berupa white noise yang berasal dari speaker kemudian ditangkap oleh masing-masing mikrofon di setiap titiknya.



Gambar 21. Grafik data RT hasil simulasi.



Gambar 22. Grafik data C<sub>50</sub> pada frekuensi 1000 Hz hasil simulasi.



Gambar 24. Grafik data RT hasil simulasi.



Gambar 25. Grafik data C<sub>50</sub> pada frekuensi 1000 Hz hasil simulasi.

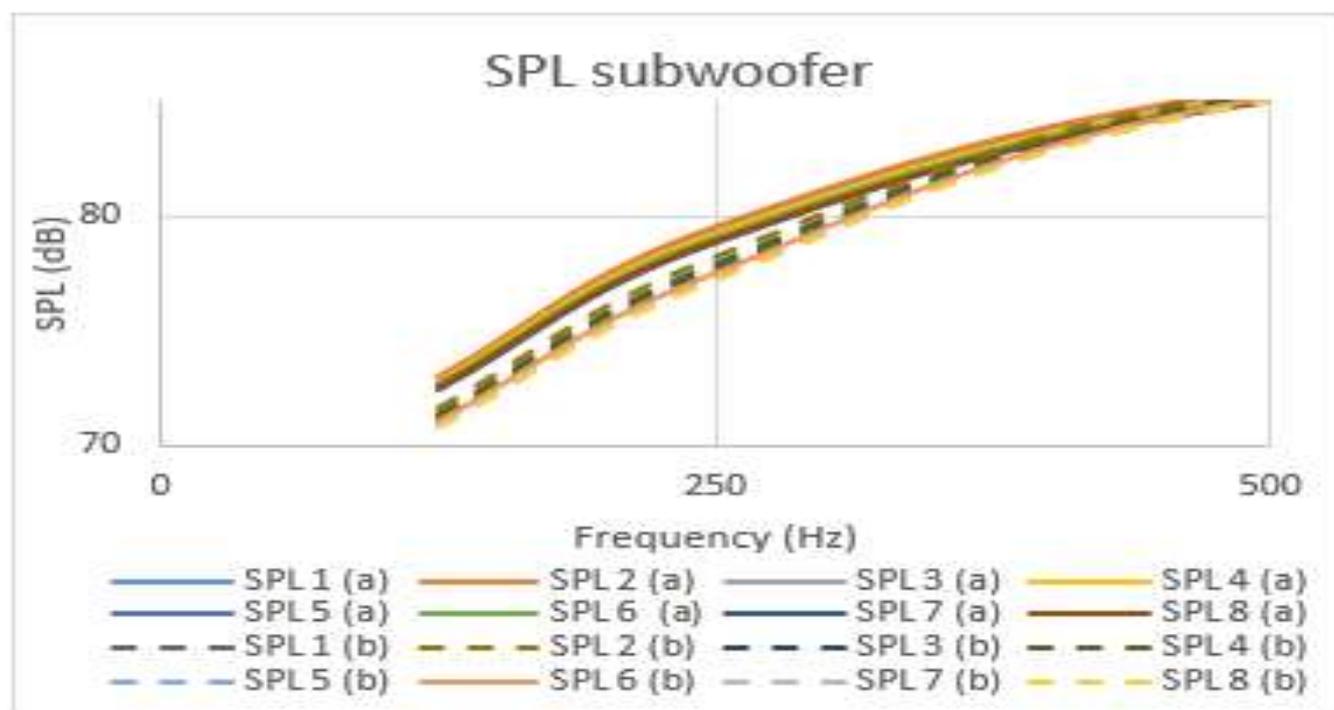
Pengamb ilan data persebaran distribusi tingkat tekanan bunyi bertujuan untuk mengetahui persebaran bunyi di ruangan. Mikrofon dan speaker disambungkan ke laptop untuk dioperasikan melalui software YMEC. Untuk skema pengambilan datanya dapat dilihat pada Gambar 8.

3) Pengambilan Data Respon Impuls

Untuk mendapatkan parameter akustik ruang berupa waktu dengung (*Reverberation Time*) dan C<sub>50</sub> perlu dilakukan metode respon impuls. Pengambilan data dengan respon impuls bertujuan untuk mengetahui karakteristik ruang berdasarkan kedua parameter tersebut. Impuls yang diberikan berasal dari sinyal bunyi dari software YMEC yang kemudian direkam pada setiap titik pengukuran. Untuk skema pengambilan datanya sama seperti pengambilan data distribusi tingkat tekanan bunyi pada Gambar 8.

4) Pemodelan Desain Ruang Simulasi

Pemodelan desain ruang untuk simulasi diawali dengan desain pada software Sketchup yang kemudian dilakukan import ke software EASE 4.3. Simulasi dilakukan untuk mengetahui perbandingan antara pengukuran dan simulasi. Desain model ruang dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 23. Grafik data SPL hasil simulasi.

### III. HASIL DAN DISKUSI

#### A. Observasi Awal

Seperti yang telah disampaikan pada bab sebelumnya, evaluasi kondisi akustik ruang dilakukan melalui metode persebaran SPL dan respon impuls. Sebagai ruang kelas, maka nilai parameter akustik dapat dievaluasi melalui beberapa parameter yang diantaranya adalah waktu dengung/reverberation time (RT) dan kejelasan bunyi /Sound Clarity (C50). Dalam penelitian ini, evaluasi dilakukan melalui beberapa analisa kondisi dan disertai dengan perbandingan hasil simulasi.

Hasil observasi menunjukkan ruang smart classroom memiliki volume sekitar 195 m<sup>3</sup> dengan dimensi terpanjang 9,7m, lebar 7,15m dan ketinggian 2,9m. Ruangan ini didominasi dengan material perforated panel yang diletakkan pada ceiling dan sebagian besar pada dinding, selain itu pada bagian dinding juga digunakan material gypsum dengan finishing cat dan fabric, kemudian untuk bagian lantai digunakan material keramik.

#### B. Pengukuran Kondisi Ruang Kosong dan Berisi Meja Kursi

Pada pengukuran ini dilakukan dengan ruang *Smart Classroom* tanpa audience, didapatkan data-data parameter akustik ruang pada rentang frekuensi 125-4000 Hz yang kemudian akan dilakukan analisa sebagai berikut

##### 1) Background Noise (BN) dan Noise Criteria (NC)

Pengukuran *Background Noise* dilakukan untuk mengetahui bising latar belakang dari ruangan sehingga dapat ditentukan besarnya SPL sumber yang sesuai. Gambar 11 menunjukkan nilai NC pada ruang *Smart Classroom* sebesar 30-35 sehingga *Background Noise* dari ruang *Smart Classroom* sesuai dengan rekomendasi berdasarkan fungsi ruang sebagai ruang kelas.

##### 2) Tekanan bunyi/Sound Pressure Level (SPL)

Pengukuran SPL dilakukan untuk mengetahui persebaran energi bunyi dalam ruangan (Gambar 12). Pada pengambilan data ini menggunakan *loudspeaker* sebagai sumber bunyi yang diletakkan di tengah ruang bagian depan, dengan bunyi *white noise* diatur melalui *software Yoshimasa Electronic*. Gambar 13 menunjukkan grafik data SPL pada dua kondisi di setiap frekuensi. Terlihat bahwa kedua kondisi menunjukkan nilai SPL pada frekuensi rendah yang dominan sangat rendah sehingga dibutuhkan perbaikan sistem tata suara yang lebih optimal. Untuk persebaran SPL pada frekuensi 1000Hz dapat dilihat pada Gambar 13 dan Gambar 14 terlihat bahwa perbedaan nilai SPL antara titik terdekat dan titik terjauh dari sumber bunyi tidak melebihi 6 dBA. Hal ini menunjukkan bahwa persebaran SPL dalam ruang *Smart Classroom* bisa dikatakan baik dan optimal [8]. Selain itu terlihat juga bahwa nilai SPL cukup tinggi dibagian depan dibandingkan dengan bagian belakang. Hal ini diakibatkan oleh sumber bunyi diletakkan di depan ruangan. Namun secara keseluruhan persebaran SPL dalam ruangan tergolong baik karena tidak ada pengurangan yang signifikan, hal ini dikarenakan komposisi material penyusun ruangan yang cukup seimbang yaitu reflektor dari lantai dan beberapa sisi dinding gypsum yang membantu dalam pemantulan bunyi ke seluruh ruangan, kemudian material *perforated panel* dengan *rockwool* sebagai lapisan dalamnya yang diletakkan di beberapa sisi dinding dan atap yang membantu dalam penyerapan bunyi *mid-low frequency*.

##### 3) Waktu Dengung/Reverberation Time (RT)

Pengukuran RT dilakukan untuk mengetahui bunyi dalam ruangan memiliki kesan “hidup” atau “mati”. Rekomendasi RT untuk ruang kelas diberikan sebesar 0,6 – 0,8 s untuk volume ruangan dibawah 500 m<sup>3</sup> (Satwiko, 2009). Dari pengukuran, data RT didapatkan dari pengolahan sinyal

bunyi dengan menggunakan *software Realtime Analyzer* dan *Sound Analyzer*.

Dalam pengukuran menggunakan metode respon impulse, sumber bunyi tidak dapat meluruh sebesar 60 dB karena sumber bunyi paling besar hanya 89 dB sementara *Background Noise* ruang sebesar 30 dB, maka ketika bunyi meluruh 60 dB akan tenggelam dalam *Background Noise*. Sehingga RT didekati dengan peluruhan 30 dB atau T30.

Pada Gambar 15 ditunjukkan perbandingan RT antara kondisi ruang kosong dengan ruang yang telah diisi meja dan kursi. Terlihat bahwa nilai RT ketika ruangan masih kosong lebih tinggi dibandingkan ketika ruangan berisi meja kursi. Hal ini bisa disebabkan karena dalam kondisi ruangan kosong maka akan banyak bunyi yang terpantul bebas dan kemungkinan besar akan terjadi interferensi sementara ketika diberi kursi dan meja bunyi akan cenderung terpecah-pecah karena banyak permukaan yang memantulkan kembali.

Terlihat dari grafik pada kondisi ruang kosong maupun berisi meja kursi masih berada dibawah rekomendasi yaitu kurang dari 0,6 s. Hal ini menunjukkan ruang *Smart Classroom* masih terlalu kedap sehingga dibutuhkan material akustik penyusun ruang yang bersifat difusi agar energi bunyi dalam ruang lebih disebarkan secara merata dan optimal.

#### 4) Kejelasan bunyi/Sound Clarity ( $C_{50}$ )

Ruang *Smart Classroom* memiliki fungsi utama sebagai ruang kelas dimana bunyi ucapan merupakan bunyi utama. Oleh karena itu perlu dilakukan pengukuran parameter kejelasan bunyi atau  $C_{50}$ .  $C_{50}$  merupakan parameter yang membandingkan antara energi bunyi langsung pada 50 ms pertama dengan energi bunyi pantulnya. Rekomendasi nilai  $C_{50}$  adalah -4 – 4 dB (Riberio, 2002), data  $C_{50}$  didapatkan dari pengolahan sinyal respon impuls menggunakan *software Yoshimasa Electronic* dan *Sound Analyzer*.

Gambar 16 dan Gambar 17 menunjukkan data  $C_{50}$  pada frekuensi 1000 Hz, terlihat bahwa nilai  $C_{50}$  berada pada rentang -1 sampai 5 dB. Terdapat dua titik yang melebihi rekomendasi yang diberikan yaitu titik 3 dan 7 pada kondisi ruangan berisi meja kursi dimana nilainya mencapai 5 dB. Namun secara keseluruhan nilai  $C_{50}$  dapat dikatakan baik karena dominan pada nilai 1-3 dB yang termasuk dalam rekomendasi yang diberikan yaitu -4 – 4 dB.

### C. Perbandingan Pengukuran dan Simulasi

Berikut ini dibahas analisis perbandingan data hasil pengukuran dan simulasi parameter akustik ruang. Simulasi dilakukan dengan kondisi ruang berisi meja kursi dan letak *loudspeaker* sama ketika melakukan pengukuran yaitu di tengah ruang bagian depan.

#### 1) Tekanan bunyi/Sound Pressure Level (SPL)

Pada Gambar 18 menunjukkan perbandingan persebaran SPL pada hasil pengukuran dan hasil simulasi, terlihat bahwa nilai persebaran SPL merata pada kedua hasil tersebut. Pada hasil pengukuran maupun simulasi terlihat perbedaan nilai SPL antara titik terdekat dan terjauh tidak melebihi 6 dBA.

#### 2) Waktu Dengung/Reverberation Time (RT)

Berdasarkan Gambar 18 terlihat bahwa hasil simulasi menunjukkan nilai yang lebih optimal untuk frekuensi *mid-high* berada pada rentang RT yang direkomendasikan yaitu 0,6-0,8 s.

#### 3) Kejelasan bunyi/Sound Clarity ( $C_{50}$ )

Berdasarkan Gambar 19 terlihat bahwa nilai  $C_{50}$  yang dihasilkan pada titik 1 dan 2 simulasi dan pada titik 3 dan 7 pengukuran masih berada diatas 4 dB. Namun untuk keseluruhan hasilnya dominan pada angka 1-3 dB, hal ini menunjukkan bahwa kejelasan bunyi yang dihasilkan sudah baik dan sesuai rekomendasi yaitu -4 – 4 dB.

### D. Perbandingan Simulasi antara Kondisi Ruang Kosong, Berisi Meja Kursi, dan Berisi Audience

Berikut ini dibahas analisis perbandingan data hasil simulasi parameter akustik ruang antara kondisi ruang kosong, ruang berisi meja kursi, dan ruang berisi *audience*. Simulasi dilakukan dengan menggunakan dua *loudspeaker* pada sisi kanan dan kiri ruangan bagian depan yang bertujuan untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal. Untuk skema desain simulasi dapat dilihat pada lampiran.

#### 1) Tekanan bunyi/Sound Pressure Level (SPL)

Simulasi Total SPL merupakan simulasi persebaran SPL diseluruh ruangan atau bunyi akhir yang didengar oleh *audience* sehingga geometri dan material dari ruangan diperhitungkan dalam simulasi ini. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan didapatkan data SPL seperti pada Gambar 20, terlihat bahwa pada setiap kondisi persebaran SPL dapat dikatakan cukup baik karena tidak ada pengurangan yang signifikan. Kemerataan nilai SPL pun lebih stabil jika dibandingkan dengan penggunaan 1 *loudspeaker*. Dari Gambar 21 juga terlihat bahwa setiap variasi memberikan pengaruh terhadap nilai SPL, berturut-turut nilai SPL menunjukkan penurunan dari variasi ruang kosong hingga ruang berisi *audience*. Hal ini diakibatkan karena semakin bertambahnya komponen material dalam ruang maka akan mempengaruhi pemantulan bunyi dalam ruang.

#### 2) Waktu Dengung/Reverberation Time (RT)

Berdasarkan Gambar 21 terlihat bahwa nilai RT hanya memenuhi rekomendasi pada frekuensi 1000-4000 Hz di kondisi ruang kosong dan berisi meja kursi. Untuk kondisi ruang berisi *audience* nilai RT berada dibawah 0,6 s, hal ini dapat diakibatkan karena pengaruh *audience* yang menambahkan komponen atau material yang bersifat menyerap dalam ruangan.

#### 3) Kejelasan bunyi/Sound Clarity ( $C_{50}$ )

Pada Gambar 22 terlihat bahwa nilai  $C_{50}$  pada semua kondisi sudah memenuhi rekomendasi yang diberikan yaitu antara -4 – 4 dB. Terlihat juga bahwa nilai  $C_{50}$  pada kondisi ruangan berisi *audience* cenderung lebih tinggi sehingga kejelasan bunyinya lebih jelas dibandingkan dengan dua kondisi lainnya.

### E. Perbandingan Simulasi antara Penggunaan Subwoofer dan Tanpa Subwoofer

Berikut ini dibahas perbandingan simulasi antara yang menggunakan *subwoofer* dan tidak menggunakan *subwoofer*. Tujuan penambahan *subwoofer* adalah untuk menambah intensitas energi bunyi pada frekuensi dibawah 250 Hz. Pada lampiran ditunjukkan skema ruangan yang digunakan untuk simulasi.

#### 1) Tekanan bunyi/Sound Pressure Level (SPL)

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan didapatkan data

persebaran SPL seperti pada Gambar 23. Gambar 23 menunjukkan perbandingan hasil simulasi persebaran total SPL pada kondisi tanpa *subwoofer* dan menggunakan *subwoofer*.

Berdasarkan Gambar 23 terlihat bahwa hasil simulasi dengan penambahan *subwoofer* pada sistem tata suara sedikit berpengaruh pada meningkatnya intensitas bunyi pada frekuensi dibawah 250 Hz. Peningkatan tersebut sebesar 1 hingga 2 dBA pada frekuensi dibawah 250 Hz, peningkatan yang tidak terlalu tinggi ini disebabkan karena adanya konsep penjumlahan desibel.

#### 2) Waktu Dengung/Reverberation Time (RT)

Berdasarkan Gambar 24 terlihat bahwa dengan penambahan *subwoofer* RT akan sedikit berkurang pada setiap frekuensinya.

#### 3) Kejelasan bunyi/Sound Clarity ( $C_{50}$ )

Pada Gambar 25 terlihat bahwa dengan penambahan *subwoofer* nilai  $C_{50}$  cenderung lebih meningkat pada setiap titiknya, namun tetap dalam rentang yang direkomendasikan yaitu -4 – 4 dB. Hal ini menandakan kualitas kejelasan bunyi semakin membaik dengan penambahan *subwoofer* pada sistem tata suara.

### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran, simulasi, dan analisis didapatkan kesimpulan sebagai berikut: (1) Tingkat kebisingan dari ruang *Smart Classroom* bernilai NC 30-35 dimana sesuai dengan rekomendasi nilai NC sebagai ruang kelas. Persebaran SPL sudah merata yaitu pada rentang 70-73

dBA di setiap titik, nilai waktu dengung (RT) sebesar 0,4 – 0,6 s sehingga masih belum memenuhi rekomendasi yaitu 0,6-0,8 s, dan nilai  $C_{50}$  dominan pada 1-3 dB sehingga memenuhi rekomendasi yaitu -4 – 4 dB. (2) Simulasi kondisi eksisting masih menghasilkan nilai waktu dengung (RT) yang belum memenuhi rekomendasi pada frekuensi rendah yaitu 0,3 – 0,6 s. (3) Simulasi perbaikan sistem tata suara menghasilkan persebaran SPL yang lebih optimal dan nilai  $C_{50}$  yang cukup merata serta memenuhi rekomendasi, namun untuk waktu dengung (RT) belum memenuhi rekomendasi ketika ruangan berisi *audience*.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Plowright and P. D, *Revealing Architectural Design: Methods, Frameworks and Tools*, 1st ed. Norfolk: Fakenham Prepress Solutions, 2014.
- [2] L. L. Beranek, "Revised criteria for noise in buildings," *Noise Control*, vol. 3, no. 1, pp. 19–27, 1957.
- [3] P. Satwiko, *Fisika Bangunan*, 1st ed. Yogyakarta: Penerbit Andi, 2009.
- [4] V. G. Escobar and J. M. B. Morillas, "Analysis of intelligibility and reverberation time recommendations in educational rooms," *Appl. Acoust.*, vol. 96, pp. 1–10, 2015.
- [5] M. Baron, *Auditorium Acoustics and Architectural Design*, 1st ed. New York: Spon Press, 2010.
- [6] F. A. Everest, *The Master Handbook of Acoustics*, 4th ed. New York: Mc Graw Hill, 2001.
- [7] M. S. Ribeiro, "Room Acoustic Quality of a Multipurpose Hall: A Case Study-How to Dress a Cinema for Music Performances," *Audio Engineering Society Conference: 21st International Conference: Architectural Acoustics and Sound Reinforcement*. 2002.
- [8] H. C. Indrani, S. N. N. Ekasiwi, and W. A. Asmoro, "Analisis kinerja akustik pada ruang auditorium multifungsi studi kasus: Auditorium Universitas Kristen Petra, Surabaya," *Dimens. Inter.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–11, 2007.