

**PENGARUH PEMASANGAN MATERIAL ABSORBER DAN DIFUSOR PADA LANGIT-LANGIT TERHADAP PARAMETER AKUSTIK “ROOM FOR SPEECH” PADA GEDUNG TELKOM UNIVERSITY CONVENTION HALL**

***THE EFFECT OF ABSORBER AND DIFFUSER MATERIAL INSTALLATION AT CEILING TO ACOUSTICS PARAMETER “ROOM FOR SPEECH” ON TELKOM UNIVERSITY CONVENTION HALL BUILDING***

Mochammad Reddy Tri Cahaya<sup>1</sup>, Drs. Suwandi, M.Si<sup>2</sup>, Muh. Saladin P, M.T<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>reddy.cahaya@gmail.com <sup>2</sup>suwandi@telkomuniveristy.ac.id <sup>3</sup>bibinprawirasasra@telkomuniveristy.ac.id

**ABSTRAK**

Dalam proses perancangan suatu ruangan seringkali faktor kenyamanan akustik tidak diperhatikan sehingga dapat mengganggu aktivitas yang berlangsung di dalam ruangan tersebut. Pengukuran parameter akustik seperti waktu dengung, *definition*, dan RASTI dilakukan untuk mengevaluasi kondisi akustik pada gedung TUCH. Berdasarkan data hasil pengukuran langsung, gedung TUCH belum memenuhi kriteria *speech* auditorium. Nilai waktu dengung berada pada rentang 0,4 sampai 13,7 detik, nilai D50 berada pada rentang 1,6 % sampai 42,6 %, sedangkan nilai RASTI termasuk dalam kategori buruk untuk percakapan. Data hasil simulasi pemasangan absorber pada langit-langit gedung TUCH menunjukkan nilai D50 pada frekuensi 250 Hz sampai 4000 Hz sudah memenuhi kriteria yaitu diatas 65 % dan nilai RASTI berada pada kategori baik. Pemasangan material diffuser pada langit-langit belum mampu meningkatkan kualitas akustik gedung TUCH.

**Kata kunci :** *Reverberation Time, Definiton, RASTI, Speech Auditorium*

**ABSTRACT**

When designing a room, acoustics comfort factor is often not taken into consideration so the result may be a disturbance to the activities taking place in the room. The measurement of acoustics parameter such as reverberation time, definition, and RASTI were done to evaluate the acoustics condition of TUCH building. Based on the field measurement result, the TUCH building is ineligible for speech auditorium. The reverberation time value is in the range of 0,4 until 13,7 seconds, D50 value is in the range of 1,6 % until 42,6 %, whereas the value of RASTI were included as bad category for speech. The simulation data of absorber installation at ceiling on TUCH building shows that the D50 value at the frequency of 250 Hz until 4000 Hz is eligible that is above 65 % and the RASTI value is in good category for speech. The diffuser installation at ceiling have not been able to improve the acoustics quality of TUCH building.

**Keywords:** *Reverberation Time, Definiton, RASTI, Speech Auditorium*

**1. Pendahuluan**

Kenyamanan suatu ruangan termasuk ruang auditorium dapat dipengaruhi oleh 3 faktor, yaitu kenyamanan akustik, visual, dan termal. Pada tugas akhir ini lebih difokuskan pada penelitian kenyamanan akustik saja. Ruangan yang akan digunakan pada Tugas Akhir ini adalah gedung Telkom *University Convention Hall*. Pada Tugas Akhir ini gedung TUCH di kategorikan sebagai *speech* auditorium, yaitu auditorium yang dirancang secara khusus untuk fungsi percakapan. Pendekatan bentuk geometri dari gedung TUCH adalah persegi panjang, medan suara yang terjadi pada auditorium dengan bentuk persegi panjang lebih mudah untuk dipantulkan karena bidang pembatas tegak lurus dengan panggung yang merupakan sumber suara<sup>[1]</sup>.

Untuk aktivitas *speech* hal tersebut kurang baik karena dengan adanya pantulan suara mengakibatkan terjadinya dengung pada gedung TUCH, fenomena dengung yang terjadi mengakibatkan kejelasan suara yang diterima oleh pendengar menjadi kurang baik. Pemasangan bahan yang memiliki kemampuan pantul rendah (bahan absorptif) pada langit-langit auditorium dapat mengurangi dampak negatif dari fenomena dengung yang terjadi<sup>[2]</sup>.

Nilai waktu dengung (RT) untuk auditorium jenis *speech* dianjurkan berada pada 0,85 sampai 1,3 detik<sup>[3]</sup>. Selain itu, nilai *Noise Rating* (NR) yang dianjurkan untuk auditorium adalah 40<sup>[4]</sup>. Berdasarkan data yang diperoleh pada gedung TUCH, nilai RT yang terdapat pada gedung TUCH berada pada 0,4 sampai 13,7 detik. Sedangkan nilai NR gedung TUCH adalah 88. Parameter akustik yang diukur pada tugas akhir ini meliputi, Waktu Dengung (RT), *Noise Rating* (NR), *Definition* (D<sub>50</sub>), dan *Rapid Speech Transmission Index* (RASTI).

Berdasarkan hal tersebut dirasa perlu untuk dilakukan penelitian dan pengamatan kondisi akustik pada gedung TUCH. Pada Tugas Akhir ini lebih difokuskan pada rekayasa terhadap fungsi *speech* gedung TUCH. Data yang di dapat dari hasil pengukuran langsung akan digunakan dalam simulasi perancangan ulang model gedung TUCH menggunakan perangkat lunak.

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah untuk menganalisis dan mengevaluasi kondisi akustik dari gedung TUCH serta pengaruh *treatment* akustik pada bagian langit-langit melalui simulasi menggunakan perangkat lunak. Hasil dari evaluasi dapat digunakan sebagai rekomendasi berupa desain ruangan baru yang memiliki kondisi akustik yang lebih baik.

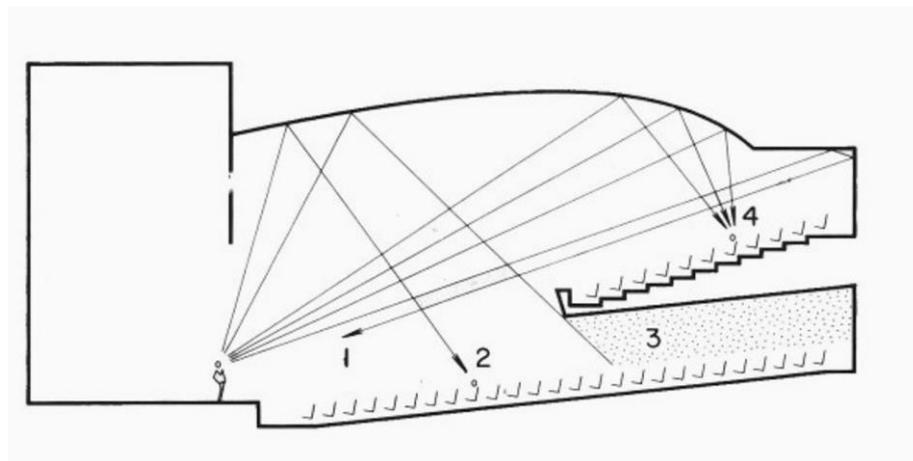
## 2. Dasar Teori

### 2.1 Akustik Auditorium

Auditorium dengan fungsi percakapan dirancang agar pendengar dapat memahami dengan jelas informasi yang disampaikan dari sumber suara. Pantulan yang terjadi pada bidang pembatas ruangan di dalam auditorium akan memengaruhi kualitas informasi yang disampaikan<sup>[7]</sup>. Terdapat dua macam pantulan yang dapat terjadi pada bidang pembatas ruang auditorium yaitu *early reflections* dan *late reflections* seperti pada gambar 2.3.

*Early reflections* dapat membantu pendengar untuk lebih memahami informasi yang disampaikan oleh sumber suara. Untuk aktivitas percakapan *early reflections* merupakan suara yang datang pada 50 ms pertama. Sedangkan *late reflections* merupakan suara yang datang setelah 80 ms pertama, hal ini dapat mengakibatkan ketidaknyaman di dalam auditorium seperti *echo*<sup>[7]</sup>.

Untuk auditorium dengan ukuran cukup besar seperti pada gedung TUCH terdapat beberapa cacat akustik yang disebabkan oleh langit-langit seperti pada gambar 2.1 yang dapat mengakibatkan ketidaknyamanan di dalam auditorium. Yang pertama adalah *echo*, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya *echo* merupakan salah satu contoh dari fenomena *late reflections* yang dapat mengakibatkan pendengar kurang dapat memahami informasi yang disampaikan.



Gambar 2.1 Cacat akustik yang disebabkan oleh langit-langit<sup>[1]</sup>. 1) *Echo* 2) *Long Delayed Reflection* 3) *Shadow Zone* 4) *Sound Focusing*.

Ketidaknyamanan berikutnya yang disebabkan oleh langit-langit auditorium adalah *long delayed reflection*, hal ini dapat terjadi karena jarak langit-langit atau bidang pemantul yang cukup jauh bila dibandingkan dengan jarak *direct sound path*. *Sound focusing* merupakan cacat akustik yang disebabkan oleh permukaan bidang pantul dengan bentuk cekung, hal ini mengakibatkan energi suara yang dipantulkan hanya tertuju pada satu area saja. Pemasangan material absorber dan difusor pada langit-langit dapat menjadi solusi untuk mengurangi dampak negatif dari cacat akustik yang disebabkan oleh langit-langit auditorium<sup>[1]</sup>.

## 3. Hasil Dan Analisis

### 3.1 Simulasi Model Existing Gedung TUCH

Simulasi Model Existing Gedung TUCH dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak CATT *Acoustics*. Hal pertama yang dilakukan pada tahap ini adalah membuat model geometri ruang berdasarkan kondisi sebenarnya gedung TUCH dengan meliputi bahan material penyusun ruangnya. Namun untuk bagian tinggi ruangan digunakan pendekatan atau asumsi dikarenakan ditemukan kesulitan untuk mengukur ketinggian gedung TUCH, asumsi tinggi ruangan yang digunakan adalah 18 meter. Pada proses selanjutnya yang dilakukan adalah proses validasi, validasi dilakukan dengan tujuan untuk mencocokkan model yang telah dibuat pada perangkat lunak dengan bentuk *existing*.

Adapun nilai parameter yang digunakan pada proses validasi ini adalah nilai waktu dengung (RT), karena nilai RT sangat memengaruhi kondisi akustik pada suatu ruangan.

Pada proses validasi, selisih nilai RT antara pengukuran langsung dan hasil simulasi berada pada rentang 0 – 0,5. Hal tersebut sudah sesuai dengan standar kriteria untuk validasi dimana selisih nilai RT tidak boleh melebihi 5% [12].

### 3.2 Simulasi Material Akustik Absorber dan Diffusor

Simulasi material akustik absorber dan diffusor dilakukan dengan mengubah material pada bagian langit-langit menggunakan material absorber dan diffusor. Pada Tugas Akhir ini dilakukan tiga simulasi dengan kondisi yang berbeda untuk melihat bagaimana pengaruh penggunaan material yang berbeda terhadap parameter akustik “*room for speech*” pada gedung TUCH.

#### 3.2.1 Kondisi 1 (full absorber)

Pada kondisi 1 dilakukan simulasi dengan menggunakan material absorber pada keseluruhan bagian langit-langit model gedung TUCH. Material absorber yang digunakan adalah *Sheep Wool Absorbent* (A1), *Fibreglass with 2,5cm airspace* (A2), *acoustic plaster* (A3), *5 cm wood wool* (A4), *heavy carpet with latex* (A5) [13]. Tabel 3.1 menunjukkan nilai koefisien absorpsi dari material absorber yang digunakan pada simulasi kondisi 1:

Tabel 3.1 Nilai Koefisien Absorpsi Material

| Material | Koefisien Absorpsi |        |        |       |       |       |
|----------|--------------------|--------|--------|-------|-------|-------|
|          | 125 Hz             | 250 Hz | 500 Hz | 1K Hz | 2K Hz | 4K Hz |
| A1       | 0,47               | 0,86   | 0,99   | 0,94  | 0,96  | 0,99  |
| A2       | 0,15               | 0,55   | 0,80   | 0,90  | 0,85  | 0,80  |
| A3       | 0,30               | 0,35   | 0,50   | 0,70  | 0,70  | 0,70  |
| A4       | 0,08               | 0,17   | 0,35   | 0,45  | 0,65  | 0,65  |
| A5       | 0,08               | 0,27   | 0,70   | 0,35  | 0,11  | 0,04  |

Berikut adalah hasil rata-rata pada seluruh titik pengukuran simulasi parameter akustik pada model dengan kondisi 1 :

Tabel 3.2 Nilai Rata-Rata Parameter Akustik Kondisi 1

| Material | Parameter Akustik | Frekuensi |        |        |       |       |       |
|----------|-------------------|-----------|--------|--------|-------|-------|-------|
|          |                   | 125 Hz    | 250 Hz | 500 Hz | 1K Hz | 2k Hz | 4K Hz |
| A1       | RT (s)            | 2,35      | 2,40   | 2,62   | 2,62  | 2,61  | 2,03  |
|          | D50 (%)           | 58,6      | 70     | 71,8   | 70,4  | 70,8  | 75,2  |
|          | RASTI             | Baik      |        |        |       |       |       |
| A2       | RT (s)            | 3,16      | 2,25   | 2,47   | 2,63  | 2,55  | 1,92  |
|          | D50 (%)           | 45,4      | 59,5   | 67,7   | 69,7  | 68,5  | 71,3  |
|          | RASTI             | Baik      |        |        |       |       |       |
| A3       | RT (s)            | 2,56      | 2,72   | 2,37   | 2,43  | 2,42  | 1,88  |
|          | D50 (%)           | 52        | 50,4   | 57,6   | 63,7  | 64,1  | 68,7  |
|          | RASTI             | Cukup     |        |        |       |       |       |
| A4       | RT (s)            | 3,65      | 4,09   | 2,69   | 2,49  | 2,39  | 1,87  |
|          | D50 (%)           | 41,7      | 39,9   | 50,9   | 54    | 62,4  | 67,2  |
|          | RASTI             | Cukup     |        |        |       |       |       |

|    |         |       |      |      |      |      |      |
|----|---------|-------|------|------|------|------|------|
| A5 | RT (s)  | 3,65  | 3,16 | 2,42 | 2,80 | 4,55 | 3,58 |
|    | D50 (%) | 41,9  | 46,2 | 64,7 | 49,1 | 36,9 | 43   |
|    | RASTI   | Cukup |      |      |      |      |      |

Berdasarkan Tabel 3.2 dapat diketahui bahwa nilai rata-rata parameter RT kedua material belum memenuhi standar kriteria untuk auditorium dengan fungsi percakapan, hal ini dapat diakibatkan oleh adanya fenomena *long delayed reflection* karena langit-langit yang tinggi seperti yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya. Sehingga waktu yang dibutuhkan untuk meluruhkan energi suara sebesar 60 dB menjadi lebih lama. Untuk nilai RT pada auditorium percakapan yang dianjurkan adalah 0,85 sampai 1,3 detik<sup>[3]</sup>. Nilai rata-rata parameter D50 pada simulasi model dengan material A1 menunjukkan bahwa pada frekuensi 125 Hz dan 250 Hz berada dibawah standar kriteria, hal tersebut dapat terjadi karena kemampuan material untuk menyerap suara pada frekuensi tersebut kurang baik sehingga suara yang datang akan dipantulkan. Sedangkan untuk frekuensi 500 Hz sampai 4000 Hz sudah memenuhi standar kriteria untuk ruang auditorium percakapan, dengan nilai D50 untuk ruang auditorium percakapan adalah lebih besar dari 65%<sup>[3]</sup>.

Nilai D50 pada simulasi material A2 menunjukkan bahwa hanya nilai pada frekuensi 125 Hz saja yang belum memenuhi kriteria, sedangkan nilai D50 pada frekuensi 250 sampai 4000 Hz sudah baik. Untuk nilai RASTI pada simulasi model kondisi 1 sudah memenuhi standar kriteria untuk ruang auditorium percakapan dengan kategori baik dengan indeks nilai lebih 60<sup>[3]</sup>. Data parameter akustik dari hasil simulasi kondisi 1 menunjukkan bahwa penggunaan material A1 merupakan hasil yang paling mendekati nilai kriteria untuk auditorium dengan fungsi percakapan.

### 3.2.2 Kondisi 2 (full diffusor)

Pada kondisi 2 dilakukan simulasi dengan menggunakan material diffusor pada keseluruhan bagian langit-langit model gedung TUCH. Material diffusor yang digunakan adalah *Semi Eclips Diffuser* (B1), *Schroeder Diffuser* (B2), *curved surfaces 20 cm deep* (B3), *curved surfaces 30 cm deep* (B4), *semicylinders diffuser* (B5)<sup>[13]</sup>. Berikut tabel koefisien sebaran dari material diffusor yang digunakan pada simulasi kondisi 2:

Tabel 3.3 Nilai Koefisien Sebaran Material

| Material | Koefisien Sebaran |        |        |       |       |       |
|----------|-------------------|--------|--------|-------|-------|-------|
|          | 125 Hz            | 250 Hz | 500 Hz | 1K Hz | 2K Hz | 4K Hz |
| B1       | 0,16              | 0,25   | 0,87   | 0,62  | 0,87  | 0,94  |
| B2       | 0,02              | 0,02   | 0,21   | 0,19  | 0,39  | 0,49  |
| B3       | 0,04              | 0,05   | 0,18   | 0,39  | 0,56  | 0,56  |
| B4       | 0,51              | 0,20   | 0,16   | 0,59  | 0,58  | 0,55  |
| B5       | 0,23              | 0,26   | 0,91   | 0,86  | 0,88  | 0,94  |

Berikut adalah hasil rata-rata pada seluruh titik pengukuran simulasi parameter akustik pada model dengan kondisi 2:

Tabel 3.4 Nilai Rata-Rata Parameter Akustik Kondisi 2

| Material | Parameter Akustik | Frekuensi |        |        |       |       |       |
|----------|-------------------|-----------|--------|--------|-------|-------|-------|
|          |                   | 125 Hz    | 250 Hz | 500 Hz | 1K Hz | 2K Hz | 4K Hz |
| B1       | RT (s)            | 3,11      | 4,05   | 3,06   | 2,58  | 3,13  | 2,24  |
|          | D50 (%)           | 44,8      | 38,1   | 38,2   | 47,5  | 38,2  | 46,6  |
|          | RASTI             | Buruk     |        |        |       |       |       |
| B2       | RT (s)            | 4,51      | 8,16   | 7,04   | 7,84  | 6,53  | 3,87  |
|          | D50 (%)           | 38,4      | 28,3   | 27,5   | 25,3  | 26,3  | 36,1  |
|          | RASTI             | Buruk     |        |        |       |       |       |

|    |         |              |      |      |      |      |      |
|----|---------|--------------|------|------|------|------|------|
| B3 | RT (s)  | 4,46         | 7,48 | 6,99 | 7,53 | 6,51 | 3,88 |
|    | D50 (%) | 35,7         | 25,7 | 19,8 | 19,6 | 22   | 31   |
|    | RASTI   | Sangat Buruk |      |      |      |      |      |
| B4 | RT (s)  | 4,49         | 7,60 | 7,11 | 7,51 | 6,49 | 3,88 |
|    | D50 (%) | 31,7         | 26,3 | 28   | 21,8 | 24,6 | 35,5 |
|    | RASTI   | Buruk        |      |      |      |      |      |
| B5 | RT (s)  | 4,49         | 8,01 | 7,07 | 7,60 | 6,49 | 3,88 |
|    | D50 (%) | 38,1         | 27,9 | 27,8 | 23,7 | 24,7 | 35,2 |
|    | RASTI   | Buruk        |      |      |      |      |      |

Berdasarkan Tabel 3.4 dapat diketahui bahwa nilai rata-rata parameter akustik pada simulasi kondisi 2 belum ada yang memenuhi standar kriteria untuk auditorium percakapan. Hal tersebut terjadi karena dampak dari pemasangan material diffusor, sehingga medan pantul diruangan menjadi semakin besar. Dengan demikian, waktu yang dibutuhkan untuk meluruhkan energi suara menjadi semakin besar, selain itu pemasangan material diffusor pada seluruh bagian langit-langit juga berdampak pada tingkat kejelasan percakapan seperti pada data nilai D50 dan RASTI. Banyaknya pantulan yang terjadi mengakibatkan suara yang diterima menjadi tidak jelas atau buruk.

### 3.2.3 Kondisi 3 (kombinasi absorber diffusor)

Pada simulasi kondisi 3 terdapat tiga buah kombinasi yang dicoba dengan menggunakan material absorber A1 dan material diffusor B1 dengan letak pemasangan yang berbeda. Pada kombinasi 1 dilakukan simulasi dengan menggunakan kombinasi material absorber pada bagian sisi samping langit-langit dan material diffusor pada bagian tengah langit-langit. Pada kombinasi 2 penempatan material diffusor berada disebelah samping kanan dan kiri langit-langit, sedangkan pada kombinasi 3 material diffusor berada pada bagian belakang langit-langit. Berikut adalah nilai rata-rata pada seluruh titik pengukuran simulasi parameter akustik pada model kondisi 3:

Tabel 3.5 Nilai Rata-Rata Parameter Akustik Kondisi 3

| Material    | Parameter Akustik | Frekuensi  |        |        |       |       |       |
|-------------|-------------------|------------|--------|--------|-------|-------|-------|
|             |                   | 125 Hz     | 250 Hz | 500 Hz | 1K Hz | 2K Hz | 4K Hz |
| Kombinasi 1 | RT (s)            | 2,4        | 2,3    | 2,52   | 2,56  | 2,52  | 1,92  |
|             | D50 (%)           | 55,4       | 62,5   | 65,1   | 65,5  | 64,7  | 69,5  |
|             | RASTI             | Cukup      |        |        |       |       |       |
| Kombinasi 2 | RT (s)            | 2,35       | 2,36   | 2,57   | 2,63  | 2,56  | 1,97  |
|             | D50 (%)           | 57,3       | 67,8   | 69,4   | 68,5  | 68,5  | 73    |
|             | RASTI             | Cukup Baik |        |        |       |       |       |
| Kombinasi 3 | RT (s)            | 2,54       | 2,35   | 2,46   | 2,51  | 2,45  | 1,92  |
|             | D50 (%)           | 54,1       | 62,6   | 64,5   | 62,4  | 63,1  | 69,1  |
|             | RASTI             | Cukup      |        |        |       |       |       |

Berdasarkan Tabel 3.5 dapat diketahui bahwa nilai rata-rata parameter akustik untuk model kondisi 3 belum memenuhi standar kriteria untuk auditorium. Nilai D50 dan RASTI mengalami penurunan kualitas karena pemasangan diffusor di bagian langit-langit mengakibatkan titik pengukuran yang berada di bagian depan terkena dampak dari adanya pantulan suara oleh diffusor. Dengan banyaknya suara pantulan mengakibatkan kejelasan suara yang diterima menjadi kurang baik.

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

Hasil pengukuran langsung parameter akustik Gedung TUCH menunjukkan bahwa volume ruangan yang besar memengaruhi pembentukan medan suara pada ruangan. Hal tersebut berdampak pada besarnya nilai RT serta mengakibatkan persebaran suara yang tidak merata antara titik pengukuran yang dekat dengan sumber dengan titik yang jauh dengan sumber.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pemasangan material absorber A1 pada langit-langit dengan nilai koefisien absorpsi rata-rata 0,47 – 0,99 sudah mampu menyesuaikan nilai parameter akustik tingkat kejelasan percakapan Gedung TUCH dengan nilai rekomendasi untuk *room for speech*. Hasil simulasi pemasangan material diffusor pada langit-langit belum mampu meningkatkan kualitas akustik *room for speech* pada gedung TUCH. Diffusor pada langit-langit mengakibatkan pantulan yang berasal dari dinding dan lantai menjadi semakin dominan, hal tersebut berdampak buruk pada parameter akustik *room for speech*. Nilai RT menjadi lebih besar serta tingkat kejelasan percakapan menjadi buruk.

## Daftar Pustaka

- [1] Yilmaz, Tansu., 2005, "Acoustical Analysis Of A Multipurpose Hall By Computer Simulation Method".
- [2] Indrani, Hady C., 2007, "Optimasi Desain Interior Untuk Peningkatan Kualitas Akustik Ruang Auditorium Multifungsi".
- [3] Ribeiro, Maria R., 2002, "Room Acoustic Quality Of Multipurpose Hall: A Case Study".
- [4] "NR – Noise Rating Curves". 28 November 2014. [http://engineeringtoolbox.com/nr-noise-rating-d\\_60.html](http://engineeringtoolbox.com/nr-noise-rating-d_60.html)
- [5] Stein, Benjamin dkk., 1986, "Mechanical and Electrical Equipment for Buildings 12th Edition", John Wiley & Sons, Inc.
- [6] Eviutami, Christina., 2005, "Akustika Bangunan", Erlangga.
- [7] "Auditorium Acoustics". 16 Maret 2016. <http://www.acousticsscience.com/media/articles/auditorium-acoustics-102-reflections-make-all-difference>
- [8] Kinsler, L., 1978, "Fundamentals of Acoustics 4th Edition", John Wiley & Sons, Inc.
- [9] British Standards Institution (BSI). 2011, "Objective Rating of Speech Intelligibility by Speech Transmission Index". BS EN 60268-16:2011.
- [10] American Society for Testing and Materials (ASTM). 2011, "Standard Test Method for Measurement of Airborne Sound Attenuation between Rooms in Buildings". ASTM E336-11.
- [11] Bruel & Kjaer., 1986, "Noise Control", Naerum Offset.
- [12] International Standards (ISO). 1997. "Acoustics – Measurement of The Reverberation Time of Rooms With Reference To Other Acoustical Parameters". ISO 3382 – 1997.
- [13] Cox, Trevor J., 2009, "Acoustics Absorbers and Diffusers: Theory Design and Application". John Wiley & Sons, Inc.