

APLIKASI MODEL KOMPUTER DALAM ANALISIS KINERJA AKUSTIK RUANG AUDITORIUM UNIVERSITAS KRISTEN PETRA SURABAYA

Hedy C. Indrani

Jurusan Desain Interior, Fakultas Seni dan Desain
Universitas Kristen Petra - Surabaya
e-mail: cornelli@petra.ac.id

Sri Nastiti N. Ekasiwi

Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya
e-mail: nastiti@arch.its.ac.id

Wiratno A. Asmoro

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya
e-mail: wiratno@ep.its.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan program komputer untuk simulasi akustik merupakan alternatif metode analisis akustik yang hemat biaya, waktu, dan tenaga. ECOTECT v.5.20 sebagai salah satu program *computational building performance simulation* terintegrasi penuh dengan model 3D, mampu melakukan simulasi dan analisis kinerja akustik ruang auditorium, sehingga dapat pula digunakan sebagai program untuk merancang posisi dan luasan bidang serap. Terkait dengan aktifitas simulasi, suatu program komputer dalam memodelkan lingkungan sesungguhnya seringkali timbul permasalahan dalam penyederhanaan permodelan. Hal ini dipastikan akan mempengaruhi kesesuaian antara hasil pengukuran lapangan dan hasil simulasi parameter akustik respon impuls ruang. Verifikasi hasil simulasi terhadap hasil pengukuran lapangan perlu dilakukan, bertujuan menunjukkan validitas program komputer tersebut untuk digunakan sebagai alat simulasi pada penelitian selanjutnya. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa kalkulasi *Reverberation Time* (RT) paling mendekati hasil pengukuran lapangan dengan penyimpangan <5% sehingga menunjukkan hasil yang sangat signifikan dan valid untuk digunakan dalam simulasi eksperimen berikutnya.

Kata kunci: model komputer, simulasi akustik auditorium, dan proses validasi.

ABSTRACT

The operation of computer program for acoustic simulation is an alternative for acoustic analysis method which is fund, time, and energy saving. ECOTECT v.5.20 is one of the computational building performance simulation integrated program with fully 3D, that is able to simulate and analyze acoustic performance of an auditorium. Accordingly it can be used as a program to design the position and area of absorption surface. With consideration to simulation activities, a computer program that makes a model of a real environment always faces the problem of simplifying a model. This problem definitely will affect the precision between the field assessment result and the parameter simulation result of a room acoustic impulse response. Verification of simulation result on the field assessment result has to be done in order to show the computer program validation to be used as a simulation tool for the next research. The simulation result shows that the Reverberation Time (RT) computation is the most equal to the field measurement result with <5% deviation, therefore it shows a very significant and valid result to be used in the next simulation experiment

Keywords: computer model, auditorium acoustic simulation, and validation process.

PENDAHULUAN

Penelitian terhadap kualitas akustik ruang masih sangat terbatas, terutama akustik ruang auditorium. Hal ini disebabkan eksperimen-eksperimen yang dilakukan terkait bentuk, dimensi, dan bahan interior masih dikerjakan secara manual, sehingga membutuhkan biaya yang relatif lebih mahal dan waktu penelitian yang lebih panjang (Lam, 1996).

Penelitian kualitas akustik ruang auditorium meliputi pengamatan terhadap kondisi fisik ruang dan aktivitas penggunaannya, serta pengukuran akustik ruang untuk mendapatkan 3 (tiga) parameter objektif yaitu *background noise level*, distribusi Tingkat Tekanan Bunyi (TTB), dan respon impuls ruang berupa waktu dengung (*reverberation time-RT*), waktu peluruhan (*early decay time-EDT*), *Definition-D₅₀*, *Clarity-C₅₀*, *Clarity-C₈₀*, dan *Centre Time* (TS).

Pengukuran *background noise level* dilakukan untuk mengetahui besaran *Noise Criteria* (NC) terhadap kondisi kebisingan lingkungan baik dari dalam maupun luar gedung. Pengukuran distribusi TTB berguna untuk mengetahui penyebaran suara di dalam ruang auditorium tersebut. Pengukuran respon *impuls* ruang ditujukan untuk menilai parameter akustik objektif ruang seperti waktu dengung dan cacat-cacat akustik yang berhubungan erat dengan pemilihan bahan-bahan pelapis pada elemen interiornya (Sabine, 1993).

Saat ini, perkembangan program komputer telah mampu menyediakan tampilan grafis untuk membantu memudahkan penelitian kualitas akustik ruang auditorium melalui model bangunan, simulasi, dan analisis kinerja bangunan (Choi dan Cabrera, 2005). ECOTEECT v.5.20 merupakan salah satu program yang terintegrasi penuh dengan model 3D, mampu melakukan analisis kinerja akustik ruang auditorium, walaupun masih terbatas pada parameter respon impuls ruang yaitu RT dan EDT. Hasil simulasi dan analisis kinerja akustik berupa grafik *statistical reverberation* dan *statistical response*. Keduanya dapat dipergunakan sebagai landasan bagi eksperimen simulasi optimasi kualitas akustik ruang auditorium lebih lanjut (Marsh, 2003).

Program ini akan digunakan sebagai alat simulasi, oleh karena itu perlu dilakukan proses

validasi agar didapatkan keyakinan bahwa program tersebut dapat dipakai sebagai model simulasi ruang auditorium. Penelitian ini bertujuan mencari kesesuaian antara hasil pengukuran lapangan dan hasil simulasi sehingga dapat menunjukkan validitas program tersebut untuk dipakai sebagai alat simulasi pada penelitian selanjutnya.

PROGRAM ECOTEECT v5.20

Program ECOTEECT v5.20 yang dikembangkan oleh SQUARE ONE *research* Amerika merupakan sebuah program analisis kinerja bangunan (*building performance*) yang terintegrasi penuh dengan simulasi model 3D. Program ini dapat dipakai untuk menganalisis kinerja solar, lingkungan termal, lingkungan penerangan, lingkungan penghawaan, lingkungan akustik, energi, dan pembiayaan.

Untuk keperluan simulasi model auditorium 3D dan analisis kinerja lingkungan akustik, program ECOTEECT v5.20 memberikan kemudahan dalam: (1) Mengamati pergerakan partikel dan arah akustik dalam setiap bentuk pelingkupnya; (2) Menyebarkan partikel suara dalam pelingkup dan mengamati batasan suara menghilang (*rate of decay*); (3) Mempermudah dalam perhitungan ketepatan luasan bidang permukaan pada masing-masing elemen interior dan perhitungan volume ruang auditorium; (4) Mempermudah dalam menciptakan atau memodifikasi koefisien absorpsi dari data bahan-bahan interior yang tersedia (*material library*); (5) Memasang jenis bahan pada masing-masing elemen interior yang diambil dari *material library*; (6) Program ini dapat mengkalkulasikan RT dan EDT dalam setiap zona auditorium secara cepat; (7) Menghitung secara statistik RT dan EDT berdasarkan jenis bahan yang telah dipilih, jumlah dan jenis kursi penonton, serta menghasilkan grafik analisis RT dan EDT; (8) Menempatkan *speaker* pada tempat yang diinginkan, untuk menganalisis EDT dan menghasilkan grafik *acoustic rays*.

Data Input

Data *input* harus dipersiapkan dan dimasukkan untuk menjalankan simulasi model

3D auditorium dan analisis program ECOTECT v5.20 yaitu:

1. Data Bangunan, meliputi data material atau bahan-bahan pelapis interior auditorium yang akan dipergunakan, data dan letak *speaker* dalam ruangan, data akurat mengenai besaran dan ukuran ruang auditorium yang akan dianalisis (biasanya didapat dari gambar kerja proyek), serta jumlah kapasitas maksimum ruangan (*occupancy*).
2. Model Auditorium, yaitu gambar penyederhanaan ruang auditorium yang dimasukkan ke dalam program ECOTECT v5.20. Tujuan membuat model untuk menentukan: (a) Ukuran secara detail, yaitu berupa data ukuran ruang auditorium mulai dari gambar denah, ketinggian ruang, penutup atap (plafon), pembukaan jendela dan pintu, serta pembagian area dengan bahan-bahan penutup yang berbeda; (b) Material, yaitu bahan yang akan dipakai dalam tiap-tiap pelapis bidang permukaan interior; (c) *Speaker*, yaitu menentukan arah hadap dan kuat frekuensi tiap *speaker* sebagai sumber suara yang akan dianalisis.

Ketika membuat model auditorium, setiap pelingkup (elemen interior) dibagi dalam zona (*zone management*) dengan spesifikasi masing-masing pada zona dinding, lantai, plafon, *speaker*, pintu, jendela, dan seterusnya, dimana pembagian zona semakin detail akan lebih memudahkan dalam pengaplikasian proses perhitungan dan analisis tahap berikutnya.

Model auditorium dibuat pada program ECOTECT v5.20 melalui *Modelling Toolbar* dan *Additional Toolbar*, dimana tiap-tiap bagian dapat dipakai untuk menciptakan tipe yang berbeda. Program ECOTECT v5.20 secara otomatis memberikan tipe elemen interior dan material standar. Untuk tipe bahan dan elemen interior yang lain dapat ditentukan sendiri melalui menu *Control Panel* dan *Material Assignments Panel* atau *Selection Information Panel*.

3. *Control Panel* dipakai untuk perlakuan model dan tujuan analisis yang berbeda. *Control Panel* yang dapat dipergunakan dalam pengamatan lingkungan akustik

adalah: (a) *Selection Information*, berisi informasi dan *setting* dalam obyek atau zona yang sedang dipilih. Hal yang umum diamati yaitu luas, volume, bahan, dan elemen interior obyek yang dipilih; (b) *Zone Management*, berisi daftar zona yang ada dalam model yang telah dibuat; (c) *Material Assignment*, berisi daftar material yang tersedia dalam program ECOTECT v5.20 dan digunakan dalam obyek sketsa yang dipilih; (d) *Rays & Particles*, berisi *menu control* untuk analisis EDT dan penyebaran *acoustic rays* dalam model.

4. *Material Library*

Adanya *Material Library* memungkinkan untuk mengorganisir dan mengatur *material* dalam model. Data *material library* program ECOTECT v5.20 dapat diakses dari *Main Toolbar* dan *Material Library*. Data material dapat dibagi ke dalam tiap-tiap elemen interior, dengan informasi tiap material yang didapat dari panel berikut: (a) *Properties*, menampilkan data performa utama dari material yang dipilih. Dalam analisis lingkungan akustik, panel *properties* tidak digunakan karena data tidak berpengaruh terhadap hasil analisis akustik; (b) *Layer*, material yang digunakan dalam model, seringkali terdiri dari gabungan beberapa material; (c) *Acoustic Data*, menampilkan koefisien penyerapan suara (α) dari material yang dipilih. Penyerapan suara dapat bervariasi signifikan dalam frekuensi sehingga ECOTECT v5.20 memberi batasan rangkaian oktaf dari 63Hz sampai dengan 16kHz. Nilai koefisien dapat diubah sesuai dengan data material baru yang ingin ditambahkan untuk eksperimen; (d) *Output Profile*, menampilkan pendistribusian *output polar* dari material *speaker*. Nilai koefisien tersebut mewakili *level* tiap arah *relative* terhadap garis horisontal, yang diasumsikan mengarah ke obyek atau tujuan.

Penggantian material pada zona dan pelingkup model auditorium, misalnya material awal zona *Seating* adalah tipe *Concrete Floor Suspended* akan diganti tipe *Concrete Floor Tiles Suspended*, maka:

1. Pada *Zone Management Panel* terlihat daftar zona-zona yang digunakan dalam model auditorium ini. Untuk memudahkan pemilihan zona yang akan diberi material, diperlukan penyederhanaan tampilan layar dari zona-zona yang ada yaitu dengan menonaktifkan zona-zona yang tidak diinginkan dari layar tampilan.
2. Hasil penyederhanaan tampilan layar dari zona-zona, tampak yang tersisa hanya zona *seating*.
3. Setelah layar menampilkan hanya 1 (satu) zona, dipilih keseluruhan zona yang akan diberi material pilihan. Pada panel *Selection Information* tercantum *Primary Material* yaitu *Concrete Floor Suspended*.
4. Melalui data *Primary Material* dipilih *Select Material*. Material lantai (*floor*) yang dipilih dari daftar *material library* yaitu *Concrete Floor Tiles Suspended*.
5. Hasil eksekusi material adalah zona *seating* akan mempunyai material pengganti, yaitu *Concrete Floor Tiles Suspended*.

Eksekusi Simulasi Model 3D dan Analisis RT

Eksekusi simulasi model 3D dan analisis RT (*Reverberation Time*) harus menggunakan data volume dan data material dalam suatu rangkaian oktaf tertentu dan memilih pelingkup ruang yang akan dianalisis RT-nya, dimana tiap-tiap sisi pelingkup telah mempunyai data material dan zona yang tepat. Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah:

1. Eksperimen yang menggunakan bahan baru selain bahan standar ECOTECH v5.20 dapat dibuat melalui *Material Library*.
2. Seluruh zona pelingkup disatukan dalam satu zona, karena pembacaan data dan analisis RT hanya dapat dijalankan dalam satu *Zona Management*. (memungkinkan satu zona, dengan beragam jenis bahan yang digunakan)
3. Setelah menetapkan dan menentukan zona maka proses perhitungan RT dapat dijalankan yaitu dari *Main Menu*, *Calculate*, dan *Statistical Reverberation*.
4. Hasil perhitungan dalam bentuk grafik statistik waktu dengung (*statistical reverberation*) dan hasil analisis simulasi RT dapat dibaca berupa teks.

Proses perhitungan dan analisis RT menggunakan program ECOTECH v.5.20 sebagai berikut:

1. Dengan model auditorium yang ada, dipilih keseluruhan zona dan pelingkup ruang yang akan masuk dalam proses analisis. Zona yang dipilih akan tampak jelas pada layar tampilan.
2. Dari *Control Panel* dan *Selection Information*, dipilih *Move Object (s) to Zone* dari *Selection Option* untuk menyatukan seluruh zona pelingkup ke dalam 1 (satu) zona. Dalam penelitian ini, penulis memilih zona "Auditorium" sebagai zona pemrosesan data akustik.
3. Dilakukan perhitungan volume (m^3) ruang yang akan dianalisis melalui *Main Menu*, *Calculate*, dan *Zone Volumes*.
4. Setelah volume (m^3) ruang auditorium diketahui, dilakukan proses perhitungan RT (*Reverberation Time*) melalui *Main Menu*, *Calculate* dan *Statistical Reverberation*.
5. Hasil akhir tampilan sebagai berikut: (a) *Selected Zone*, zona yang dipilih untuk proses analisis akustik, akan nampak volume keseluruhan ruang auditorium dimana pembacaan volume ruang yang akurat dengan cara menyatukan keseluruhan zona dalam 1 (satu) zona; (b) *Auditorium Seating*, perlu dimasukkan data kapasitas tempat duduk ruang auditorium, memilih bahan tempat duduk yang dipakai, dan tingkat pengguna ruang (*occupancy*); (c) *Calculation*, dipilih jenis pemrosesan untuk menentukan RT, di mana dalam penelitian ini menggunakan rumus Sabine karena α rata-rata adalah $< 0,20$; (d) *Recalculate* merupakan eksekusi simulasi RT yang final.

Eksekusi Simulasi Model 3D dan Analisis EDT

Analisis EDT (*Acoustic Response*) dapat dilakukan melalui perhitungan rata-rata panjang pancaran suara dan penyerapan material dalam ruang. Analisis ini penting dalam menentukan kisaran spasial EDT dalam auditorium. Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah:

1. Pelingkup ruang dipilih yang akan dianalisis EDT-nya, di mana tiap-tiap sisi pelingkup-

nya telah mempunyai data bahan dan zona yang tepat.

2. Jika eksperimen menggunakan bahan baru diluar bahan standar ECOTECT v5.20, bahan ini dapat di-input melalui *Material Library*.
3. Seluruh zona pelingkup harus disatukan dalam satu zona, karena pembacaan data dan analisis EDT hanya dapat dijalankan dalam satu zona manajemen (memungkinkan satu zona, dengan beragam jenis bahan yang digunakan).

Perhitungan dan analisis EDT dengan menggunakan program ECOTECT v.5.20 sebagai berikut:

1. Proses eksekusi memerlukan penyatuan zona untuk mencapai hasil yang akurat. Adapun proses yang dilakukan sama dengan perhitungan dan analisis untuk RT (langkah 1-3).
2. Dari *Control Panel* dan *Rays and Particles* dipilih 1 (satu) *speaker* yang akan dianalisis sebagai sumber suara, melalui *Source* di panel *Rays and Particles*, karena program ECOTECT v5.20 hanya mampu menganalisis dari 1 (satu) sumber bunyi (*speaker*) saja.
3. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan 2.000 pancaran dan 2 kali pemantulan (kemampuan maksimum 1.024 *reflection*). Eksekusi proses pembacaan pancaran dan pemantulan diperoleh melalui *Generate Rays*.
4. Proses perhitungan dan analisis EDT dilakukan dari *Main Menu*, *Calculate* dan *Acoustic Response*.
5. Hasil simulasi dan analisis berupa grafik *Statistical Response* dan hasil analisis EDT juga dapat dibaca dalam bentuk teks.

Hasil akhir eksekusi simulasi model 3D dan analisis EDT dapat ditampilkan dengan ketentuan sebagai berikut: (a) *Ray Calculation Method* dipilih *Existing Rays/Particles*; (b) *Calculation Settings*, untuk menentukan proses EDT pada kisaran frekuensi yang diinginkan, di mana dalam penelitian ini ditetapkan pada *mid frequency* 500 Hz; (c) *Recalculate* merupakan eksekusi simulasi EDT yang final.

Data Output

Hasil simulasi model 3D dan analisis ECOTECT v5.20 dapat ditampilkan dalam bentuk grafik statistikal dan dibaca dalam bentuk teks dan tabel. Kemampuan program ECOTECT v5.20 dalam melakukan simulasi dan analisis lingkungan akustik hanya terbatas dalam 2 (dua) hal. Pertama, Simulasi dan Analisis RT, menampilkan perhitungan dan informasi statistik RT untuk zona terpilih yang ditampilkan dalam batasan frekuensi dengan rangkaian oktaf utama yaitu 63Hz sampai dengan 16kHz. Kedua, Simulasi dan Analisis EDT, menampilkan perhitungan dan informasi statistik EDT dari tiap pancaran sebuah speaker (*rays*) yang disebar secara acak dalam ruang permodelan.

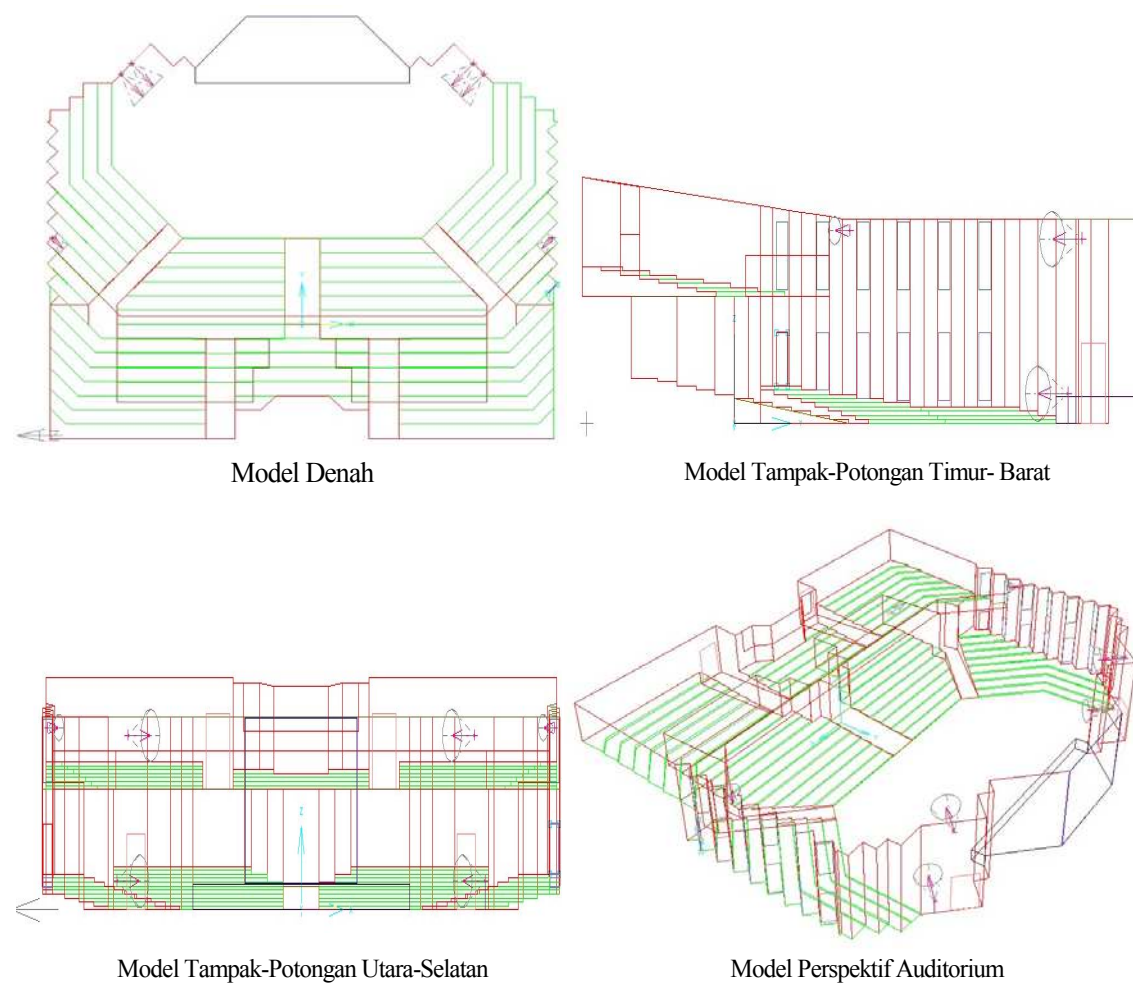
APLIKASI MODEL KOMPUTER

Sebelum melakukan analisis kinerja akustik pada model auditorium, perlu terlebih dahulu melakukan verifikasi untuk melihat sejauh mana kesesuaian antara hasil perhitungan matematis koefisien penyerapan bahan interior dan simulasi respon impuls ruang menggunakan program ECOTECT v5.20, terhadap hasil pengukuran di lapangan. Untuk verifikasi respon impuls ruang hanya mengambil parameter RT dan EDT, karena program tersebut hanya mampu menganalisis RT dan EDT serta menampilkan grafik *statistical reverberation time* dan *statistical response* saja (Marsh, 2003).

Untuk itu, dilakukan pembuatan model auditorium yang dikerjakan langsung pada program ECOTECT v5.20. dengan mengambil studi kasus auditorium multi-fungsi di Universitas Kristen Petra, Surabaya.

Pembuatan Model Auditorium

Dengan memasukkan data ukuran denah dan tampak-potongan yang diperoleh dari gambar bangunan studi kasus menggunakan program AutoCAD 2006, dapat dibuat sebuah model auditorium berupa denah, tampak-potongan dan perspektif pada program ECOTECT v5.20.



Gambar 1. Model Auditorium (Sumber: analisis penulis, 2007)

Penyederhanaan Model Auditorium

Penyederhanaan model tidak dapat dihindari dalam proses pembuatan model auditorium karena ketidakmampuan program tersebut dalam menampakkan kondisi aslinya (Rindel, 2002). Beberapa penyederhanaan model harus dilakukan pada elemen interior, terutama pada kolom dan plafon seperti terlihat pada Tabel 1.

Pemilihan Bahan Interior

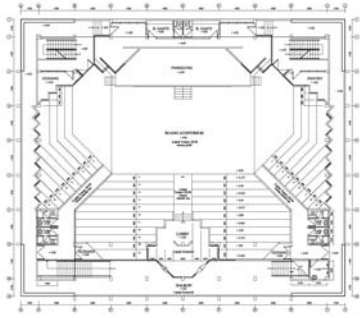
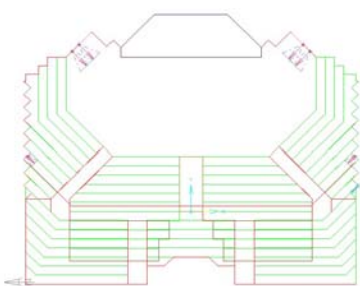

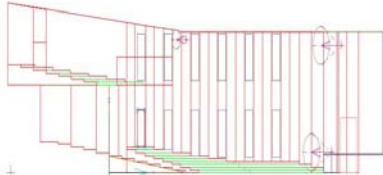
Tidak semua bahan pembentuk interior ruang auditorium UK. Petra tersedia dalam daftar sediaan *material library* ECOTECH v.5.20. Untuk keperluan simulasi perlu dilakukan pemilihan bahan-bahan interior dengan jenis dan kualitas sedekat mungkin dengan kondisi data lapangan (Rindel, 2000).

Terdapat beberapa bahan interior pada *material library* ECOTECH v5.20 yang dapat

dimasukkan ke dalam masing-masing zona permukaan bidang interior yang telah dibuat pada permodelan auditorium dengan cara mencari koefisien penyerapan (absorpsi) yang paling mendekati bahan sebenarnya di lapangan. Pemilihan bahan interior dan pendekatan koefisien penyerapan pada perhitungan RT menggunakan perhitungan matematis juga mengacu pada data *material library* yang paling mendekati dengan bahan-bahan yang ada di lapangan.

Material Library ECOTECH v5.20 menyajikan beberapa jenis bahan interior yang dilengkapi dengan detail ukuran dan komposisi bahan (*layer*) serta *acoustic data* yang menampilkan nilai koefisien penyerapan pada masing-masing frekuensi sepanjang 1 oktaf (63 Hz sampai dengan 16 kHz). Adapun bahan-bahan interior paling mendekati bahan di data lapangan yang diambil dari *material library* ECOTECH v.5.20 sebagai berikut:

Tabel 1. Penyederhanaan Permodelan

Kondisi di lapangan	Penyederhanaan Permodelan di ECOTECT v.5.20	Keterangan
Lantai	Tidak dilakukan penyederhanaan	--
Dinding, 6 buah kolom, pintu dan jendela (lantai 2 dan 3/balkon)	Permodelan tidak mampu menampakkan kolom. Untuk dinding, pintu, dan jendela tetap.	Kolom di sisi dinding utara dan selatan (simetri) sebanyak 6 buah ditiadakan.
 <p>Gambar denah dengan autoCAD 2006</p>	 <p>Gambar lt. 2 dan 3 nampak <i>overlapping</i></p>	
Plafon bertingkat-tingkat (10 cm/tingkat)	Plafon permodelan dibuat datar.	Plafond tidak bertingkat-tingkat tetapi dibuat dengan kemiringan 3° sesuai arah plafon di data lapangan
 <p>Kondisi data lapangan</p>	 <p>Model Tampak-Potongan Timur-Barat</p>	

Sumber: analisis penulis 2007

Tabel 2. Pemilihan Bahan Interior untuk Permodelan Auditorium

Elemen Interior Auditorium	Pendekatan Bahan Interior	α_{500}
Dinding 3 sisi (lt. 2 dan 3)	<i>Brick Plaster</i>	0,02
Pagar balkon	<i>Brick Plaster</i>	0,02
Dinding panggung (tertutup tirai)	<i>Drapery 14 oz/yd2</i>	0,49
Jendela kaca lt.2 (tertutup tirai)	<i>Drapery 14 oz/yd2</i>	0,49
Jendela kaca lt. 3 (double window)	<i>Double Glazed Aluminium Frame</i>	0,04
Jendela kaca R. Panel (lt. 3)	<i>Single Glazed Aluminium Frame</i>	0,03
Lantai keramik (lt 2 dan 3)	<i>Concrete Floor Tiles Suspended</i>	0,02
Lantai karpet tipis (lt. 2)	<i>Concrete Floor Carpeted Suspended</i>	0,23
Koridor Lantai keramik (lt. 3)	<i>Concrete Floor Tiles Suspended</i>	0,02
Lantai panggung kayu	<i>Timber Floor Suspended</i>	0,41
Pintu kaca (lt. 2 dan 3)	<i>Glass Sliding Door</i>	0,18
Plafon bawah balkon dilapis gypsum	<i>Suspended Concrete Ceiling</i>	0,02
Plafon atas dilapis multiplek	<i>Plaster Insulation Suspended</i>	0,05
Tirai pada pintu masuk	<i>Drapery 14 oz/yd2</i>	0,49
Kursi Penonton	<i>Hardback</i>	0,26

Sumber: *Material Library* ECOTECT v5.20 dan http://saecollege.de/reference_material.html

Verifikasi Hasil Perhitungan Matematis Koefisien Penyerapan Ruang

Sebelum melakukan verifikasi hasil perhitungan koefisien penyerapan ruang rata-rata melalui perhitungan matematis, perlu terlebih dahulu melihat hasil pengukuran ke-12 titik ukur RT dan EDT di lapangan, sebagai berikut:

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Respon Impuls Ruang Auditorium

Parameter Objektif	Hasil Pengukuran Respon Impuls Auditorium UK. Petra	
RT15 (detik)	<i>Average</i>	1.715
	<i>Stdev</i>	0.166
RT20 (detik)	<i>Average</i>	1.694
	<i>Stdev</i>	0.122
RT30 (detik)	<i>Average</i>	1.693
	<i>Stdev</i>	0.182
EDT (detik)	<i>Average</i>	1.644
	<i>Stdev</i>	0.186

Sumber: penulis, hasil pengukuran tgl. 18 November 2006

Tabel 3 memperlihatkan rata-rata hasil

pengukuran RT dalam kondisi auditorium kosong namun seluruh peralatan mekanikal-elektikal dinyalakan agar sesuai dengan kondisi ketika ada kegiatan dan diperoleh RT sebesar 1,70 detik. Dengan menggunakan rumus Sabine (Sabine, 1993) dapat diperoleh koefisien penyerapan rata-rata (α) di lapangan sebesar 0,141 (persyaratan menggunakan rumus Sabine jika koefisien penyerapan ruang $\alpha < 0,2$).

$$RT = \frac{0,161V}{A}$$

$$1,70 \text{ detik} = \frac{0,161 \times 4.002,34}{A}$$

$$A = \frac{0,161 \times 4.002,34}{1,70}$$

$$A = 379,045 \text{ sabin m}^2$$

$$A = S \times \alpha$$

$$379,045 = 2.685,65 \times \alpha$$

$$\alpha \text{ rata-rata di lapangan} = 0,141$$

Untuk mendapatkan koefisien penyerapan pada masing-masing bahan interior maka dilakukan perhitungan matematis RT dengan mengambil acuan koefisien penyerapan rata-rata hasil pengukuran di lapangan yaitu 0,141. Berdasarkan hasil perhitungan pada permodelan diperoleh volume ruang 4002,34 m³ dan luasan total bidang permukaan elemen interior sebesar 2685,65 m².

Tabel 4. Data Luasan Elemen Interior dan Koefisien Penyerapan Bahan Terpilih

Elemen Interior Auditorium	Pendekatan Bahan Pelapis Elemen Interior	Taksiran Luasan S (m ²)	Koef. Abs. α_{500}	Koef. Abs. α_{1000}
Dinding 3 sisi (lt.2 & 3, Pagar balkon)	<i>Brick Plaster</i>	735,78	0,02	0,02
Dinding panggung (tertutup tirai)	<i>Drapery 14 oz/yd2</i>	37,48	0,49	0,75
Jendela kaca lt.2 (tertutup tirai)	<i>Drapery 14 oz/yd2</i>	17,96	0,49	0,75
Jendela kaca lt. 3 (<i>double window</i>)	<i>Double Glazed Aluminium Frame</i>	19,20	0,04	0,03
Jendela kaca R. Panel	<i>Single Glazed Aluminium Frame</i>	11,70	0,03	0,01
Lantai keramik (lt. 2 dan lt. 3)	<i>Concrete Floor Tiles Suspended</i>	545,35	0,02	0,03
Lantai karpet (lt. 2)	<i>Concrete F. Carpeted Suspended</i>	242,82	0,23	0,41
Koridor Lantai keramik (lt. 3)	<i>Concrete Floor Tiles Suspended</i>	119,47	0,02	0,03
Lantai panggung kayu	<i>Timber Floor Suspended</i>	58,83	0,41	0,49
Pintu kaca lt. 2 dan 3	<i>Glass Sliding Door</i>	14,88	0,18	0,12
Plafon bawah balkon dilapis gypsum	<i>Suspended Concrete Ceiling</i>	125,65	0,02	0,03
Plafon atas dilapis multiplek	<i>Plaster Insulation Suspended</i>	749,67	0,05	0,03
Tirai pada pintu masuk	<i>Drapery 14 Oz/yd2</i>	6,86	0,49	0,75
Kursi Penonton	<i>Hard-backed</i>	745,35	0,26	0,36
Total Luasan: 2.685,65				

Sumber: *Material Library* ECOTECT v5.20 dan http://saecollege.de/reference_material.html

Tabel 4 menunjukkan data luasan masing-masing elemen interior auditorium UK. Petra yang diperoleh dari pengukuran model auditorium menggunakan program ECOTECH v.5.20 melalui pendekatan bahan pelapis elemen interior yang paling sesuai koefisien absorpsinya dengan kondisi yang ada di lapangan.

Pada Tabel 5 perhitungan matematis dengan meng-input data bahan, luasan bahan, dan koefisien serapan bahan pada elemen interior menghasilkan koefisien serapan akustik rata-rata

(α rerata) sebesar 0,140. Hal ini menunjukkan bahwa secara keseluruhan bahan-bahan interior yang dipergunakan, utamanya pada bidang-bidang terluas seperti lantai, dinding, dan plafon cenderung bersifat reflektif. Perbandingan koefisien penyerapan ruang rata-rata hasil perhitungan matematis terhadap hasil penelitian di lapangan sudah menunjukkan besaran yang sama yakni **0,14** sehingga nilai koefisien penyerapan pada masing-masing bidang permukaan elemen interior terpilih (Tabel 4) dapat dipergunakan

Tabel 5. Hasil Perhitungan Matematis RT

ANALISIS PERHITUNGAN RT <i>EXISTING</i>						
Deskripsi Elemen Interior Auditorium	Taksiran Luas Permukaan (m ²)	$\alpha_{\text{mid-band}}$		$S\alpha$ (m ²)		Keterangan
		α_{500}	α_{1000}	$S\alpha_{500}$	$S\alpha_{1000}$	
Dinding Utara-Selatan	226,89	0,02	0,02	4,54	4,54	<i>Brick Plaster</i>
Dinding Barat	263,47	0,02	0,02	5,27	5,27	<i>Brick Plaster</i>
Dinding Timur	204,15	0,02	0,02	4,08	4,08	<i>Brick Plaster</i>
Pagar Balkon	41,26	0,02	0,02	0,83	0,83	<i>Brick Plaster</i>
Dinding panggung tertutup tirai	37,48	0,49	0,75	18,37	28,11	<i>Drapery 14 oz/fyd2, pleated 50%</i>
Jendela kaca lt. 2 tertutup tirai	17,96	0,49	0,75	8,80	13,47	<i>Drapery 14 oz/fyd2, pleated 50%</i>
Jendela kaca lt 3 (<i>double window</i>)	19,20	0,04	0,03	0,77	0,58	<i>Double Glazed Aluminium Frame</i>
Jendela kaca R. Panel (lt. 3)	11,70	0,03	0,01	0,35	0,12	<i>Single Glazed Aluminium Frame</i>
Lantai keramik (lt. 2 dan 3)	545,35	0,02	0,03	10,91	16,36	<i>Concrete Floor Tiles Suspended</i>
Lantai karpet (lt. 2)	242,82	0,23	0,41	55,85	99,56	<i>Concrete Floor Carpeted Suspended</i>
Koridor lantai keramik (lt. 3)	119,47	0,02	0,03	2,39	3,58	<i>Concrete Floor Tiles Suspended</i>
Lantai panggung kayu	58,83	0,41	0,49	24,12	28,83	<i>Timber Floor Suspended</i>
Pintu kaca (lt 2 & 3)	14,88	0,18	0,12	2,68	1,79	<i>Glass Sliding Door</i>
Plafon bawah balkon dilapis gypsum	125,65	0,02	0,03	2,51	3,77	<i>Suspended Concrete Ceiling</i>
Plafon atas dilapis multiplek	749,67	0,05	0,03	37,48	22,49	<i>Plaster Insulation Suspended</i>
Tirai di Pintu Masuk	6,86	0,49	0,75	3,36	5,15	<i>Drapery 14 oz/fyd2, pleated 50%</i>
Kursi penonton	745,35	0,26	0,36	193,79	268,33	<i>Hard-backed seat</i>
	$\Sigma S =$ 2685,65			$\Sigma S\alpha =$ 376,09	506,84	
Volume internal = V (m ³) =	4002,34					
Koef. serapan akustik rerata, $\alpha_{\text{rerata}} = \Sigma S\alpha / \Sigma S =$	0,140			0,189		
Waktu dengung optimum = RT_{opt} (detik) =				0,98		

Sumber: analisis penulis, 2007

sebagai landasan untuk melakukan verifikasi hasil simulasi dan analisis kinerja akustik pada model auditorium.

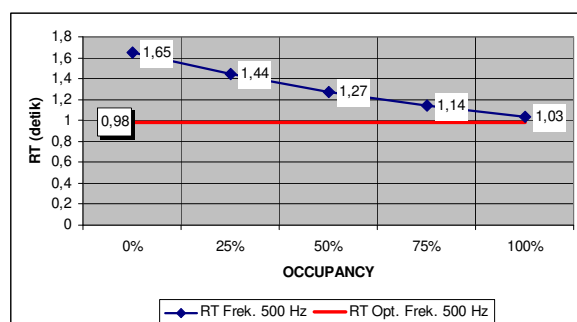
HASIL SIMULASI DAN ANALISIS KINERJA AKUSTIK

a. Waktu Dengung (RT)

Simulasi RT kondisi lapangan dilakukan dengan memasukkan semua data material terpilih seperti tercantum dalam perhitungan matematis ke dalam permodelan, kecuali jenis kursi penonton (*hard-backed*) dan jumlah penonton yang harus dimasukkan langsung pada tampilan grafik *statistical reverberation*.

Terdapat perbedaan cara *input* data material untuk perhitungan matematis dengan program ECOTECT v5.20 karena program ini tidak dapat membaca dan menghitung 2 (dua) *layer* pada model sekaligus (*layer* lantai dan *layer* kursi) tetapi hanya bisa tiap 1 (satu) *layer*. Dengan demikian, *input* data material elemen interior lantai keramik (lantai 2 dan 3), yang berisi kursi penonton (*hard-backed*) di atasnya, merupakan gabungan koefisien penyerapan antara bahan lantai *concrete floor tiles suspended* dan kursi penonton, sedangkan pada lantai karpet (lantai 2) yang berisi kursi penonton juga merupakan gabungan koefisien penyerapan bahan *concrete floor carpeted suspended* dengan kursi penonton. Hal ini harus dilakukan, karena *input* jenis tempat duduk penonton (*hard-backed*) pada grafik statistik waktu dengung tidak memasukkan besaran koefisien penyerapan, melainkan sudah tersedia pada program ECOTECT v5.20

Adapun rekapitulasi hasil simulasi RT eksisting dapat dirangkum menjadi grafik berikut ini:



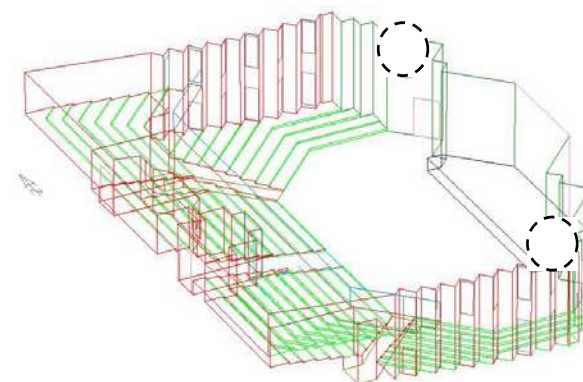
Gambar 2. Hasil Rekapitulasi Simulasi RT data lapangan untuk 5 (lima) macam *occupancy* (Sumber: analisis penulis, 2007)

Pada gambar 2 terlihat bahwa jika kondisi gedung kosong (*occupancy* 0%) maka RT cukup tinggi yaitu sebesar 1,65 detik, jika kondisi gedung terisi 50% maka RT turun menjadi 1,27 detik, dan bila terisi penuh maka RT menjadi 1,03 detik. Dengan bertambahnya jumlah penonton di dalam gedung maka RT auditorium semakin mendekati RT optimum 0,98 detik. Hal ini disebabkan meningkatnya faktor koefisien penyerapan dari penonton sehingga RT ikut menurun.

b. Early Decay Time (EDT)

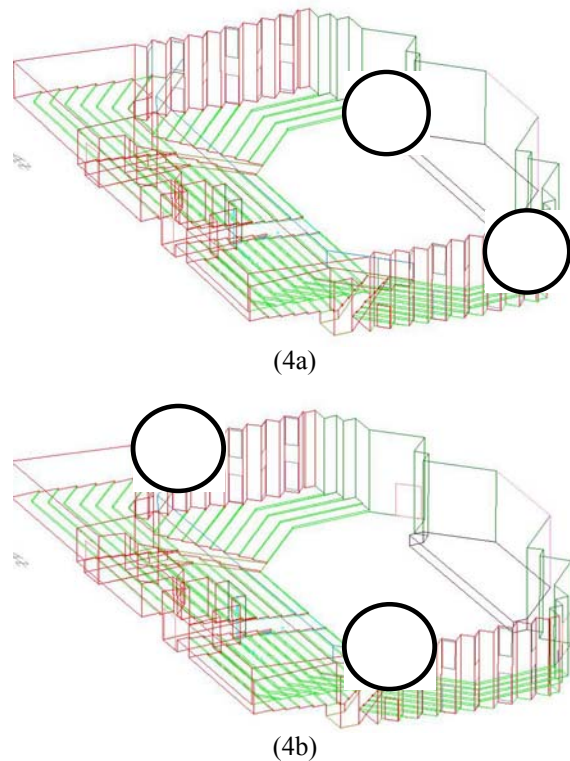
Selain analisis RT, program ECOTECT v5.20 juga mampu melakukan perhitungan dan simulasi EDT yang dapat dianalisis pada masing-masing *speaker*. Pemasukan data material terpilih dan menentukan (hanya) satu *speaker* pada permodelan diperoleh grafik *statistical response*.

Pada auditorium multi-fungsi di Universitas Kristen Petra terdapat 6 (enam) buah *speaker* yang diletakkan secara simetri yaitu 2 (dua) buah *speaker* depan atas, 2 (dua) buah *speaker* depan bawah dan 2 (dua) buah *speaker* samping atas. Untuk memperoleh besaran EDT yang paling mendekati *existing* (hasil pengukuran di lapangan 1,644 detik), maka terhadap permodelan yang ada perlu dilakukan beberapa kali eksekusi simulasi pada masing-masing *speaker* dengan *mid frequency* (500 Hz) dan menentukan jumlah *rays* serta *reflection* pada *relative sound levels*. Hal ini perlu dilakukan untuk mendapatkan jumlah yang tepat (*rays* dan *reflection*) pada panel kontrol karena keduanya akan dipergunakan sebagai dasar eksperimen selanjutnya.



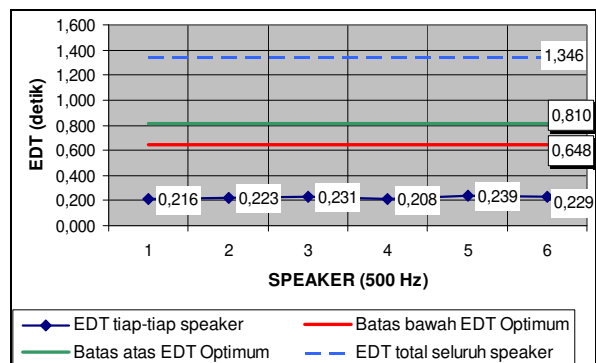
Gambar 3. Peletakan *speaker* sisi depan atas (simetri) (sumber: ECOTECT v5.20)

Perhitungan dan simulasi EDT dilakukan dengan menempatkan *speaker* depan atas pada permodelan untuk *mid frequency* 500 Hz, dilanjutkan dengan *speaker* depan bawah, dan *speaker* samping atas.



Gambar 4. Peletakan *speaker* pada sisi depan bawah (4a) dan sisi samping atas (4b) (sumber: ECOTECT v5.20)

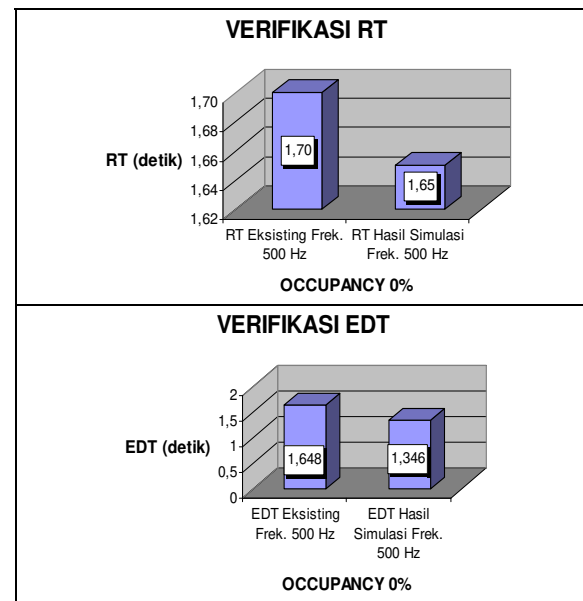
Besaran EDT_{mid} eksisting diperoleh dengan menggunakan 2.000 *rays* dan 16 *reflection* (standar ECOTECT v5.20 untuk *rays* tidak terbatas dan umumnya 8-32 *reflection*) pada *relative sound levels*. Adapun rekapitulasi hasil simulasi EDT eksisting dapat dirangkum dalam grafik berikut ini:



Gambar 5. Hasil Rekapitulasi Simulasi EDT di lapangan untuk 6 (enam) macam *speaker* (sumber: analisis penulis, 2007)

Hasil rekapitulasi simulasi EDT data lapangan untuk keenam *speaker* memperlihatkan bahwa EDT total seluruh *speaker* sebesar 1,346 detik berada di luar batas EDT optimum 0,648 - 0,810. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi bahan-bahan interior auditorium UK. Petra cenderung bersifat reflektif daripada absorben.

Jika membandingkan nilai hasil perhitungan matematis dan simulasi kinerja akustik yang dilakukan dalam kondisi auditorium kosong atau *occupancy* 0% (identik dengan pengukuran di lapangan) menggunakan program ECOTECT v5.20 terhadap hasil penelitian di lapangan maka terlihat adanya sedikit selisih.



Gambar 6. Perbandingan rekapitulasi hasil pengukuran RT sebesar 2,94% dan EDT sebesar 18,13% (Sumber: analisis penulis, 2007)

Adanya sedikit perbedaan (selisih) pada besaran nilai RT dan EDT dimungkinkan antara lain:

1. Penyederhanaan dalam proses pembuatan permodelan yang harus dilakukan karena keterbatasan program tersebut dalam membaca gambar yang lebih kompleks, sehingga model yang digunakan tidak sama (identik) lagi dengan bentuk di lapangan. Peniadaan gambar kolom dan penyederhanaan bentuk plafon menyebabkan adanya sedikit perbedaan dalam perhitungan luasan, volume, dan total koefisien serap model auditorium terhadap hasil pengukuran di lapangan. Namun

perbedaan tersebut tidak memberikan pengaruh yang signifikan dalam perhitungan RT karena luasan kolom yang ditiadakan dan bentuk plafon yang disederhanakan tidak signifikan berpengaruh pada koefisien serap ruang dibandingkan dengan luasan lantai, dinding dan plafon auditorium keseluruhan.

2. Perbedaan variabilitas pemakaian bahan-bahan interior eksisting yang diukur langsung di lapangan dengan pemilihan bahan-bahan pada permodelan yang diambil dari *material library* ECOTECT v5.20 juga ikut berperan dalam selisih perhitungan total koefisien serap ruang, walaupun telah diusahakan paling mendekati bahan eksisting. Koefisien penyerapan bahan kursi untuk model berlaku untuk seluruh kursi di ruang auditorium sehingga tidak dapat dibagi per zona dan harus diinput langsung pada grafik statistik waktu dengung.
3. Grafik *statistical respons* diperoleh dengan memasukkan data material terpilih dan menentukan (hanya) satu *speaker* pada permodelan. Penempatan *speaker* pada permodelan hanya mampu disimulasikan satu persatu (tidak bisa serentak untuk beberapa *speaker*), sehingga hasil perhitungan EDT menjadi kurang tepat, cenderung lebih rendah dengan selisih relatif tinggi 18,13% (>5%) dibandingkan selisih hasil perhitungan RT sebesar 2,94% (<5%).
4. Pada permodelan, peletakan *speaker* tidak bisa digantung seperti pada auditorium eksisting, akibatnya tidak bersifat *omni-directional* (diasumsikan berbentuk bola) tetapi berbentuk sumber suara titik yang menempel di dinding (diasumsikan berbentuk ½ bola). Hal ini menyebabkan perhitungan EDT yang dihasilkan program ECOTECT v5.20 pasti lebih kecil daripada hasil pengukuran di lapangan, karena pantulan yang dapat diserap oleh elemen interior permodelan hanya sebagian saja (tidak *diffuse*), akibat dinding di belakang *speaker* permodelan tidak dikenai suara langsung (*direct sound*) dan kehilangan energi *direct*.

SIMPULAN

- Hasil simulasi dengan program ECOTECT v.5.20 memperlihatkan hasil kalkulasi RT paling mendekati hasil pengukuran lapangan dengan penyimpangan sebesar 2,94% (<5%) sehingga menunjukkan hasil yang sangat signifikan dan valid untuk digunakan dalam simulasi eksperimen berikutnya.
- Secara keseluruhan, hasil perhitungan dan analisis kinerja akustik sudah menunjukkan kesimpulan yang sama dengan hasil pengukuran di lapangan, di mana kondisi bahan-bahan interior yang dipergunakan cenderung bersifat reflektif dan besaran koefisien penyerapan bahan cenderung kecil sehingga menyebabkan nilai RT dan EDT lebih tinggi daripada nilai optimumnya.
- Program ECOTECT v.5.20 dengan permodelan 3D mampu membantu dalam perhitungan, simulasi, dan analisis kinerja akustik awal pada sebuah auditorium, utamanya dalam melakukan simulasi dengan menggunakan bermacam-macam bahan interior. Untuk bahan interior *existing*, utamanya pada bidang-bidang permukaan terluas yang mempunyai koefisien penyerapan rendah perlu mendapat perhatian ketika hendak melaksanakan pekerjaan simulasi optimasi akustik selanjutnya.

REFERENSI

- Choi, Y.J. and Cabrera, D. 2005. Some Current Issues in Computer Modelling for Room Acoustics Design. *Acoustic Australia 2005*, Volume 33, pp. 19-24.
- Lam, Y.W. 1996. The Dependence of Diffusion Parameter in Room Acoustics Prediction Model on Auditorium Sizes and Shapes. *The Journal of The Acoustical Society of America*, Oct. 1996, Volume 124, pp. 2193-2203.
- Marsh, Andrew. 2003. *Ecotect v.5.20*, Cardiff: Welsh School of Architecture at Cardiff University.

- Rindel, J.H. 2000. The Use of Computer Modelling in Room Acoustics. *Journal of Vibroengineering* 2000, No. 3 (4), pp. 219-224.
- Rindel, J.H. 2002. Modelling in Auditorium Acoustics. *Revista de Acustica* 2002, Volume 33, No. 3-4, pp. 31-35.
- Sabine, W.C. 1993. Design for Good Acoustics. *Collected Papers on Acoustics*, Trade Cloth ISBN 0-9321 Peninsula Publishing, Los Altos, U.S.
- http://saecollege.de/reference_material.html
diakses tgl. 18 Februari 2007