

**UJI KUALIFIKASI FASILITAS PENGUKURAN ABSORPSI BUNYI DI RUANG DENGUNG
MULTIGUNA PUSAT LITBANG PERMUKIMAN
Qualification Test Of Sound Absorption Measurement Facility
In Multiuse Reverberation Room**

Fefen Suhedi

Pusat Litbang Permukiman, Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum
Jl. Panyawungan, Cileunyi Wetan, Kabupaten Bandung 40393
E-mail : fefen.s@puskim.pu.go.id

Diterima : 03 Februari 2014; Disetujui : 28 Maret 2014

Abstrak

Makalah ini memaparkan hasil evaluasi fasilitas ruang dengung multi guna di Pusat Litbang Permukiman yang digunakan sebagai ruang uji insulasi bunyi dan uji absorpsi bunyi. Ruang dengung berbentuk segi lima tidak beraturan dengan volume 135 m³ dan luas 154 m². Terdapat bukaan seluas 11,25 m² (3,75 m x 3 m) pada salah satu sisi yang dapat ditutup dengan bahan beton berongga setebal 100 mm yang dengan acian tebal 5 mm pada kedua sisinya. Evaluasi ruang dengung dilaksanakan terhadap volume, bentuk, dimensi, koefisien penyerapan bunyi permukaan, serta variasi waktu peluruhan bunyi terhadap posisi mikrofon dan posisi sampel. Variasi laju peluruhan bunyi terhadap posisi mikrofon diperoleh simpangan baku relatif untuk tiap-tiap frekuensi pada rentang 100 Hz – 5000 Hz) memenuhi persyaratan ASTM C423 kecuali frekuensi 100 Hz, sedangkan variasi terhadap posisi sampel diperoleh simpangan baku relatif untuk frekuensi 100 Hz, 160 Hz, 200 Hz, dan 250 Hz melebihi nilai maksimum yang disyaratkan. Hasil pengukuran absorpsi bunyi terhadap sampel rockwool (densiti 100 kg/m³, tebal 50 mm) diperoleh koefisien absorpsi dengan rentang ketidakpastian 0,11 untuk frekuensi 100 Hz dan tidak lebih dari 0,08 untuk frekuensi lainnya pada tingkat kepercayaan 95%.

Kata Kunci : *Laboratorium akustik, peluruhan bunyi, absorpsi bunyi, waktu dengung, ruang dengung*

Abstract

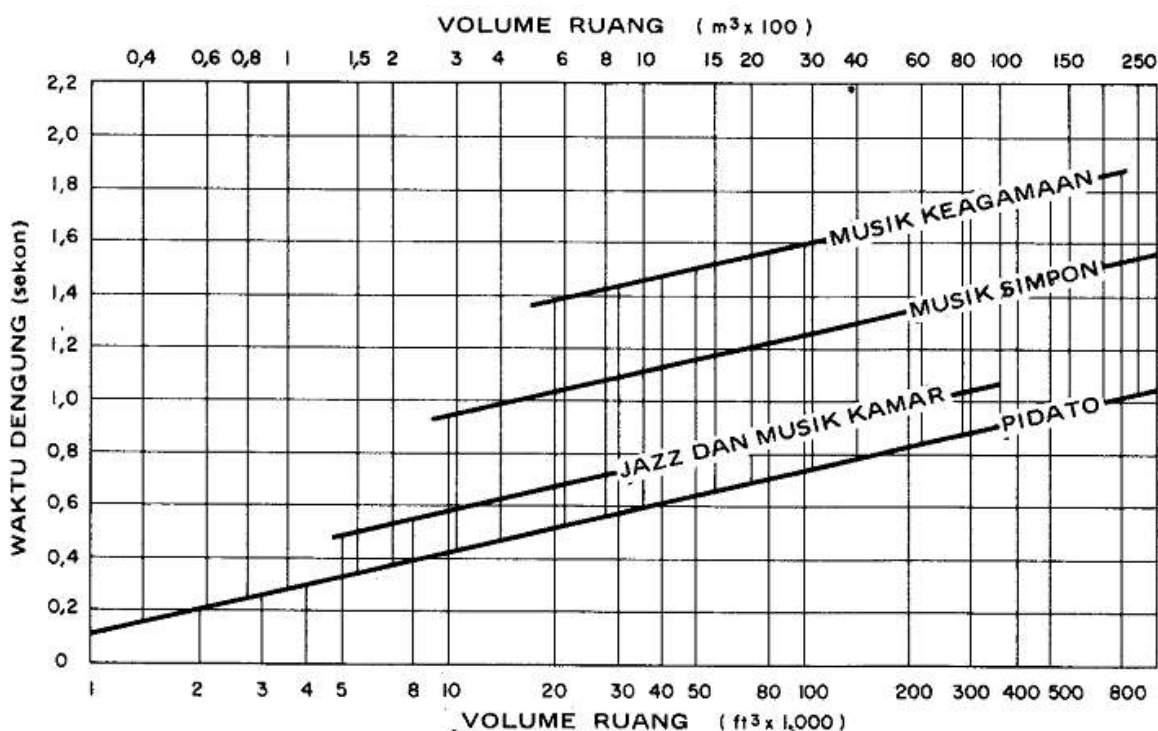
This paper presents the evaluation result of the facility in the multiuse reverberation room in PuslitbangPermukiman which is used as sound insulation and absorption. The irregular pentagonal shaped room has a volume of 135 m³ and an area of 154 m². There is and an opening of 11,25 m² (3,75 m x 3 m) on one side which can be filled with 100 mm thick hollow concrete block and 5 mm thick smoothly plastered at both side. The evaluation is done on volume, shape, dimension, coefficient, surface sound absorption, and variation of decay rate of microphone and sample position. Variation of decay rate of the microphone position resulting a relative standard deviation for each frequency ranged from 100 Hz – 5000 Hz which in accordance with the ASTM C423 requirements except at 100 Hz, while variation of decay rate of the sample position resulting a relative standard deviation at 100 Hz, 160 Hz, 200 Hz, and 250 Hz which is above the maximum value required. The test of sound absorption measurement of rockwool sample (with the density of 100 kg/m³, 50 mm thick) resulting absorption coefficient with the uncertainty range of 0,11 at 100 Hz and not more than 0,08 at other frequencies for 95% confidence level.

Keywords : *Acoustic laboratory, sound absorption, decay rate, reverberation time, reverberation room*

PENDAHULUAN

Salah satu parameter yang menentukan kualitas akustik sebuah ruangan adalah waktu dengung (Errede 2013, Kahle 2013, Kuttruff 2009, Keränen 2008, Svensson 2008). SNI 03-6386-2000 memberikan pedoman waktu dengung yang direkomendasikan untuk berbagai fungsi ruang. Waktu dengung yang tinggi akan mengakibatkan suara langsung dan suara pantulan akan bertahan

lama berada di udara sehingga saling tumpang-tindih menimbulkan ketidakjelasan suara yang didengar. Waktu dengung yang optimum untuk berbagai fungsi ruangan dan volume ruangan diperlihatkan pada Gambar 1. Berdasarkan Gambar 1 diperlihatkan bahwa untuk ruangan dengan volume 10.000 ft³ (=283 m³) yang difungsikan untuk aktifitas pidato waktu dengung yang optimum adalah sekitar 0,4 detik.



Sumber : Doelle 1990

Gambar 1 Waktu Dengung Optimum pada Frekuensi 500 Hz sampai 1000 Hz

Waktu dengung sebuah ruangan dipengaruhi oleh tingkat penyerapan (absorpsi) bunyi ruangan tersebut yang ditentukan oleh sifat penyerapan bunyi material pelapis permukaannya. Karakteristik penyerapan bunyi suatu material dapat diperoleh melalui pengujian di laboratorium sesuai ISO 354 atau ASTM C423.

Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman (Pusat Litbang Permukiman) Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum telah mengembangkan sebuah fasilitas ruang dengung multi guna yang digunakan untuk pengujian insulasi bunyi sekaligus pengujian penyerapan bunyi. Fasilitas ruang dengung multi guna ini diharapkan dapat mendukung pesatnya pengembangan material-material baru yang digunakan dalam dunia konstruksi. Pengujian kinerja bahan-bahan baru terkait dengan pemenuhan persyaratan kemampuan insulasi bunyi dan penyerapan bunyi dapat dilaksanakan memanfaatkan fasilitas ruang dengung multi guna ini.

Ruang dengung yang digunakan untuk pengukuran penyerapan bunyi harus memenuhi persyaratan-persyaratan yang ditentukan dalam standar. Apakah ruang dengung pada ruang dengung multiguna Pusat Litbang Permukiman memenuhi persyaratan standar sebagai ruang dengung dan dapat digunakan untuk mengukur penyerapan bunyi suatu bahan penyerap bunyi? Tulisan ini memaparkan hasil karakterisasi atas ruang

dengung multiguna Pusat Litbang Permukiman sebagai ruang uji absorpsi bunyi sesuai persyaratan ASTM C423 *Standard test method for sound absorption and sound absorption coefficients by the reverberation room method.*

Pengukuran Absorpsi Bunyi Metode Ruang Dengung

Ruang dengung adalah sebuah ruangan yang cukup besar (>10.000 ft³) dengan seluruh permukaan interior bersifat reflektif ($\alpha < 0,05$ pada 125 Hz sampai 4000 Hz) (Egan, 2007). Ramakrishnan (2008) menyimpulkan bahwa karakteristik utama sebuah ruang dengung adalah volume yang cukup, bentuk yang sesuai atau adanya diffuser atau kedua-duanya, penyerapan bunyi yang rendah pada rentang frekuensi yang ditinjau, dan bising latar belakang yang rendah.

Sebuah ruang dengung dapat digunakan untuk mengukur efisiensi penyerapan bunyi suatu material (sesuai metode, misalnya, ASTM C423), *sound power level* yang ditimbulkan suatu peralatan (ANSI S1.21, ASHRAE 36), dan dapat pula digunakan sebagai ruang sumber atau ruang penerima pada uji transmisi bunyi (ASTM E90) dan uji *impact noise* (ASTM E492).

Metode yang dikenal untuk mengukur tingkat penyerapan bunyi suatu material adalah metode ruang dengung dan metode tabung impedansi. Metode ruang dengung dianggap lebih baik daripada metode tabung impedansi karena sudah memperhitungkan arah bunyi yang datang secara

acak dan konfigurasi pemasangan material penyerap sebagaimana pada pekerjaan sesungguhnya (Doelle 1990).

Suatu gelombang bunyi yang mengenai sebuah permukaan akan dipantulkan, diserap, dan diteruskan. Suatu sumber bunyi di dalam ruangan, apabila dihentikan maka perlu sekian waktu untuk berlalu sebelum bunyi hilang (meluruh) dan tidak dapat didengar lagi. Bunyi yang berkepanjangan sebagai akibat pemantulan yang terus-menerus dalam ruang tertutup setelah sumber bunyi dihentikan disebut dengung (Doelle 1990).

Prinsip pengukuran penyerapan bunyi metode ruang dengung adalah dengan membunyikan sumber bunyi sebagai sinyal uji, yang mengandung seluruh rentang frekuensi yang ditinjau, dalam waktu yang cukup kemudian bunyi dihentikan. Setelah sumber bunyi dihentikan, tekanan bunyi dalam ruang akan meluruh. Besarnya laju peluruhan pada setiap frekuensi akan diukur. Tingkat penyerapan bunyi ruangan dan isinya kemudian dihitung dengan mengasumsikan bahwa tingkat tekanan bunyi dalam ruangan adalah merata (*diffuse*) dan tidak ada tambahan energi lain yang masuk selama peluruhan. Penyerapan bunyi dihitung sesuai formula Sabine pada persamaan (1) (ASTM C423).

$$A = 0,9210 (Vd/c) \tag{1}$$

dengan A adalah absorpsi bunyi dinyatakan dalam m², V adalah volume ruang dengung dalam m³, d adalah laju peluruhan bunyi dalam dB/detik, dan c adalah laju perambatan bunyi di udara dalam m/detik ($c=20,047\sqrt{273,15 + T}$ m/detik, dimana T adalah suhu udara dalam Celcius).

Formula Sabine juga dinyatakan dalam bentuk yang seperti pada persamaan (2) seperti dalam ISO 354. ISO 354 menghitung penyerapan sebagai fungsi dari volume ruangan dan waktu dengung serta kecepatan perambatan suara di udara.

$$A = 55,3V/(c T_R) \tag{2}$$

dengan T_R adalah waktu dengung dinyatakan dalam detik. Substitusi A pada persamaan (2) ke persamaan (1) diperoleh relasi (3) sebagai berikut :

$$d = 60/T_R \tag{3}$$

Persyaratan Ruang Dengung ASTM C423

Pengukuran penyerapan bunyi suatu bahan sangat tergantung dengan sifat fisik ruangan pengukuran. Salah satu standar uji untuk pengukuran laboratorium penyerapan bunyi adalah ASTM C423. ASTM C423 memberikan batasan-batasan persyaratan yang harus dipenuhi oleh sebuah ruangan yang dijadikan sebagai laboratorium pengukuran penyerapan bunyi sebagai berikut :

- a. Volume ruangan tidak boleh kurang dari 125 m³ dan dianjurkan lebih dari 200 m³. Ukuran ruangan tidak boleh sama atau rasio ukuran terpanjang dan terpendek tidak boleh lebih dari 2:1.
- b. Koefisien penyerapan bunyi permukaan ruangan pada setiap frekuensi tidak boleh lebih dari 0,05.
- c. Medan bunyi di dalam ruangan harus merata (*diffuse*). Tingkat kerataan medan bunyi diukur sesuai prosedur dalam Annex A3 dan memenuhi nilai variasi laju peluruhan yang disyaratkan (lihat Tabel 1). Simpangan baku peluruhan bunyi terhadap posisi mikrofon dihitung dengan persamaan (4), sedangkan simpangan baku peluruhan bunyi terhadap posisi sampel dihitung dengan persamaan (5).

$$s_M = \left(\frac{1}{N_M - 1} \sum_{i=1}^{N_M} (d_{Mi} - \langle d_M \rangle)^2 \right)^{1/2} \tag{4}$$

$$s_S = \left(\frac{1}{N_S - 1} \sum_{i=1}^{N_S} (d_{Si} - \langle d_S \rangle)^2 \right)^{1/2} \tag{5}$$

dimana :

s_M = simpangan baku laju peluruhan bunyi terhadap posisi mikrofon

s_S = simpangan baku laju peluruhan bunyi terhadap posisi sampel

N_M = jumlah posisi mikrofon

N_S = jumlah posisi sampel

d_{Mi} = laju peluruhan bunyi pada posisi mikrofon ke-i

d_{Si} = laju peluruhan bunyi pada posisi mikrofon ke-i

<d_M> = rata-rata laju peluruhan bunyi pada seluruh posisi mikrofon

<d_S> = rata-rata laju peluruhan bunyi pada seluruh posisi sampel

Tabel 1 Nilai Maksimum Variasi Laju Peluruhan terhadap Posisi Mikrofon dan Posisi Sampel

Frekuensi Tengah Pita 1/3 Oktaf (Hz)	s _M / <d _M >	s _S / <d _S >
100	0,11	0,07
125	0,07	0,04
160	0,04	0,04
200	0,03	0,04
250	0,03	0,03
315	0,03	0,03
400	0,03	0,03
500	0,02	0,02
630	0,02	0,02
800	0,02	0,02
1000	0,02	0,02
1250	0,02	0,02
1600	0,02	0,02
2000	0,02	0,02
2500	0,02	0,02
3150	0,02	0,02
4000	0,02	0,02
5000	0,02	0,02

Sumber : ASTM C423

Meskipun ruang uji sudah memenuhi standar, namun koefisien penyerapan bunyi bahan yang diukur dalam ruang dengung tidak boleh dianggap sebagai konstanta bahan karena ia tergantung pada ukuran contoh, posisi dan distribusi dalam ruang, cara pemasangannya, dan karakteristik fisik ruang itu sendiri. Oleh karena itu, nilai-nilai koefisien penyerapan bunyi yang diukur di laboratorium yang berbeda harus dibandingkan dengan hati-hati (Doelle 1990).

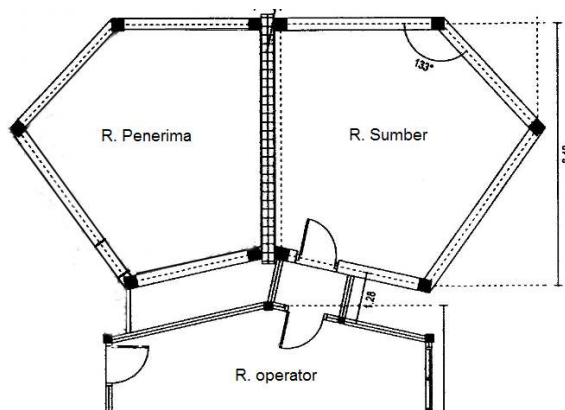
METODE

Ruang Dengung Multiguna Pusat Litbang Permukiman

Pusat Litbang Permukiman telah mengembangkan sebuah fasilitas uji berupa dua buah ruang dengung yang digunakan untuk pengujian insulasi bunyi. Fasilitas uji terdiri dari dua buah ruang

dengung, salah satu ruang difungsikan sebagai ruang sumber dan yang lain sebagai ruang penerima (lihat Gambar 2). Ruang sumber dan ruang penerima dipisahkan oleh sebuah bukaan berukuran panjang 3,75 m x tinggi 3,00 m. Ruang dengung yang akan dievaluasi sebagai ruang uji penyerapan bunyi adalah ruang sumber. Untuk keperluan ini, bukaan yang ada ditutup dengan bata beton presisi berlubang dengan tebal keseluruhan 100 mm yang diaplikasikan acian tebal 5 mm pada kedua sisinya

Denah ruang dengung berbentuk segi lima tidak beraturan dengan volume 135 m³ dan luas permukaan ruangan 154 m². Seluruh dinding ruangan, lantai, dan atap terbuat dari beton bertulang setebal 0,30 m dengan semua sisi-sisi ruangan tidak ada yang paralel (lihat Gambar 3).



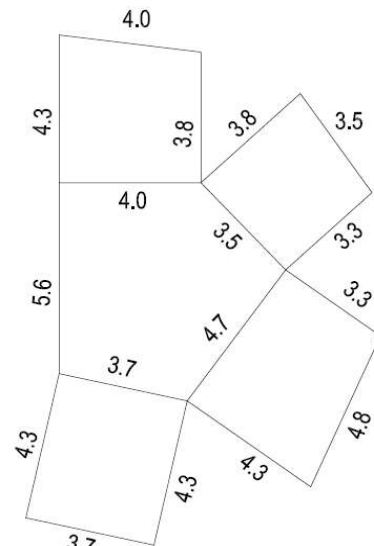
Gambar 2 Denah Ruang Uji Insulasi Bunyi Pusat Litbang Permukiman

Peralatan

Instrumen yang digunakan dalam pengukuran adalah Brüel & Kjør2-channel building acoustic system yang terdiri dari power amplifier tipe 2734, omnidirectional loudspeaker tipe 4292 sebagai sumber bunyi, dua buah mikrofon omnidirectional tipe 4189 sebagai sensor bunyi, 2 channel handheld analyzer tipe 2270 sebagai instrumen utama akuisisi data, dan kalibrator mikrofon tipe 4231. Pengolahan data dibantu dengan software Pulse Reflex Building Acoustic. Rentang frekuensi pengukuran adalah pada 100 Hz - 5000 Hz dengan interval 1/3 oktaf.

Koefisien Absorpsi Permukaan dalam Ruang Dengung

Koefisien penyerapan bunyi (α) permukaan dalam ruang dengung dievaluasi dengan cara memban-

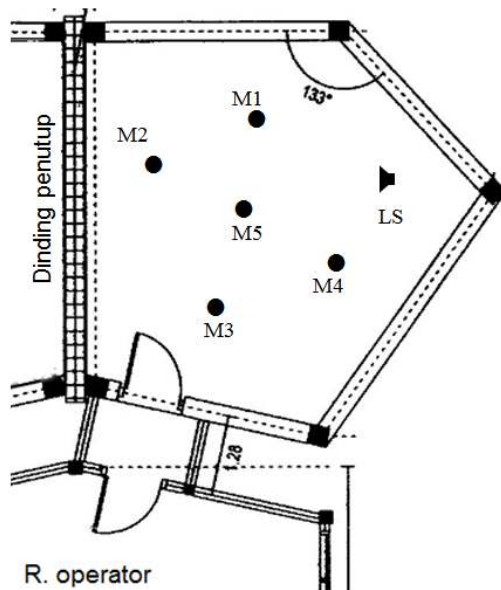


Sumber : Suhedi 2009

Gambar 3 Ukuran Ruang Dengung (dalam meter)

dinkan hasil pengukuran penyerapan bunyi oleh permukaan (A) terhadap luas total permukaan (S). Pengukuran penyerapan bunyi permukaan dalam ruang dengung dilakukan dengan cara mengukur waktu dengung ruangan dalam keadaan kosong. Suhu udara pada saat pengukuran tercatat 24,7°C, sehingga diperoleh kecepatan perambatan gelombang bunyi di udara adalah 346 meter per detik. Penyerapan bunyi A dihitung sesuai persamaan (1) atau persamaan (2). Layout pengukuran diperlihatkan pada Gambar 4. Layout pengukuran diperlihatkan pada Gambar4. Pengukuran dilakukan pada lima posisi mikrofon. Jarak antar posisi mikrofon tidak kurang dari 0,7 m, dan jarak mikrofon dengan permukaan lantai 1,5 m. Waktu dengung di tiap-tiap posisi mikrofon diperoleh dari sepuluh kali pengukuran peluruhan bunyi. Jadi, jumlah peluruhan bunyi yang diukur

adalah sebanyak lima puluh peluruhan. Waktu dengung diukur dengan metode *interrupted noise* menggunakan *pink noise* sebagai sinyal sumber. Sumber bunyi dinyalakan selama beberapa waktu hingga tercapai kondisi tunak (*steady*) selama 10 detik, setelah itu bunyi dihentikan untuk diukur waktu dengung yang terjadi di dalam ruangan. Pengaturan sumber bunyi dilakukan secara otomatis. Laju peluruhan dihitung sesuai persamaan (3) dari data hasil pengukuran waktu dengung.



Gambar 4 Layout Pengukuran Waktu Dengung

Keterangan :

- = lokasi mikrofon
- ▶ = LS = loudspeaker

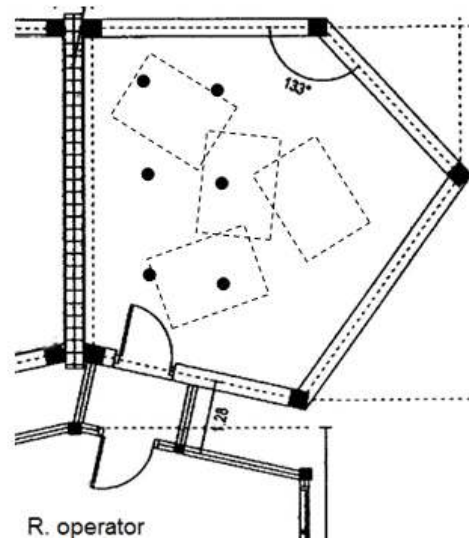
Variasi Laju Peluruhan Bunyi terhadap Posisi Mikrofon

Evaluasi keseragaman laju peluruhan terhadap posisi mikrofon yang berbeda-beda ditujukan untuk melihat pemerataan distribusi medan bunyi di dalam ruang dengung. Laju peluruhan dihitung berdasarkan data hasil pengukuran waktu dengung. Simpangan baku relatif laju peluruhan bunyi, $s_M / \langle d_M \rangle$ di dalam ruang tidak boleh lebih dari persyaratan yang ditentukan pada Tabel 1. Layout dan prosedur pengukuran sama dengan layout dan prosedur pada pengukuran koefisien absorpsi permukaan ruang.

Variasi Laju Peluruhan Bunyi terhadap Posisi Sampel

Pengukuran waktu dengung dalam ruangan dilakukan sama seperti prosedur pengukuran waktu dengung ruang kosong. Perbedaannya adalah kali ini pengukuran dilaksanakan dengan sampel dipasang di dalam ruang dengung. Sampel yang digunakan adalah 3 buah lembaran *rock wool* densiti 100 kg/m^3 ukuran $1350 \text{ mm} \times 610 \text{ mm} \times$ tebal 50 mm yang disusun berjajar rapat sehingga

membentuk persegi panjang $1,35 \text{ m} \times 1,83 \text{ m}$. Sampel diletakkan langsung di atas lantai ruangan. Layout pengukuran diperlihatkan pada Gambar 5. Ada empat variasi lokasi sampel yang diujikan.



Gambar 5 Layout Pengukuran dengan Variasi Penempatan Sampel

Keterangan:

- = lokasi mikrofon tetap
- = lokasi penempatan sampel

HASIL DAN PEMBAHASAN

Volume, Bentuk, Dimensi, dan Koefisien Penyerapan Bunyi

Volume ruang dengung multiguna Pusat Litbang Permukiman sebesar 135 m^3 telah memenuhi persyaratan minimum volume ruang dengung yang disyaratkan ASTM C423. Bentuk ruangan yang berdenah segi lima tidak beraturan dan menghindari adanya dua sisi yang sejajar dipilih untuk menciptakan terjadinya medan *diffuse* di dalam ruangan tanpa *diffusor*. Dengan bentuk ruang yang tidak saling sejajar, diharapkan tidak tercipta gelombang berdiri (*standing wave*) di dalam ruangan.

Gambar 3 memperlihatkan bahwa dimensi ruangan terpanjang adalah 5,6 meter dan terpendek adalah 3,3 meter atau dengan rasio 1,7:1. Dengan demikian pemilihan dimensi ruangan tidak didapati ukuran dua sisi yang sama atau rasio lebih dari 2:1. Jadi, desain ruang dengung telah memenuhi persyaratan volume, bentuk, dan ukuran yang disyaratkan standar.

Hasil pengukuran waktu dengung rata-rata dalam ruang dengung kosong diperlihatkan pada Tabel 2. Berdasarkan hasil pengukuran tersebut dapat dihitung besarnya penyerapan bunyi oleh permukaan dinding (persamaan (2)). Koefisien penyerapan bunyi α dihitung sebagai perbandingan nilai penyerapan bunyi terhadap

luas permukaan. Nilai koefisien penyerapan bunyi dinding dalam ruang dengung pada tiap-tiap frekuensi tidak lebih dari 0,05 sebagaimana disyaratkan ASTM C423 kecuali pada frekuensi 5000 Hz yang mencapai 0,06.

Tabel 2 Hasil Pengukuran Koefisien Penyerapan Bunyi Ruang Dengung Kosong

Frekuensi (Hz)	Waktu Dengung (Detik)	α Terukur	α Maksimum yang Diizinkan
100	15,43	0,01	0,05
125	9,84	0,01	0,05
160	10,34	0,01	0,05
200	10,46	0,01	0,05
250	7,97	0,02	0,05
315	6,83	0,02	0,05
400	6,18	0,02	0,05
500	6,09	0,02	0,05
630	6,02	0,02	0,05
800	5,53	0,03	0,05
1000	5,42	0,03	0,05
1250	5,01	0,03	0,05
1600	4,45	0,03	0,05
2000	4,00	0,03	0,05
2500	3,50	0,04	0,05
3150	3,09	0,05	0,05
4000	2,83	0,05	0,05
5000	2,34	0,06	0,05

Variasi Laju Peluruhan Bunyi terhadap Posisi Mikrofon

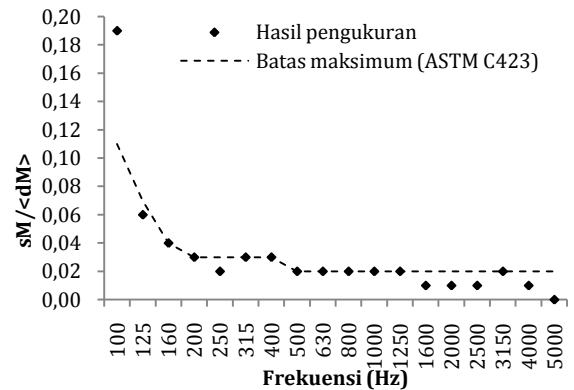
Hasil pengukuran waktu dengung di tiap-tiap lokasi mikrofon untuk dinding penutup yang berbeda-beda disampaikan pada Tabel 3. Tabel 3 memperlihatkan bahwa waktu dengung yang terjadi di ruang uji bervariasi terhadap frekuensi. Waktu dengung rata-rata T_R adalah waktu dengung rata-rata dari lima posisi mikrofon. Satu posisi mikrofon dilakukan sebanyak sepuluh kali pengukuran waktu dengung. ASTM C423 mensyaratkan bahwa simpangan baku relatif s_M/d_M , pada tiap-tiap frekuensi pengukuran tidak boleh melebihi nilai maksimum yang telah ditentukan. Berdasarkan ketentuan ini terlihat bahwa secara umum simpangan baku relatif ruang uji memenuhi ketentuan dalam ASTM C423 (lihat Gambar 6). Nilai maksimum simpangan baku relatif maksimum terlampaui pada frekuensi 100 Hz yang mencapai 0,19. Hasil perhitungan laju peluruhan bunyi pada frekuensi 100 Hz pada masing-masing posisi mikrofon diperlihatkan pada Tabel 4. Tabel 4 memperlihatkan bahwa terjadi laju peluruhan yang lebih besar (dengan kata lain terjadi penyerapan yang lebih besar) pada titik pengukuran ke-3 (lihat Gambar 4) yang terletak berdekatan dengan pintu ruang uji dimana terdapat banyak tonjolan-tonjolan tajam dinding pada bidang batasnya (dinding 0,30 m bertemu pintu 0,05 m). Efek penyerapan bunyi yang lebih besar dimungkinkan terjadi akibat difraksi bunyi yang terjadi di ujung dinding yang menonjol (Cremer 1982 dalam Leo 2013, Sauro 2009). Efek

ini dapat dihindari dengan menempatkan mikrofon di tempat yang bebas dari kemungkinan terjadinya difraksi yang berlebihan.

Tabel 3 Hasil Pengukuran Waktu Dengung dan Laju Peluruhan Bunyi di Ruang Uji

Frekuensi (Hz)	T_R (detik)	$\langle d_M \rangle$	$s_M/\langle d_M \rangle$
100	15,43	3,98	0,19
125	9,84	6,11	0,06
160	10,34	5,81	0,04
200	10,46	5,74	0,03
250	7,97	7,53	0,02
315	6,83	8,79	0,03
400	6,18	9,72	0,03
500	6,09	9,85	0,02
630	6,02	9,97	0,02
800	5,53	10,86	0,02
1000	5,42	11,08	0,02
1250	5,01	11,98	0,02
1600	4,45	13,47	0,01
2000	4,00	14,99	0,01
2500	3,50	17,15	0,01
3150	3,09	19,43	0,02
4000	2,83	21,17	0,01
5000	2,34	25,62	0,00

Keterangan:
 T_R = waktu dengung rata-rata (detik),
 d_M = laju peluruhan bunyi rata-rata (dB/detik),
 s_M = simpangan baku



Gambar 6 Evaluasi Simpangan Baku Relatif Laju Peluruhan Bunyi dengan Variasi Posisi Mikrofon

Tabel 4 Hasil Perhitungan Laju Peluruhan Bunyi di Ruang Uji pada Frekuensi 100 Hz

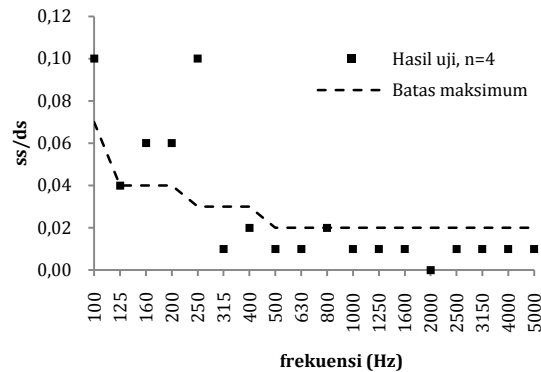
	d_{M1}	d_{M2}	d_{M3}	d_{M4}	d_{M5}
dB/detik	3,61	3,48	5,29	3,64	3,87
$\langle d_M \rangle$	3,98				
s_M	0,74				
$s_M/\langle d_M \rangle$	0,19				

Variasi Laju Peluruhan Bunyi terhadap Posisi Sampel

Laju peluruhan bunyi dalam ruang dengung dengan sampel di dalamnya telah diukur. Sampel berupa lembaran rockwool tebal 50 mm dengan densitas 100 kg/m³, ukuran 1,35 m x 1,83 m. Hasil pengukuran laju peluruhan bunyi untuk posisi sampel yang diujikan ditampilkan pada Gambar 6. Gambar 6 memperlihatkan bahwa hasil pengukuran pada masing-masing layout posisi sampel secara umum memenuhi persyaratan nilai

maksimum simpangan baku relatif terhadap posisi sampel $s_s / \langle d_s \rangle$, kecuali pada rentang frekuensi 100 Hz sampai 250 Hz. Lokasi sampel yang paling banyak memberikan ketidakseragaman hasil pengukuran adalah lokasi kedua, yaitu posisi di dekat pintu dimana terdapat lebih banyak ujung-ujung batas dinding ruangan yang menonjol dibanding lokasi lainnya (lihat Gambar 5). Banyaknya ketidakrataan permukaan ini sangat mungkin mempengaruhi pola pantulan bunyi di sekitarnya. Laju peluruhan bunyi rata-rata pada frekuensi 100 Hz dan 200 Hz di lokasi kedua lebih rendah daripada tiga lokasi lainnya. Ketidakseragaman yang terjadi pada masing-masing lokasi muncul pada frekuensi yang berbeda-beda. Lokasi 1 berkontribusi besar terhadap ketidakseragaman pada frekuensi 250 Hz, lokasi 2 pada frekuensi 100 Hz dan 200 Hz, dan lokasi 4 pada frekuensi 160 Hz. Lokasi 3 memberikan hasil pengukuran laju peluruhan

bunyi yang paling baik. Nilai simpangan baku relatif variasi laju peluruhan bunyi menjadi lebih baik ketika data dengan penyimpangan terbesar tidak disertakan (lihat Tabel 5). Nilai maksimum yang diijinkan tidak terlampaui untuk setiap frekuensi yang diuji kecuali pada 200 Hz.



Gambar 6 Simpangan Baku Relatif Variasi Laju Peluruhan Bunyi terhadap Posisi Sampel

Tabel 5 Nilai Simpangan Baku Relatif Variasi Laju Peluruhan Bunyi terhadap Posisi Sampel

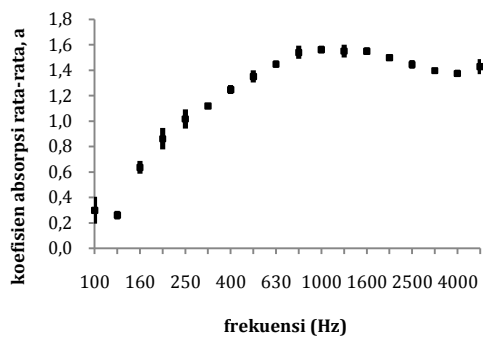
Frekuensi (Hz)	Lokasi 1	Lokasi 2	Lokasi 3	Lokasi 4	d_s/s_s	Batas maks. d_s/s_s
100	7,28	6,15*	7,77	6,71	0,07	0,07
125	8,63	9,47	8,69	8,82	0,04	0,04
160	10,52	11,38	11,19	9,87*	0,04	0,04
200	12,63	11,26*	11,55	12,52	0,05	0,04
250	11,35*	13,97	14,30	13,69	0,02	0,03
315	15,07	15,06	14,73	14,73	0,01	0,03
400	16,51	16,59	16,56	15,95	0,02	0,03
500	17,66	17,53	17,61	18,10	0,01	0,02
630	19,46	19,62	19,97	19,79	0,01	0,02
800	21,02	21,40	20,88	21,68	0,02	0,02
1000	23,80	23,43	23,61	23,03	0,01	0,02
1250	24,31	24,12	24,71	24,10	0,01	0,02
1600	25,30	25,13	25,45	25,52	0,01	0,02
2000	26,55	26,50	26,58	26,42	0,00	0,02
2500	27,98	28,33	28,39	28,06	0,01	0,02
3150	30,33	30,26	30,41	29,93	0,01	0,02
4000	32,61	31,78	32,76	32,64	0,01	0,02
5000	37,58	37,32	37,94	37,19	0,01	0,02

Keterangan:

* tidak disertakan dalam perhitungan d_s/s_s

Hasil perhitungan koefisien penyerapan bunyi terhadap sampel *rockwool* (100 kg/m^3) ukuran $1,35 \text{ m} \times 1,83 \text{ m} \times$ tebal $0,05 \text{ m}$ berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan di ruang dengung Pusat Litbang Permukiman diperlihatkan pada Gambar 7. Nilai koefisien penyerapan bunyi yang ditampilkan pada Gambar 7 adalah rentang nilai koefisien absorpsi rata-rata α , dengan tingkat kepercayaan 95%. Rentang ketidakpastian nilai koefisien penyerapan yang diperoleh tidak lebih dari 0,08 kecuali untuk frekuensi 100 Hz yang

mencapai 0,11 dengan *Sound Absorption Average (SAA)* yang terukur mencapai 1,35. Perbedaan koefisien penyerapan bunyi kurang dari 0,10 dapat dikatakan relatif kecil dan biasanya diabaikan (Egan, 2007). Dengan demikian, hasil pengukuran penyerapan bunyi yang dilakukan di ruang dengung multiguna sudah cukup baik. Dari data-data pengukuran yang ada, nilai koefisien absorpsi Sabine lebih dari 1,0 mungkin saja terjadi (Beranek, 2006). Hal ini dapat disebabkan karena metode dan kondisi pengujian atau karena terjadinya difraksi energi bunyi (Egan, 2007).



Gambar 7 Hasil Pengukuran Koefisien Absorpsi Bunyi Rata-Rata Rockwool Tebal 50 mm Densiti 100 kg/m³ dengan Empat Variasi Posisi Penempatan Sampel

KESIMPULAN

Evaluasi terhadap fasilitas uji ruang dengung multiguna Pusat Litbang Permukiman telah dilakukan. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa ruang sumber secara umum memenuhi persyaratan ASTM C423 sebagai ruang uji penyerapan bunyi suatu material yang meliputi volume, bentuk, dimensi, koefisien penyerapan permukaan ruangan, dan difusifitas medan bunyi dalam ruang yang diukur sebagai parameter standar deviasi relatif. Eksplorasi terhadap karakteristik ruang uji mutlak diperlukan untuk memperoleh *layout* pengujian yang terbaik, yang dapat memberikan keseragaman yang memuaskan atas hasil pengukuran yang dilakukan di dalamnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Nugraha Budi Raharja, rekan sejawat yang telah memberikan ide-ide berharga dalam desain laboratorium akustik di Pusat Litbang Permukiman, serta Wahyu Wuryanti atas masukan serta kritik untuk membuat tulisan ini menjadi lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM C423-02 Standard test method for sound absorption and sound absorption coefficient by the reverberation room method.
 Beranek, Leo L. 2006. Analysis of Sabine and Eyring Equation and Application to Concert Hall Audience and Chair Absorption. *J. Acoust. Soc. Am.* Vol. 120 No. 3 hal. 1399-1410.

Cremer, L. dan H. A. Muller. 1982. *Principles and Applications of Room Acoustics*. Applied Science Publishers. London.
 Doelle, Leslie L. 1990. *Akustik Lingkungan*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
 Egan, M. David. 2007. *Architectural Acoustics*. J. Ross Publishing.
 Errede, Steven. 2013. UIUC Physics 406 Acoustical Physics of Music. Bahan kuliah. Department of Physics, University of Illinois.
 ISO 354:2003 Acoustics – Measurement of sound absorption in a reverberation room
 Kahle, E. 2013. Room acoustical quality of concert halls: perceptual factors and acoustic criteria – return from experience. International Symposium on Room Acoustics (ISRA 2013). Toronto, Canada. 9-11 Juni 2013.
 Keränen, J., Petra V., David O. E., Valtteri H. Design of room acoustics for open offices. *Scandinavian Journal of Work Environment & Health (SJWEH) Supplement* 2008(4):46-49.
 Kuttruff, Heinrich. 2009. *Room Acoustic* 5th Edition. London: Spon Press.
 Leo, K. Acoustical Measurements of Sound Absorbing Pews. http://melileo.pl/akustyka/Leo_K_Acoustical%20measurements%20of%20sound%20absorbing%20pews1.pdf. Diakses tanggal 20 September 2013.
 Ramakrishnan, R. dan Anant G. 2008. Reverberation Room and Spatial Uniformity. *Canadian Acoustics*. Vol. 36 No. 3.
 Sauro, R., Michael V., dan Gary M. 2009. *Absorption coefficients - part 2 : is "edge effect" more important than expected?*. Prosiding International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Inter-Noise). Ottawa. Agustus 2009.
 SNI 03-6386-2000 Spesifikasi tingkat bunyi dan waktu dengung dalam bangunan gedung dan perumahan (kriteria desain yang direkomendasikan)
 Suhedi, F. 2009. *Desain dan konstruksi laboratorium uji sound transmission loss*. Prosiding Kolokium Hasil Litbang Pusat Litbang Permukiman. ISBN 978-602-8330-25-1. Bandung.
 Svensson, C. and E. Nilsson. 2008. *Optimum Room Acoustic Comfort TM (RACTM) can be achieved by using a selection of appropriate acoustic descriptors*. Euronoise 2008. Paris, June 29 – July 4 2008.