

Rekayasa Material Akustik Ruang Dalam Desain Bangunan Studi Kasus : Rumah Tinggal Sekitar Bandara Adisutjipto Yogyakarta

Kaharuddin¹, Arif Kusumawanto²

¹Mahasiswa Program Magister Arsitektur
Kaharuddin83@yahoo.com

²Dosen Arsitektur & Perencanaan FT UGM
arifk@gadjahmada.edu

Abstract

This research was conducted to determine the conditions and manipulate the acoustic material by the mathematical experiment method the calculations was using a specific formula replacing the value of material acoustic sound coefficient. The focus of this research was analyzing the sound absorption and noise reductions of acoustic materials used in residential around Adisutjipto airport of Yogyakarta then proceed with the analysis of sound absorption and noise reduction of coconut palm fiber designed acoustic materials based on buiding physical theory.

The results show that the low sound absorption and noise reduction of the acoustic material inside the sample chamber was due to the material used had a sound reflector characteristic, so optimize the noise reduction it was needed an additional layer of acoustic material used in the fields. The high sound absorption and noise reduction of the coconut palm fiber desgned materials caused by these materials had sound-absorbing properties. The addition of coconut palm fiber layer for acoustic material could optimize the noise reduction. In addition, the coconut palm fiber acoustic material could be used as an altenative sound dampening material at high frequencies that could potentially reduce the waste of nature.

Keywords : Residential, accustics materials, coconut fiber, mathematical experiment.

1. Pendahuluan

Salah satu dampak kemajuan teknologi disektor transportasi yang bersifat negatif adalah pencemaran suara atau kebisingan (Sarwono, 1995) Menurut Mediastika (2009), di negara berkembang, dengan tingkat pendidikan dan ekonomi masyarakat yang masih rendah, orang cenderung mengabaikan permasalahan kebisingan. Sehingga dibutuhkan pengendalian bunyi secara arsitektural yaitu pengurangan bising (Doelle, 1990).

Dalam penelitian sebeumnya oleh Kusumawanto dan Nareswari (2006), kebisingan yeng terjadi di permukiman sekitar Bandara Adisutjipto Yogyakarta, khususnya kebisingan

rata-rata terjadi di ruang keluarga sebesar 92,1 dBA, hal ini mengganggu kenyamanan penghuni dan juga mengakibatkan gangguan kesehatan. Kebisingan tersebut jauh diatas ambang batas syarat baku tingkat kebisingan menurut Koeningsberger dalam Satwiko (2009), bahwa kebisingan yang diperbolehkan di ruang keuarga, sebesar 40 dBA. Menurut Kusumawanto dan Nareswari (2006), pengurangan bising untuk rumah hunian Dukuh Karangbendo dapat diatasi dengan struktur desain bangunan yang mampu meredan atau mengurangi kebisingan sampai batas yang bisa diterima oleh penghuni rumah tinggal.

Untuk itu dalam proses perencanaan dan desain bangunan dibutuhkan suatu rekayasa material akustik ruang pada rumah tinggal yang

dapat mereduksi kebisingan hingga memenuhi standar kenyamanan akustik secara arsitektural. Berdasarkan hal tersebut di atas maka dapat dirumuskan pertanyaan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Bagaimana kondisi material akustik ruang di rumah tinggal sekitar Bandara Adisutjipto Yogyakarta ?
2. Bagaimana hasil material akustik ruang yang direkayasa untuk menciptakan kenyamanan audial di rumah tinggal sekitar Bandara Adisutjipto Yogyakarta ?

2. Fundamental

2.1. Akustik Ruang

Dalam Satwiko (2009), akustik adalah ilmu yang mempelajari tentang suara atau bunyi. Akustik dalam arsitektur sering dibagi menjadi akustika ruang (*room acoustics*) yang menangani bunyi yang dikehendaki dan kontrol kebisingan (*noise control*) yang menangani bunyi yang tak dikehendaki. Menurut Ching (2009), kualitas suara dalam suatu ruang pada hakekatnya tergantung pada sifat-sifat penutup ruang. Sehingga penataan bunyi pada bangunan mempunyai dua tujuan, yaitu untuk kesehatan (mutlak) dan untuk kenikmatan (diusahakan) (Satwiko, 2009).

2.2. Kebisingan Pesawat Terbang

Kebisingan adalah bunyi atau suara yang tidak dikehendaki atau mengganggu (Satwiko, 2009). Kebisingan yang terjadi salah satunya dipengaruhi oleh faktor bangunan sebagai penerima, yang meliputi tingkat kerapatan elemen bangunan secara keseluruhan (Mediastika, 2005). Tingkat bunyi yang diperbolehkan adalah tingkat kebisingan yang diperkenankan terjadi di suatu ruangan agar aktifitas tidak terganggu. Menurut Koeningsberger dalam Satwiko (2009), tingkat kebisingan yang diperbolehkan dalam sebuah ruang keluarga yaitu 40 dBA. Sehingga bila melampaui batas tersebut dan berlangsung terus menerus akan mengganggu selaput telinga, gelisah dan merusak lapisan vegetatif manusia,

tergantung paparan kebisingan yang diterima. Kebisingan pesawat terbang menurut Long (2006), diakibatkan oleh pembuangan gas dengan kecepatan tinggi dan juga karena kondisi atmosfer yang dilalui pesawat. Intensitas bunyi pesawat terbang menurut Satwiko (2009) mencapai 10^4 watt/m² atau 160 dB.

2.3. Strategi Pengendalian Bising

Dalam Long (2006), akustik ruang arsitektur sebagai ilmu maupun sebagai seni dan tidak luput dari aspek penanganan kebisingan, getaran dan juga pengembangan bahan bangunan yang efektif. Menurut Rossing et al. (2007), salah satu yang dapat dilakukan dalam mengurangi kebisingan yaitu pemasangan bahan penyerap suara, yakni dapat mereduksi kebisingan hingga 10 dB. Sedangkan dalam referensi lainnya, menurut Cox dan D'Antonio (2009), dengan penambahan penyerapan tingkat gema akan berkurang dan paparan kebisingan menurun sampai 3-4 dBA.

2.4. Material Akustik

Dalam Kang (2007), dijelaskan bahwa peredam suara berserat dapat ditandai dengan adanya pori. Penyerapan suara dari bahan ini tergantung pada variabel ketebalan, kerapatan, dan orientasi serat. Penyerap suara berpori dapat diproduksi salah satunya dengan memanfaatkan limbah serat alam menjadi papan komposit. Menurut Satwiko (2009), pemilihan bentuk, orientasi dan bahan permukaan ruang akan menentukan kualitas dan kuantitas bunyi yang kemudian juga akan menentukan karakter bunyi. Cox dan D'Antonio (2009), menjelaskan bahwa penggunaan bahan penyerap suara terutama untuk mengatasi masalah akustik, pengurangan kebisingan dan kontrol gema ruang (*reverberation time*).

2.5. Rekayasa Material

Martin dan Schinzinger (1994), rekayasa adalah penerapan ilmu pengetahuan dan penggunaan sumber daya alam demi manfaat bagi masyarakat dan umat manusia. Rekayasa material merupakan salah satu usaha arsitek untuk mengatasi masalah akustik ruang seperti gema, kebisingan dan getaran. Dalam hal ini bahan berserat dapat memberikan

penyerapan suara yang lebih baik, untuk itu dibutuhkan kemampuan untuk menghitung koefisien penyerapan suara dalam mendesain suatu material akustik (Cox dan D'Antonio (2009). Disebutkan juga oleh Satwiko (2009), setiap pengadaan massa dinding, tingkat bunyi akan berkurang 5 dB.

2. 6. Penyerapan Bunyi

Serapan (*absorption*) adalah perbandingan antara energi yang tidak dipantulkan kembali dan energi keseluruhan yang datang, diukur dalam Sabine (1 m^2 Sabine = serapan bunyi setara 1 m^2 jendela terbuka). Penyerapan bunyi (*sound-absorbing*), kemampuan suatu bahan untuk meredam bunyi yang datang, dihitung dalam persen, atau pecahan bernilai $0 \leq \alpha \leq 1$ (Satwiko, 2009). Dalam Everest dan Pohlman (2009), koefisien penyerapan digunakan untuk menilai keefektifan bahan dalam menyerap suara. Dijelaskan dalam (Cox dan D'Antonio (2009), metode yang sering digunakan dalam pengukuran penyerapan suara yaitu metode tabung impedansi, dengan menghitung *standing wave ratio*. Metode ini sangat baik untuk penelitian pengembangan bahan tanpa membutuhkan ruang khusus, sampel ukuran besar yang sulit dan mahal dalam proses pengukuran penyerapan bunyi.

Pengurangan kebisingan suatu ruang sangat dipengaruhi oleh material akustik. Nilai *noise reduction* tergantung pada nilai koefisien serap suara bahan akustik dan luas material akustik yang digunakan.

3. Metode Penelitian

3.1. Tipe Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *experimental research*, yakni dengan cara eksperimen matematis yaitu menghitung serapan suara dan *noise reduction* ruang keluarga yang dijadikan sampel dengan mengganti nilai koefisien serap suara dari masing-masing material. Sampel penelitian ini dipilih sampel secara acak insidental 31 ruang keluarga yang beragam di permukiman Karangbendo.

3.2. Pengukuran Ruang, Observasi dan Eksperimen Material Akustik Lapangan

Material akustik ruang dan koefisien serapan serap suara serta luas eemen yang diukur dengan alat ukur meter, direkam dengan bantuan matriks, untuk selanjutnya dihitung jumlah total serapan material lapangan dan *noise reduction*.

3.3. Rekayasa Material Akustik

Proses rekayasa material akustik yaitu dimulai dari mencari ide bahan yang akan dipakai, produksi material akustik di Laboratorium TPK-THH Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada kemudian dilanjutkan dengan pengujian nilai koefisien serap suara material akustik di Laboratorium AGM-JTMI Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Nilai koefisien serap material tersebut kemudian dipakai untuk menghitung total serapan suara material rekayasa dan *noise reduction* apabila diaplikasikan pada elemen langit-langit dan dinding.

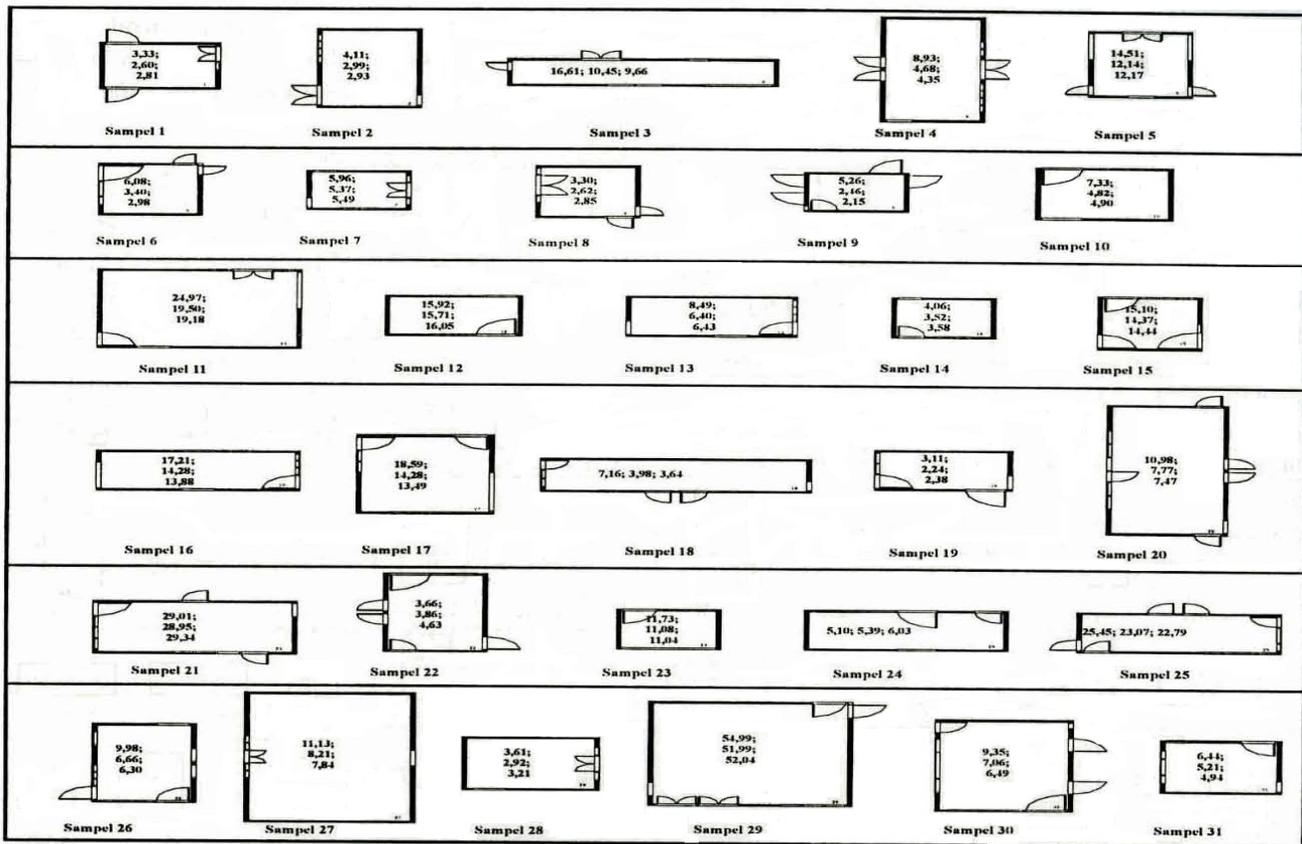
3.4. Metode Analisis

Dari data total serapan suara dan *noise reduction* dari material akustik lapangan maupun material akustik rekayasa kemudian dinyatakan dalam bentuk tabel dan grafik selanjutnya dianalisis dengan menginterpretasi data dengan dasar teori yang ada untuk menjawab pertanyaan dalam penelitian ini.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Material Akustik Lapangan

Denah 31 ruang sampel hasil observasi, pengukuran ruang dan perhitungan matematis material akustik ruang tinggal di permukiman Karangbendo disajikan dalam gambar 1 dan tabel 1, dengan rata-rata koefisien serapan pada frekuensi 250; 500; 1000 Hz masing-masing sebesar 0,09;0,07. Dari gambar 1, dapat dilihat denah ruang dengan serapan suara material rata-rata yang digunakan masing-masing sampel 1 sampai dengan sampel 31 pada frekuensi 250 Hz sebesar 11,98 Sabin; frekuensi 500 Hz sebesar 9,94 Sabin; frekuensi 1000 Hz sebesar 9,85 Sabin. Dari tabel 1 yang dapat diketahui presentase penggunaan material yang digunakan di lapangan.



Gambar 1. Serapan suara (Sabin) material akustik lapangan (frekuensi 250Hz, 1000Hz) di permukiman Karangbendo

Tabel 1. Persentase material akustik yang digunakan di permukiman Karangbendo

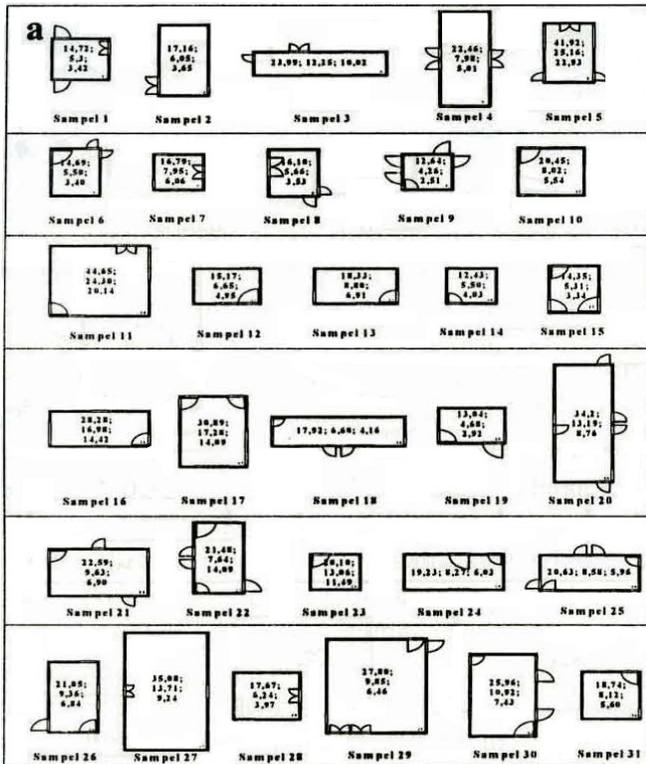
	Material							
	Plafon		Dinding		Lantai			
	n	%		n	%		n	%
Beton	2	6.45	(2)bata,plester;(2)tripleks	1	3.23	teraso	9	29.03
Tanpa plafon	5	16.13	(3)bata,plester;(1)tripleks	2	6.45	keramik	22	70.97
Tripleks	12	38.71	(4)bata,plester	28	90.32			
Eternit	12	38.71						
	31	100		31	100		31	100

Dari material plafon tripleks dan eternit yang paling banyak digunakan tersebut di atas, kemudian dilakukan eksperimen matematis terhadap ruang sampel untuk mengetahui efektifitas serapan dan pengurangan bunyi (*noise reduction*) yang dihasilkan material jika dipasang pada struktur plafon dan dinding dengan tanpa mengganti material lantai. Hasil perhitungan serapan suara tripleks dan eternit kemudian disajikan dalam gambar 2.

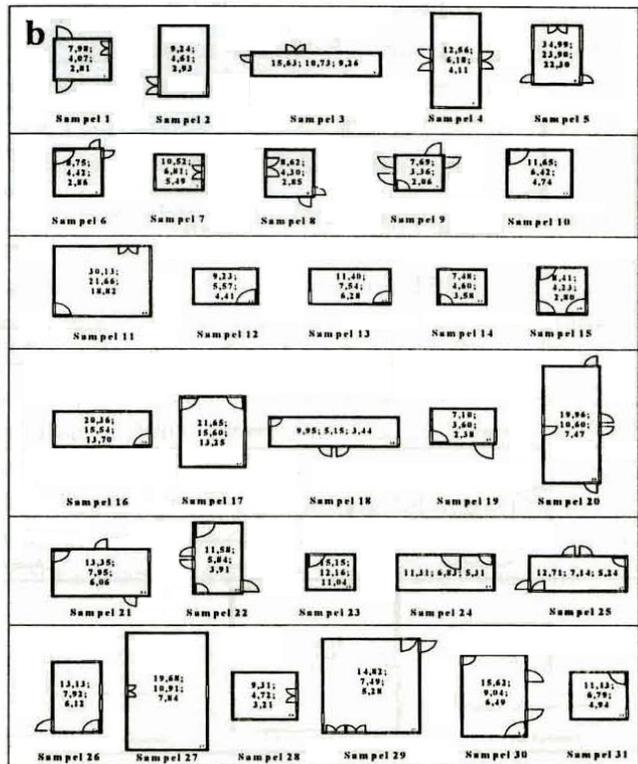
Dari gambar 2. dapat dilihat total serapan suara material tripleks jika digunakan pada 31 sampel rumah tinggal di permukiman Karangbendo, dengan serapan suara rata-rata yang digunakan masing-masing sampel 1 sampai dengan sampel 31 pada frekuensi 250 Hz sebesar 21,95 Sabin; frekuensi 500 Hz sebesar 9,97 Sabin; frekuensi 1000 Hz sebesar 7,24 Sabin. Sedangkan serapan suara eternit rata-rata pada frekuensi 250 Hz sebesar 13,59 Sabin; frekuensi 500 Hz sebesar 8,25 Sabin;

frekuensi 1000 Hz sebesar 6,48 Sabin. Dari serapan suara material yang dipakai di lapangan (gambar 1), serapan suara tripleks dan eternit

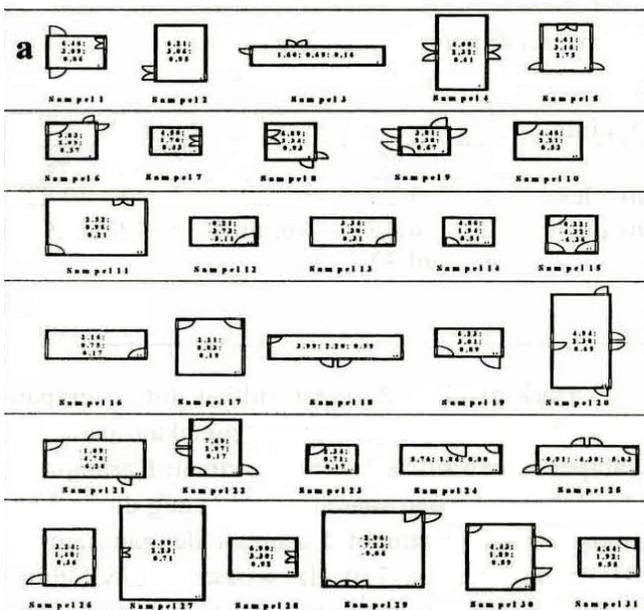
(Gambar 2), dapat di ketahui berapa desibel kebisingan yang direduksi oeh kedua material tersebut, seperti yang disajikan dalam gambar 3.



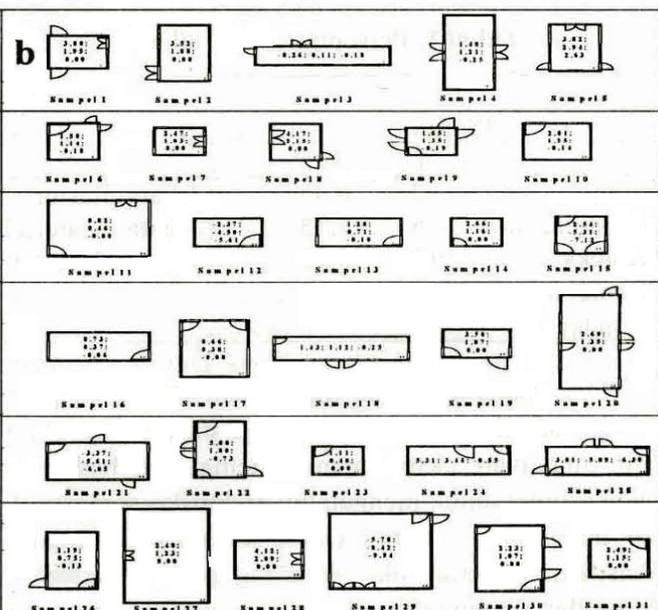
Gambar 2a. Serapan suara (Sabin) tripleks (frekuensi 250Hz, 500Hz, 1000Hz) di permukaan Karangbendo



Gambar 2b. Serapan suara (Sabin) eternit (frekuensi 250Hz, 500Hz, 1000Hz) di permukaan Karangbendo



Gambar 3a. Noise reduction (dB) tripleks (frekuensi 250Hz, 500Hz, 1000Hz) di permukaan Karangbendo



Gambar 3b. Noise reduction (dB) eternit (frekuensi 250Hz, 500Hz, 1000Hz) di permukaan Karangbendo

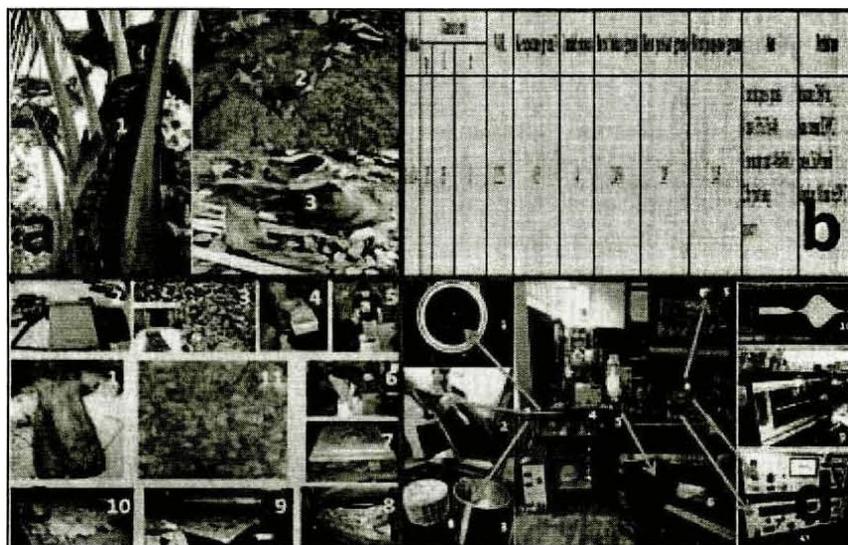
Dari gambar 3 dapat dilihat *noise reduction* atau pengurangan suara dengan menggunakan tripleks dan eternit pada 31 sampel rumah tinggal di permukiman Karangbendo. *Noise reduction* tripleks rata-rata pada frekuensi 250 Hz sebesar 3,59 dB; tekuensi 500 Hz sebesar 0,95 dB; tekuensi 1000 Hz sebesar -0,55 dB. Sedangkan *noise reduction* eternit rata-rata pada frekuensi 250 Hz sebesar 1,39 dB; tekuensi 500 Hz sebesar 0,10 dB; tekuensi 1000 Hz sebesar -1,17 dB.

4.2. Material Akustik Rekayasa

Ide bahan yang dipakai daam rekayasa material akustik ini adalah **serat alam ijuk kelapa**. Hasil rekayasa berupa produk material akustik ijuk kelapa dengan ukuran 35x35x1 cm. Material akustik tersebut kemudian diuji koefisien serap suara dengan alat yang telah disiapkan sebelumnya di Laboratorium AGM JTMI Fakultas

Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Proses produksi dan hasil uji koefisien serap suara material akustik ijuk kelapa dapat dilihat dalam gambar 4 dan tabel 2 dibawah ini.

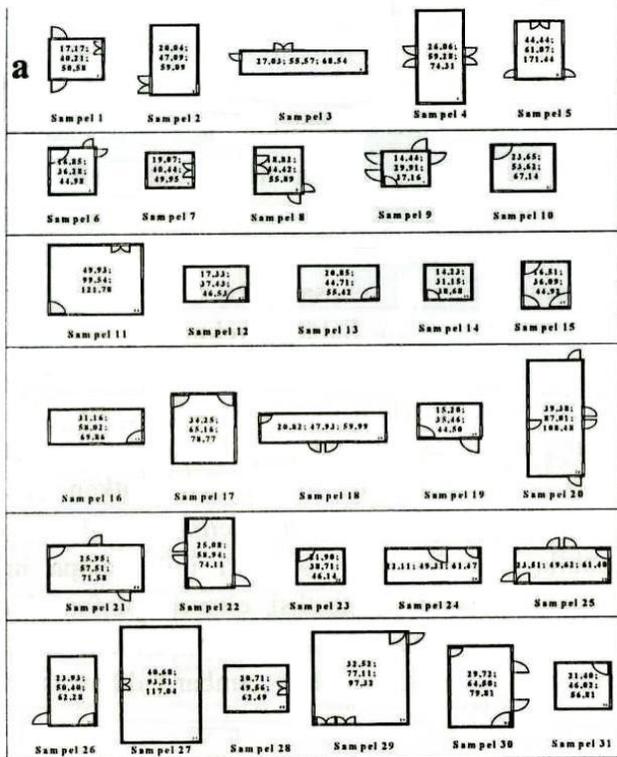
Dari tabel 2 di atas dapat diketahui nilai koefisien serap rata-rata material akustik yang terbuat dari ijuk kelapa masing-masing, yaitu : frekuensi 250 Hz sebesar 0,26 Sabin; frekuensi 500 Hz sebesar 0,64 Sabin; frekuensi 1000 Hz sebesar 0,81 Sabin. Setelah mendapatkan nilai koefisien serap suara dari material akustik rekayasa, kemudian dilakukan perhitungan dengan eksperimen matematis untuk mendapatkan total serapan suara dan *noise reduction* yang terjadi apabila material rekayasa dari ijuk kelapa ini digunakan pada konstruksi elemen pafon dan dinding yang menjadi sampel penelitian. Hasil perhitungan disajikan dalam gambar 5 dibawah.



Gambar 4. Proses rekayasa bahan akustik: (a) limbah ijuk kelapa (b) perhitungan kebutuhan ijuk kelapa, perekat dan pengeras (c) proses produksi material akustik dan (d) pengujian koefisien serapan suara.

Tabel 2. Koefisien serap suara produk material akustik ijuk kelapa

Frekuensi	Sampel				Rerata
	1	2	3	4	
250 Hz	0.09	0.20	0.15	0.61	0.26
500 Hz	0.68	0.68	0.79	0.42	0.64
1000 Hz	0.78	0.89	0.80	0.75	0.81



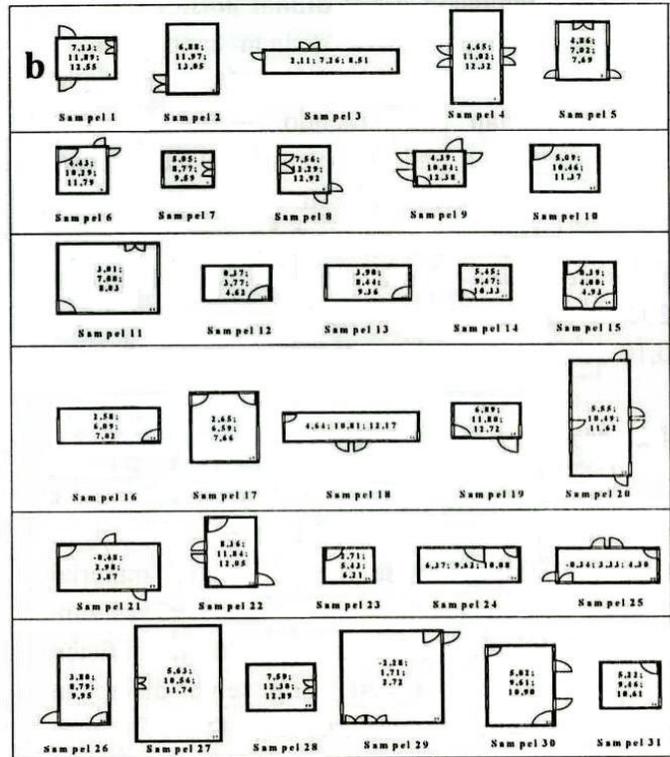
Gambar 5a. Serapan suara (Sabin) material akustik ijuk kelapa (frekuensi 250Hz, 500Hz, 1000Hz) di permukiman Karangbendo

Dari gambar 5 dapat dilihat total serapan suara material akustik jika material akustik hasil rekayasa digunakan pada 31 sampel rumah tinggal di permukiman Karangbendo, dengan serapan suara material rata-rata yang digunakan masing-masing sampel 1 sampai dengan sampel 31 pada frekuensi 250 Hz sebesar 24,99 Sabin; frekuensi 500 Hz sebesar 53,08 Sabin; frekuensi 1000 Hz sebesar 65,75 Sabin. Sedangkan *noise reduction* atau pengurangan suara dengan menggunakan material akustik ijuk kelapa pada 31 sampel rumah tinggal di permukiman Karangbendo rata-rata pada frekuensi 250 Hz sebesar 4,17 dB; frekuensi 500 Hz sebesar 8,58 dB; frekuensi 1000 Hz sebesar 9,55 dB.

4.3. Anaisis

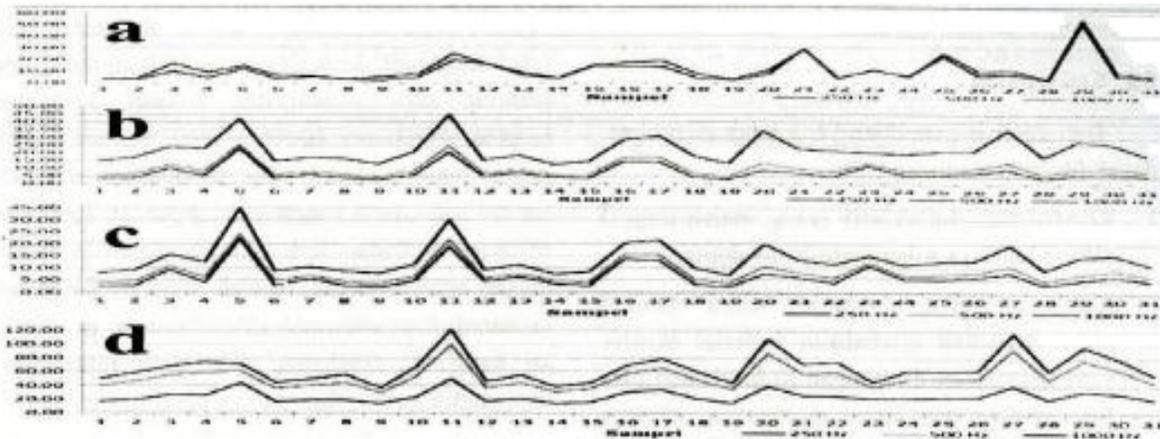
Dari data gambar 1; 2; 3; 5 dapat digambarkan grafik serapan suara material lapangan, tripeks, eternit dan material akustik ijuk kelapa yang dianalisis berikut ini.

Hasil penelitian ini menunjukkan material akustik yang dipakai di lapangan termasuk material

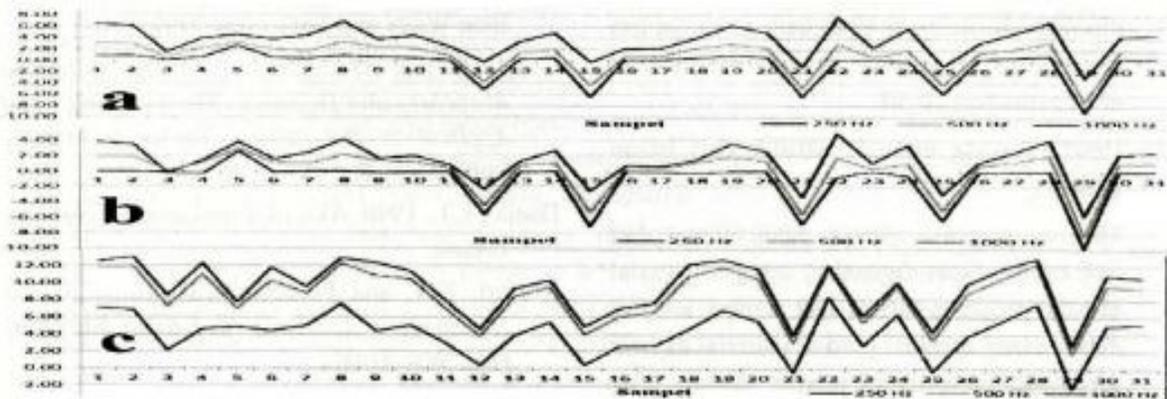


Gambar 5b. Noice reduction (dB) material akustik ijuk kelapa (frekuensi 250Hz, 500Hz, 1000Hz) di permukiman Karangbendo

Pemantul bunyi sedangkan material akustik ijuk kelapa termasuk material penyerap bunyi, hal ini berdasarkan Satwiko (2004), bahwa material dengan koefisien serap > 0,5 termasuk peredam bunyi, koefisien serap < 0,2 termasuk pemantul bunyi. Koefisien serap suara material lapangan ini akan mempengaruhi total serapan suara material lapangan pada sampel ruang seperti terlihat dalam gambar 1; 2; 3; 6, Serapan suara minimal pada material lapangan terjadi karena material akustik yang digunakan pada elemen plafon, dinding dan lantai merupakan material pemantul bunyi. Hal ini menguatkan bahwa dalam ruang tempat kita mendengar suara, kualitas suara pada hakekatnya tergantung pada sifat-sifat penutup sebuah ruang (Ching, 2007). Dalam Cox dan D'Antonio (2009), bahan berserat dapat memberikan penyerapan suara yang lebih baik. Selain itu juga bahan ini termasuk bahan *regenerative*, jika didaur ulang menjadi produk material akustik pada elemen tertentu pada bangunan, berpotensi mengurangi jumlah limbah yang tercipta.



Gambar 6. Grafik serapan suara material akustik: (a) serapan suara material lapangan; (b) serapan suara tripleks; (c) serapan suara eternit; (d) serapan suara material akustik ijuk kelapa.



Gambar 7. Grafik noise reduction material akustik: (a) noise reduction material tripleks; (b) noise reduction eternit; (c) noise reduction material akustik ijuk kelapa.

Dalam desain interior akustik bangunan atau ruangan sangat diperlukan media yang dapat mengolah bunyi atau suara agar sesuai dengan kehendak penerima bunyi (Satwiko, 2004). *Noise reduction* (frekuensi 250 Hz; 500 Hz; 1000 Hz) material lapangan, tripleks dan eternit dalam gambar 3 tidak memuaskan sedangkan *noise reduction* material akustik ijuk kelapa sangat memuaskan. Hal ini sesuai dalam Cox dan D'Antonio (2009), dengan penambahan penyerapan suara, paparan kebisingan menurun sampai 3-4 dBA dan Rossing, et al (2007), bahan penyerap suara dapat mereduksi kebisingan hingga 10 dB.

Selain itu juga, jika tripleks, eternit dan material akustik ijuk kelapa ini diaplikasikan pada sampel di permukiman Karangbendo, belum dapat mereduksi kebisingan rata-rata sebesar 92,1 dB yang terjadi pada ruang keluarga di permukiman Karangbendo atau menciptakan kenyamanan

audial bila dibandingkan dalam Koenigsberger dalam Satwiko (2009) yang mensyaratkan kebisingan yang terjadi diruang keluarga sebesar 40 dB, karena kebisingan yang terjadi setelah direduksi oleh material tersebut maksimal pada frekuensi 250 Hz; 500 Hz; 1000 Hz masing-masing sebesar 87,93 dB; 83,52 dB; 82,55 dB. Sehingga bila berlangsung terus menerus, kebisingan tersebut akan merusak lapisan vegetatif manusia seperti yang dinyatakan dalam Satwiko (2009). Untuk meningkatkan nilai *noise reduction* tripleks, eternit dan material akustik ijuk kelapa, salah satu cara yang dapat dilakukan yaitu dengan menggandakan massa atau menambah lapisan material tersebut minimal 10 lapisan yang dapat meningkatkan *noise reduction* sebesar 45 dB. Hal ini sesuai dengan Satwiko (2009), bahwa setiap pengadaan massa dinding, tingkat bunyi akan berkurang 5 dB.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Dari analisis penelitian yang telah dilakukan, dapat dibuat kesimpulan yaitu :

1. Kondisi material akustik ruang tinggal sekitar bandara Adisutjipto Yogyakarta :
Kecilnya nilai total serapan suara maupun *noise reduction* disebabkan material akustik yang digunakan di lapangan pada elemen plafon, dinding dan lantai merupakan material pemantul bunyi, *noise reduction* yang dihasilkan tidak memuaskan. *Noise reduction* material tripleks dan eternit dapat ditingkatkan menjadi lebih baik yaitu dengan menambah 11 lapisan dengan peningkatan *noise reduction* 50 dB.
2. Hasil rekayasa material akustik dari bahan limbah :
Material rekayasa akustik yang terbuat dari ijuk kelapa dapat digunakan sebagai material akustik penyerap suara. Ijuk kelapa ini jika didaur ulang menjadi produk material akustik, berpotensi mengurangi jumlah limbah yang tercipta dan dapat digunakan sebagai papan akustik penyerap suara frekuensi tinggi karena semakin tinggi pula *noise reduction* yang dihasilkan dari material akustik ijuk kelapa. Hal ini disebabkan material penyerap bunyi dengan struktur bahan yang berpori. *Noise reduction* material akustik ijuk kelapa dapat dilakukan yaitu dengan menambah 10 lapisan, dengan peningkatan *noise reduction* 45 dB.

5.2. Saran

Perlu penelitian lebih lanjut rekayasa material akustik ijuk kelapa dengan melakukan pengujian fisik mekanik yang sesuai standar yang telah ada; perlu penelitian aplikasi, desain, *redesign* dan simulasi material akustik ijuk kelapa terhadap bentuk, volume, skala dan proporsi ruang; pagar, barrier sound, saringan suara, selubung ruang dan

kontrol suara aktif; *figure ground* bangunan, *split level* bangunan, jarak dan orientasi bangunan; tipe penutup atap, penempatan bukaan, kerapatan bukaan, kerapatan penutup atap, material atap, variasi sudut pola penempatan material, ketebalan material; terhadap pengendalian bunyi dalam akustik ruang (rumah tinggal, bangunan komersil, bangunan industri, bangunan pendidikan, bangunan kesehatan, auditorium, rumah ibadah, studio musik, dan gedung pertunjukan seni).

Daftar Pustaka

- Ching, F.D.K. 2007. *Form, Space, and Order*. John Wiley and Sons. New York.
- Cox, T.J. And D'Antonio, P. 2009. *Acoustics Absorbers and Diffusers : Theory, Design and Application 2nd edition*. Taylor and Francis. London.
- Doelle, L.L. 1990. *Akustik Lingkungan*. Erlangga. Jakarta.
- Everest, F.A. and Pohlman K.C. 2009. *Master Handbook of Acoustics 4th edition*. McGraw-Hill. New York.
- Kang, J. 2007. *Urban Sound Environment*. Taylor and Francis. London.
- Kusumawanto, A. dan Nareswari, A. 2006. *Adaptasi Desain Bangunan Rumah Tinggal di Daerah Bising. Kasus Studi : Rumah Tinggal di Sekitar Bandara Adisutjipto*. FT UGM. Yogyakarta.
- Long, M. 2006. *Architectural Acoustics*. Elsevier. Oxford UK.
- Martin, M.W. and Schinzinger, R. 1994. *Etika Rekayasa edisi ke-2*. Gramedia. Jakarta.
- Mediastika, C.E. 2005. *Akustika Bangunan : Prinsip-prinsip pada Penerapannya di Indonesia*. Erlangga. Jakarta.
- Cowan, J. 2007. *Building Acoustics in Rossing : Springer Handbook of Accoustics*. Springer. New York.
- Sarwono, S.W. 1995. *Psikologi Lingkungan*. Grasindo. Jakarta.
- Satwiko, P. 2009. *Fisika Bangunan*. Andi. Yogyakarta.