

THE DETERMINATION OF ACOUSTICAL ABSORBING MATERIALS IN THE “AL-MARWAH” ROOM OF “AL-AKBAR” MOSQUE IN SURABAYA USING OBJECTIVE PARAMETERS APPROXIMATION

Wiratno A. Asmoro*

ABSTRAK

Suatu ruang yang digunakan untuk kegiatan percakapan disyaratkan mempunyai kualitas akustik yang baik. Kualitas akustik dari ruang ditentukan dengan melakukan penelitian eksperimental untuk mencari hubungan antara penentuan bahan penyerap akustik dan kejelasan percakapan (*Speech Intelligibility, SI*) di dalam Ruang Al-Marwah Masjid Al-Akbar Surabaya (MAS). Dengan melakukan pengukuran akustik monaural, parameter akustik obyektif dari Ruang Al-Marwah dapat diketahui dari tanggap impuls ruang dan selanjutnya dapat digunakan dalam penentuan bahan penyerap akustik didalam ruang. Dengan mengetahui parameter akustik RT , EDT , D_{50} , C_{50} , dan $\%Al_{cons}$ pada beberapa lokasi di dalam ruang, dapat dicari hubungan diantara parameter-parameter akustik tersebut. Kemudian, hasil yang diperoleh dapat digunakan untuk menilai ketepatan dalam penentuan bahan penyerap akustik yang dipasang di dalam ruang. Ruang Al-Marwah MAS dengan *treatment* akustik pada plafond seluas 376 m² dan kolom tiang seluas 373 m² memberikan waktu dengung rerata 5,52 detik, EDT rerata 7,88 detik pada frekuensi *mid-band*, D_{50} rerata pada kisaran 3,25 ~ 10,5%, C_{50} rerata pada kisaran -15 ~ -9,4 dB, dan $\%Al_{cons}$ rerata pada kisaran 15 ~ 21%. Kondisi demikian memberikan kejelasan percakapan pada kategori *Kurang sampai Cukup*.

Kata kunci: bahan penyerap akustik, parameter akustik obyektif, kejelasan percakapan.

ABSTRACT

The room that used to hold the speech activity needs a good acoustical quality. To determine the acoustical quality of a room the experimental research was conducted to find the relationship between the determination of acoustical absorbing materials and speech intelligibility in the “Al-Marwah” room of “Al-Akbar mosque in Surabaya. Through the monaural acoustical measurements, the objective acoustical parameters in the “Al-Marwah” room can be found from impulse responses. Then we can use it to determine the acoustical absorbing materials in the room. Considering the acoustical parameters of RT , EDT , D_{50} , C_{50} , and $\%Al_{cons}$ at several positions, we can find the relationships between those parameters. The result, then, could be used to properly judge the acoustical absorbing materials which should be applied in the room. For the acoustical treatments on the ceiling of 376 m² and the pillars of 373 m² in the “Al-Marwah” room of the “Al-Akbar” mosque, the average values of RT and EDT un mid-band frequencies were found 5.52 sec and 7.88 sec respectively; whereas the values of D_{50} , C_{50} and $\%Al_{cons}$ were found in the range of 3.25 ~ 10.5%, -15 ~ -9,4 dB and 15 ~ 21% respectively. Those condition produce speech intelligibility on *Poor to Sufficient* category.

Keywords: acoustical absorbing materials, objective acoustical parameter, speech intelligibility.

1. PENDAHULUAN

Suara adalah sensasi aural yang disebabkan oleh perubahan tekanan di dalam udara yang selalu dihasilkan dari suatu sumber getaran (Smith dkk. 1996). Pengertian suara dalam akustik ruang adalah suatu sinyal yang memberikan rangsangan dengar pada telinga manusia dan mempunyai jangkauan kepekaan dengar dari 20 hz hingga 20.000 hz. Akustik ruang mempelajari perilaku suara di dalam suatu ruang dan ukuran yang umum digunakan adalah mencari hubungan kejelasan percakapan (*Speech Intelligibility, SI*) di dalam ruang dengan parameter obyektif dari ruang tersebut. Selain waktu dengung (RT) dan waktu peluruhan awal ($EDT = Early Decay Time$), pada saat ini banyak digunakan parameter akustik untuk menyatakan SI yang berbasis pada nisbah energi akustik, yaitu

definition (D_{50}), *clarity* (C_{50}), dan *articulation loss of consonant* (Al_{cons}).

Perancangan akustik ruang ditujukan untuk mendapatkan dampak akustik optimum bagi pendengar di dalam suatu ruang, sehingga penurunan dan cacat akustik dapat dihindari (Asmoro 2002). Suatu ruang dirancang untuk dapat memenuhi persyaratan akustik untuk percakapan, bahkan dalam situasi yang temporer dapat juga dimanfaatkan untuk aktivitas musik. Secara fisis suara yang dibangkitkan di dalam suatu ruang akan ditransmisikan, dipantulkan, dan diserap oleh setiap permukaan yang ada didalamnya dengan berbagai cara tergantung dari bentuk, ukuran, dan konstruksi dari ruang tersebut (Kuttruff 1979). Suara langsung, suara-pantulan, dan bising latar belakang menghasilkan medan suara dengung di dalam

*Jurusan Teknik Fisika, FTI ITS, Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya (60111)
E-mail: wiratno@ep.its.ac.id; wiratnoasmoro@telkom.net

ruang. Selama tidak terjadi cacat akustik (misalnya gema) di dalam ruang, dengung yang terjadi dalam takaran tertentu tetap diinginkan.

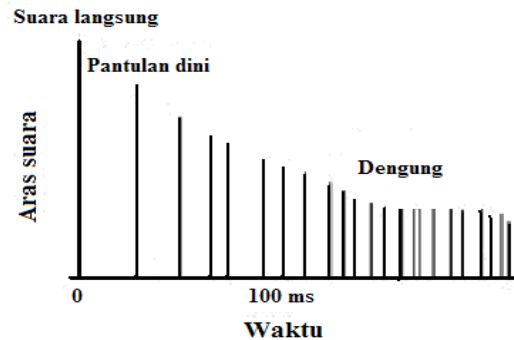
Penelitian dilakukan pada Ruang Al-Marwah Masjid Al-Akbar Surabaya (MAS) dengan tujuan untuk melakukan pengukuran bising latar belakang dan menentukan bahan penyerap akustik yang digunakan di dalam ruang dengan menggunakan pendekatan parameter obyektif. Studi awal menunjukkan bahwa kualitas akustik Ruang Al-Marwah MAS yang didominasi oleh penggunaan permukaan-permukaan bahan dengan koefisien serapan suara yang kecil (atau bersifat sangat memantulkan) cenderung menghasilkan dengung yang berlebihan di dalam ruang, sehingga memberikan kualitas akustik ruang yang sangat buruk. Dengung yang berlebihan ini harus dikurangi agar dapat mencapai kualitas akustik yang optimum, yaitu dengan melakukan suatu perlakuan akustik pada permukaan-permukaan bagian dalam (*interior*) ruang. Studi ini sesuai dengan kualitas akustik yang diperoleh dari penelitian pada Ruang Ash-Shofa memiliki banyak kemiripan dalam rancangan arsitekturnya dengan Ruang Al-Marwah, tetapi jarang difungsikan akibat terlalu tingginya dengung yang terjadi didalamnya yang memberikan *RT* sebesar 9,4 detik (pada 500 Hz) dan $\%A_{\text{doms}}$ pada kisaran 26,37~84,6% (Riandadari dan Asmoro 2002).

Suara yang dibangkitkan oleh suatu sumber dan didengar oleh penerima didalam ruang dapat dibagi kedalam tiga komponen:

- Suara langsung (dalam hal ini termasuk pula pantulan-pantulan sangat dini)
Suara langsung mencapai pendengar secara langsung dari sumber. Pantulan-pantulan sangat dini (*very early reflections*) merupakan pantulan dari obyek-obyek dekat, seperti lantai panggung, yang akan mencapai pendengar dalam waktu 20 ms setelah suara langsung.
- Pantulan-pantulan dini (*early reflections*)
Pantulan-pantulan dini adalah suara yang tiba 20ms hingga 80-100 ms setelah suara langsung dan merupakan gelombang suara yang dipantulkan dari dinding, langit-langit, dan sebagainya.
- Pantulan-pantulan setelah pantulan dini (*late reflections*) dan dengung
Dengung adalah jumlah keseluruhan dari pantulan-pantulan suara yang diterima kembali oleh pendengar setelah 80-100 ms dari suara langsung.

Kesemuanya ini merupakan tanggap suara dalam ruang yang dapat digambarkan sebagai

tanggap impuls (Barron 1993) seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Tanggap impuls ruang.

Perilaku suara didalam ruangan yang dibentuk dari komponen suara langsung, pantulan-pantulan awal, dan dengung menyebabkan ditemuinya daerah yang berbeda dalam menerima energi suara, yaitu daerah medan langsung dan medan dengung. Medan langsung biasanya berada pada daerah dekat sumber yang jauh dari permukaan atau bidang pantul, sedang medan dengung adalah daerah yang memberikan suara pantul lebih dominan daripada suara langsung. Jarak didalam ruangan yang memberikan aras suara langsung sama dengan aras suara pantul (dari medan dengung) disebut sebagai jarak kritis (r_c) dan dapat dinyatakan dalam persamaan berikut (Bistafa dan Bradley 2000):

$$r_c = \sqrt{\frac{QS\bar{\alpha}}{16\pi}} \quad \text{.....(1)}$$

dengan Q adalah faktor keterarahan dari sumber dan S adalah luas permukaan dalam ruang. Pendengar berada pada daerah medan dengung bila pendengar berada pada jarak yang lebih besar daripada r_c .

Bahan-bahan penyerap akustik kerap digunakan untuk mengurangi kehadiran medan suara dengung di dalam ruang, yang dicapai dengan mencegah pantulan-pantulan suara yang tak diinginkan dari permukaan-permukaan keras. Bahan-bahan tersebut biasanya ditempatkan pada permukaan-permukaan yang menghasilkan pantulan-pantulan yang tak diinginkan. Energi akustik diubah ke dalam bentuk energi panas oleh bahan penyerap suara yang berpori, sehingga suara diteruskan masuk ke dalam bahan dengan menghindari terjadinya penghadangan suara. Bahan penyerap suara sangat efektif untuk menyerap energi suara yang datang padanya, sehingga bahan-bahan penyerap suara seperti karpet, *acoustical tile*, *blanket*, panil, *upholstered furniture*, sering digunakan untuk perlakuan

akustik pada langit-langit, dinding dan lantai ruang. Bahan penyerap akustik dinyatakan dalam koefisien serapan suara (α) yang didefinisikan sebagai nisbah dari energi suara yang diserap terhadap energi suara yang datang padanya. Suatu luasan dari bahan penyerap akustik sering tersusun dari permukaan-permukaan dengan kandungan bahan-bahan yang memiliki koefisien serapan berbeda; dalam kasus seperti ini, koefisien serapan rerata ($\bar{\alpha}$):

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \alpha_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad \dots\dots(2)$$

dengan S_i adalah luas permukaan bahan- i yang mempunyai koefisien serapan suara α_i . Koefisien serapan suara dari bahan biasanya dinyatakan dalam pita frekuensi 1/1-oktaf dari 125 Hz hingga 4000 Hz. Selain dispesifikasikan dengan koefisien serapan suara (α), karakteristik serapan bahan dapat dinyatakan pula dengan koefisien pengurangan bising (NRC), yaitu rerata aritmatika dari koefisien serapan suara pada empat pita frekuensi 1/1-oktaf.

2. PARAMETER AKUSTIK RUANG OBYEKTIF

Konsep 'akustik yang baik' mencakup suatu kombinasi dari parameter obyektif dan subyektif. Untuk dapat menyatakan ukuran kejelasan percakapan dikenal dua jenis studi untuk memberikan penilaian dalam akustik ruang (Carvalho 2000; Steeneken 1999), yaitu:

- **Studi subyektif**, didasarkan pada penggunaan pembicara dan pendengar dalam memberikan evaluasi terhadap parameter subyektif (*loudness, intimacy, reverberance, envelopment, balance, clarity, gema, dan overall impression*) pada beberapa titik didalam ruang;
- **Studi obyektif**, didasarkan pada parameter fisik jalur penjalaran suara dalam memberikan evaluasi terhadap parameter obyektif (*waktu dengung, EDT, C₅₀ atau C₈₀, D₅₀, TS, AI, %A_{1cons} dan STI atau RASTI*) pada beberapa titik didalam ruang. Beberapa ukuran obyektif ini banyak memanfaatkan nisbah dari energi pantulan awal terhadap energi suara totalnya untuk melihat kemampuan pendengar terhadap susunan sinyal suara ketika mendengarkannya didalam suatu ruang.

Beberapa parameter akustik obyektif yang digunakan untuk menilai kualitas akustik ruang ditujukan untuk mendapatkan kejelasan percakapan, *SI*, yang ditentukan dengan

mempertimbangkan suara langsung dan pantulan-pantulan suara, serta bising latar belakang dan dapat dikelompokkan kedalam beberapa kategori yang berbeda.

♦ Bising latar belakang

Bising latar belakang adalah suara yang berasal dari sumber-sumber suara lain yang bukan dari sumber suara utama. Bising latar belakang tidak dapat sepenuhnya dihilangkan akan tetapi dapat dikurangi melalui serangkaian perlakuan akustik terhadap ruangan. Bising latar belakang ini kemudian digunakan untuk menentukan kriteria bising didalam ruangan dengan menggunakan kurva kriteria kebisingan atau kurva NC (Reynolds 1981).

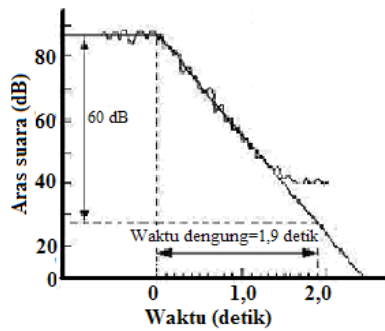


Gambar 2. Rentang dinamik percakapan terhadap aras bising latar belakang.

Aras bising latar belakang yang baik untuk percakapan di dalam suatu ruang terhadap rentang dinamik ditunjukkan dalam Gambar 2. Dalam akustik percakapan, bising latar belakang merupakan suara yang terdengar ketika pembicara di dalam ruang tidak mengeluarkan suara, baik tanpa atau dengan penguat suara.

♦ Waktu dengung (*RT*) dan *EDT* (*Early Decay Time*)

Waktu dengung (*RT*) dinyatakan sebagai waktu yang diperlukan suara untuk meluruh sebesar 60 dB, sehingga biasa ditulis dengan notasi RT_{60} . Grafik peluruhan suara untuk menggambarkan waktu dengung ditunjukkan pada gambar 3. Dalam pengukuran terkini dari *RT* digunakan peluruhan dari -5 dB hingga -35 dB dan menggunakan regresi linier untuk menentukan laju peluruhan dan kemudian melakukan ekstrapolasi untuk mendapatkan *RT* pada -60dB, sehingga pada saat ini dikenal RT_{15} , RT_{20} , dan RT_{30} .



Gambar 3. Waktu dengung.

EDT (*Early Decay Time*) merupakan suatu ukuran dari laju peluruhan suara yang didasarkan pada pengaruh suara awal (suara langsung + pantulan-pantulan awal). *EDT* adalah waktu yang ditentukan pada 10 dB pertama dari proses peluruhan suara, yang kemudian dikalikan dengan faktor 6 untuk memberikan ekuivalen - 60dB. Dalam beberapa kasus akustik ruang, *EDT* lebih baik daripada *RT* dalam memberikan keputusan subyektif dari dengung.

♦ Parameter berbasis nisbah energi akustik

Konsep nisbah energi akustik menyatakan energi akustik yang ada (langsung + pantulan + bising) kedalam bagian yang termanfaatkan (langsung + pantulan paling awal) dan bagian yang merugikan (pantulan berikutnya + bising). Pantulan-pantulan suara dengan waktu tunda kurang dari 50 ms setelah suara langsung digunakan sebagai fraksi energi awal yang paling tepat untuk percakapan. Beberapa parameter akustik yang didasarkan atas nisbah energi akustik untuk menyatakan *speech intelligibility* (Baron 1993; Carvalho dkk. 1997) adalah:

- *Definition, D₅₀* : nisbah energi suara pantulan awal terhadap energi suara total.

$$D_{50} = \frac{\int_0^{50ms} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad [\%] \quad \dots\dots(3)$$

D₅₀ menunjukkan korelasi yang sangat baik dengan % skala kejelasan percakapan, *SI* (50% *d₅₀* ≈ kejelasan percakapan, *SI*, 90%). Dalam medan difus, *D₅₀* dapat didekati dengan persamaan berikut (Lam 1995):

$$D_{50} = 1 - e^{-0,69/RT_{60}} \quad [\%] \quad \dots\dots(4)$$

- *Clarity, C₅₀* : nisbah energi suara termanfaatkan terhadap pantulan berikutnya.

$$C_{50} = 10 \log \frac{\int_0^{50ms} p^2(t) dt}{\int_{50ms}^{\infty} p^2(t) dt} \quad [\text{dB}] \quad \dots\dots(5)$$

Dalam medan difus, *C₅₀* dapat didekati dengan persamaan berikut (Lam 1995):

$$C_{50} = 10 \log \left(e^{1/RT_{60}} - 1 \right) \quad [\text{dB}] \quad \dots\dots(6)$$

♦ Parameter berbasis nilai artikulasi

Nilai artikulasi yang merupakan suatu jenis pengujian artikulasi suku kata menghasilkan rugi artikulasi dari konsonan *A_{lcons}* dan digunakan sebagai salah satu ukuran *speech intelligibility* didalam ruang, yang dinyatakan sebagai fungsi jarak ke sumber *r*, volume ruang *V* dan waktu dengung *RT*:

$$\%A_{lcons} = \frac{200(r \cdot RT)^2}{V} \quad \dots\dots(7)$$

Persamaan ini digunakan dalam satuan metrik dan absah sepanjang $r \leq r_c$ (r_c = jarak kritis dalam meter = $0,21\sqrt{V/RT}$), selanjutnya *%A_{lcons}* tetap dan berharga sama dengan 9*RT*.

3. METODE PENELITIAN

Penentuan bahan penyerap akustik pada Ruang Al-Marwah MAS dilakukan dengan menggunakan pendekatan parameter obyektif, yang dicapai melalui metode penelitian yang dibangun dengan mengikuti tahap-tahap penentuan variabel, rancangan eksperimen, teknik pengumpulan data, dan analisis data. Kualitas dari ruang ditentukan dengan mengetahui bising latar belakang dan aras didalam ruang, serta mengetahui parameter akustik ruang yang bergantung pada energi dari suara langsung suara pantul dan suara dengung. Semua variabel ini dipengaruhi oleh bentuk, dimensi dan konstruksi ruang. Dengan mengoptimalkan semua variabel diatas, kualitas akustik ruang dapat dicapai dengan perencanaan pemasangan bahan-bahan akustik yang tepat agar dapat meminimumkan cacat akustik dalam ruang.

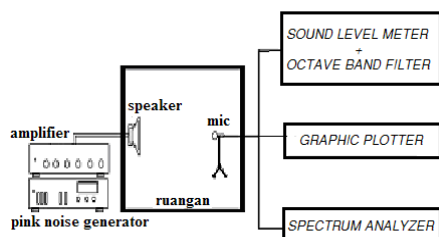
Studi awal yang telah dilakukan pada gambar perancangan Ruang Al-Marwah MAS memberikan deskripsi permukaan bahan akustik (existing) yang cenderung mempunyai koefisien serapan suara yang kecil, sehingga menghasilkan perhitungan waktu dengung (*RT*) yang jauh lebih besar dari pada yang dipersyaratkan (Tabel 1). Nilai *RT* untuk akustik percakapan dievaluasi pada frekuensi mid-band, yaitu rerata dari *RT* pada 500 Hz dan 1000 Hz pita 1/1-oktaf, dan biasanya untuk mencapai kondisi dengar optimum (Campanella 1995). Dengung yang berlebihan di dalam ruang harus dikurangi agar mencapai *RT* optimum yang dipersyaratkan, yaitu dengan cara melakukan perlakuan akustik pada permukaan-permukaan bagian dalam ruang.

Perancangan eksperimen dibangun dengan melakukan pengukuran akustik monaural didalam Ruang Al-Marwah MAS untuk

Tabel 1. Perhitungan waktu dengung Ruang Al-Marwah pada kondisi awal.

ANALISIS LINGKUNGAN AKUSTIK						
Deskripsi Permukaan Bahan/Material	Luas Permukaan (m ²)	$\alpha_{\text{mid-band}}$		$S\alpha$ (m ²)		Keterangan
		α_{500}	α_{1000}	$S\alpha_{500}$	$S\alpha_{1000}$	
Lantai, marmer	1500	0,01	0,01	15,00	15,00	existing
Dinding, tembok	723	0,03	0,04	21,69	28,92	existing
MDF	216	0,07	0,06	15,12	12,96	existing
Pintu, kayu jati	45	0,05	0,04	2,25	1,80	existing
Jendela, kaca	337	0,04	0,03	13,48	10,11	existing
kayu jati	158	0,05	0,04	7,90	6,32	existing
Ventilasi, grill	55	0,50	0,50	27,50	27,50	existing
Plafond, calciboard	1124	0,02	0,02	22,48	22,48	existing
calciboard	376	0,02	0,02	7,52	7,52	belum terpasang
Kolom tiang, tembok	373	0,03	0,04	11,19	14,92	existing
ΣS =	4907,00	$\Sigma S\alpha$ =		144,13	147,53	
Volume internal = V (m³) =	11696,40					
Koef. serapan akustik rerata, $\alpha_{\text{rerata}} = \Sigma S\alpha / \Sigma S =$				0,029	0,030	
Waktu dengung = RT (detik) = $0.161V / [-\ln(1 - \alpha_{\text{rerata}})] =$				12,87	12,57	perhitungan
Waktu dengung optimum = RT_{opt} (detik) =				1,5 - 2,2		(Cremer,1982)

mengetahui tanggap impuls antara sumber dan titik-titik (setiap titik 2 - 8 posisi mikropon yang terdistribusi keseluruh ruang) pada posisi pendengar atau audiens (Gambar 4).



Gambar 4. Skema pengukuran respon ruangan.

Bising latar belakang diamati terlebih dahulu dengan menggunakan *Sound Level Meter* (B&K 2231) + *Microphone* (B&K 4165) + *Octave Band Filter* (B&K 1625) pada beberapa titik yang mewakili kondisi audiens didalam ruang diatas. Bising latar belakang ini diperlukan untuk mengamati pengaruhnya terhadap aras suara yang dibangkitkan didalam kedua ruang tersebut.

Sumber suara yang berasal dari *Pink Noise Generator* diinputkan kepada sistem penguat audio ruangan untuk mendapatkan kondisi yang mendekati pengoperasian sebenarnya. Pada setiap posisi diatas, parameter akustik ruang ditentukan dari tanggap impuls yang diukur dan dinyatakan dalam pita oktaf dari 125 ~ 4000 Hz. Kemudian suara keluaran yang dipancarkan keseluruh ruangan diukur dengan *Sound Level Meter* + *Octave-band Filter* pada beberapa tempat yang mewaliki daerah pendengar atau audiens. Tanggap impuls dari ruang juga diamati dengan cara yang sama oleh *Personal Computer* dengan menggunakan software *Sample Champion PRO 2.5* dan *Sound Level Meter* + *Octave-band Filter* dengan *Reverberation Module* (BZ 7108), kecuali untuk mengukur waktu dengung (RT) sumber suara

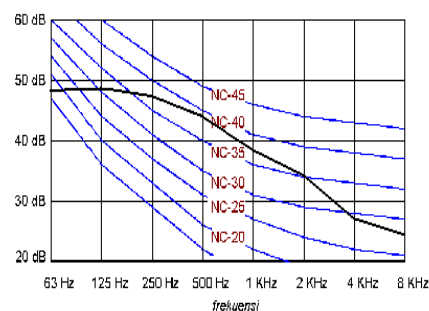
dimatikan untuk melihat peluruhan suara terhadap waktu atau sebagai alternatif dapat juga menggunakan metode impuls yang dihasilkan dari ledakan balon (*baloon burst*).

Parameter akustik obyektif yang diperoleh dari pengukuran didalam ruang, seperti waktu dengung (RT), EDT, D₅₀ dan C₅₀, diolah secara statistik dan kemudian dengan mempertimbangkan data dimensi dan konstruksi ruang yang digunakan, kejelasan percakapan (SI) yang berbasis pada nisbah energi akustik dan indeks artikulasi dapat dianalisis untuk menentukan kualitas akustik dari ruang. Analisis juga dilakukan dengan merata-ratakan data waktu dengung dan EDT dari 2 pita frekuensi tengah (*Mid-band*: 500 Hz dan 1000 Hz), 6 pita frekuensi (*All-pass*: 125 ~ 4000 Hz).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Bising Latar Belakang

Kriteria kebisingan dari suatu ruang yang difungsikan sebagai auditorium mempersyaratkan bising latar belakang dapat memenuhi persyaratan NC-25 hingga NC-35. Ruang Al-Marwah MAS berdasarkan data bising latar belakang yang diukur melewati kriteria bising yang dipersyaratkan pada daerah frekuensi pita tengah sebagaimana terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Kurva NC pada Ruang Al-Marwah.

4.2 Analisis Kejelasan Percakapan Berbasis Pada Waktu Dengung dan EDT

Untuk menekan biaya, pihak pengelola MAS hanya mengijinkan *treatment* pada plafond tengah dengan *perforated gypsum Jayaboard 13mm dengan luas bukaan 12%* dan kolom tiang dilapisi bahan krawangan kayu yang terpasang dengan celah 5 cm dari permukaan kolom.

Setelah semua bahan terpasang, maka dilakukan pengukuran akustik monaural berbasis tanggap impuls yang memberikan *RT* sebesar 5,52 detik (*Rerata_Mid*) dan 4,93 detik (*Rerata_All*) di dalam Ruang Al-Marwah MAS, yang lebih besar daripada *RT* yang dipersyaratkan untuk akustik percakapan (1,5~2,2 detik); sedang hasil perhitungan *RT* rerata mid-band adalah 5,18 detik (Tabel 2)

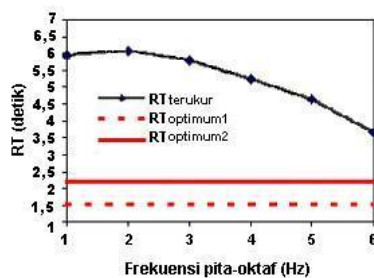
Dengan penambahan karpet pada lantai marmer, dengung yang berlebihan dapat dikurangi sehingga *RT* yang diinginkan dapat dicapai. Penambahan karpet pada lantai marmer akan mengurangi tampilan estetika, karena karpet ini menutupi tekstur dari marmer yang memang ingin ditonjolkan keindahannya. Jika lantai marmer dilapisi karpet 3/8 in (≈ 1 cm) akan memberikan *RT* rerata *mid-band* yang jauh berkurang, yaitu 2,52 detik (Tabel 3).

Ketika dilakukan uji coba dengan melapisi karpet (diperoleh dengan memindahkan karpet-karpet yang ada pada ruangan lain dari masjid) pada luasan lantai marmer dan dalam kondisi demikian kemudian dilakukan pengukuran akustik berbasis tanggap impuls di dalam Ruang Al-Marwah, diperoleh hasil pengukuran *RT*

Tabel 2. *Treatment* akustik pada plafond tengah dan kolom tiang.

ANALISIS LINGKUNGAN AKUSTIK						
Deskripsi Permukaan Bahan/Material	Luas Permukaan (m ²)	$\alpha_{\text{mid-band}}$		$S\alpha$ (m ²)		Keterangan
		α_{500}	α_{1000}	$S\alpha_{500}$	$S\alpha_{1000}$	
Lantai, marmer	1500	0,01	0,01	15,00	15,00	existing
Dinding, tembok	723	0,03	0,04	21,69	28,92	existing
MDF	216	0,07	0,06	15,12	12,96	existing
Pintu, kayu jati	45	0,05	0,04	2,25	1,80	existing
Jendela, kaca	337	0,04	0,03	13,48	10,11	existing
kayu jati	158	0,05	0,04	7,90	6,32	existing
Ventilasi, grill	55	0,50	0,50	27,50	27,50	existing
Plafond, calciboard	1124	0,02	0,02	22,48	22,48	existing
<i>perforated gypsum Jayaboard (13mm) dng.luas bukaan 12% krawangan kayu dng celah 5 cm yg diisi mineral wool</i>	376	0,40	0,40	150,40	150,40	rekomendasi
$\Sigma S =$	4907,00	$\Sigma S\alpha =$		350,42	350,09	
Volume internal = V (m ³) =	11696,40	Koef. serapan akustik rerata, $\alpha_{\text{rerata}} = \Sigma S\alpha / \Sigma S =$		0,071	0,071	
Waktu dengung = RT_{calc} (detik) = $0.161V / [-\ln(1 - \alpha_{\text{rerata}})] =$				5,18	5,18	Perhitungan
Waktu dengung optimum = RT_{opt} (detik) =				1,5 - 2,2		[Cremer,1982]

Gambar 6 menunjukkan hubungan waktu dengung terukur terhadap waktu dengung optimum didalam Ruang Al-Marwah MAS untuk akustik percakapan menurut penelitian Stephen dan Bate (Smith dkk. 1996) dan Cremer (Cremer dan Muller 1982). Selain itu, *RT* dan *EDT* > 2,2 detik pada daerah percakapan manusia (*Rerata_Mid*) akan menghasilkan dengung berlebihan yang mengurangi kejelasan percakapan.



Gambar 6. Hubungan *RT* terukur terhadap *RT* optimum di dalam Ruang Al-Marwah MAS.

(Gambar 7) menuju ke nilai *RT* optimum yang dipersyaratkan.

RT ini dihitung dalam keadaan kosong (tanpa penghuni) dan ketika ruang terisi sesuai kapasitasnya (± 500 orang) akan dicapai *RT* yang dipersyaratkan, sehingga menghasilkan peningkatan kualitas akustik ruang yang lebih baik.

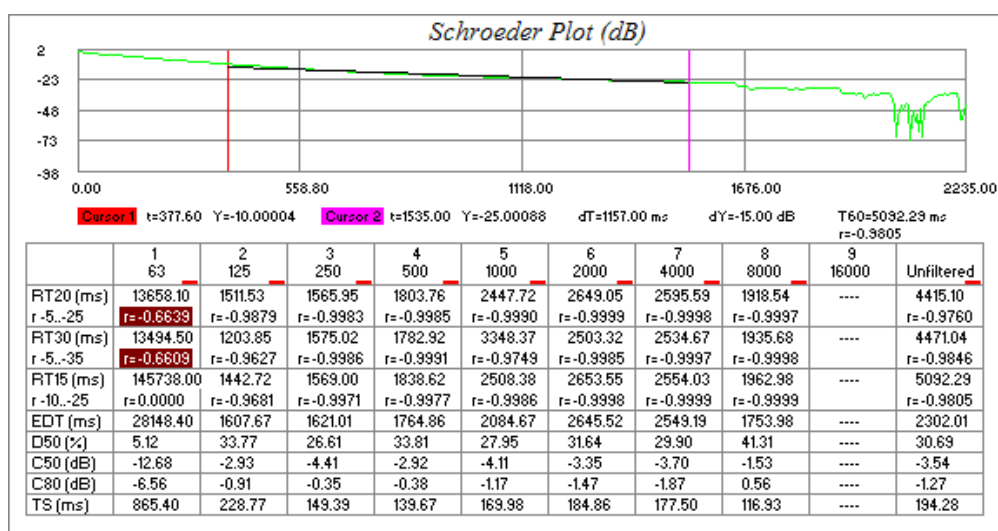
4.3 Analisis Kejelasan Percakapan Berbasis

$$\%A_{\text{cons}}$$

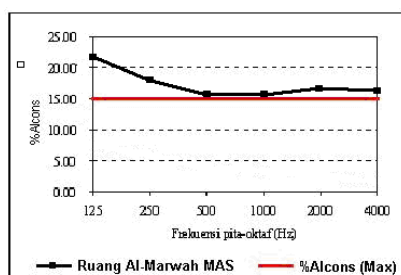
$\%A_{\text{cons}}$ maksimum untuk akustik percakapan didalam suatu ruangan adalah 15%. Ruang Al-Marwah MAS mempunyai nilai $\%A_{\text{cons}}$ sekitar 15 - 21%, sehingga memberikan kualitas akustik yang kurang memenuhi persyaratan.

Tabel 3. *Treatment* akustik pada lantai, plafond tengah dan kolom tiang.

ANALISIS LINGKUNGAN AKUSTIK							
Deskripsi Permukaan Bahan/Material	Luas Permukaan (m ²)	$\alpha_{\text{mid-band}}$		$S\alpha$ (m ²)		Keterangan	
		α_{500}	α_{1000}	$S\alpha_{500}$	$S\alpha_{1000}$		
Lantai,	marmar dilapisi karpet 3/8 in	1500	0,22	0,26	330,00	390,00	modifikasi
Dinding,	tembok	723	0,03	0,04	21,69	28,92	existing
	MDF	216	0,07	0,06	15,12	12,96	existing
Pintu,	kayu jati	45	0,05	0,04	2,25	1,80	existing
Jendela,	kaca	337	0,04	0,03	13,48	10,11	existing
	kayu jati	158	0,05	0,04	7,90	6,32	existing
Ventilasi,	grill	55	0,50	0,50	27,50	27,50	existing
Plafond	calciboard	1124	0,02	0,02	22,48	22,48	existing
	perforated gypsum Jayaboard (13mm) dng.luas bukaan 12% krawangan kayu dng celah 5 cm	376	0,40	0,40	150,40	150,40	rekomendasi
Kolom tiang,	yg diisi mineral wool	373	0,20	0,20	74,60	74,60	rekomendasi
$\Sigma S =$		4907,00	$\Sigma S\alpha =$		665,42	725,09	
Volume internal = V (m ³) =		11696,40					
Koef. serapan akustik merata, $\alpha_{\text{rata}} = \Sigma S\alpha / \Sigma S =$					0,136	0,148	
Waktu dengung = RT_{calc} (detik) = $0.161V / [-\ln(1 - \alpha_{\text{rata}})] =$					2,63	2,40	Perhitungan
Waktu dengung optimum = RT_{opt} (detik) =					1,5 - 2,2		[Cremer,1982]



Gambar 7. RT dan EDT dari Ruang Al-Marwah MAS dengan kondisi lantai marmar dilapisi karpet.

Gambar 8. Hubungan $\%Al_{\text{cons}}$ dari Ruang Al-Marwah MAS dengan $\%Al_{\text{cons}}$ maksimum untuk akustik percakapan.

Dengan demikian, Ruang Al-Marwah MAS dikategorikan memiliki *speech intelligibility* yang **Buruk** sampai **Cukup**.

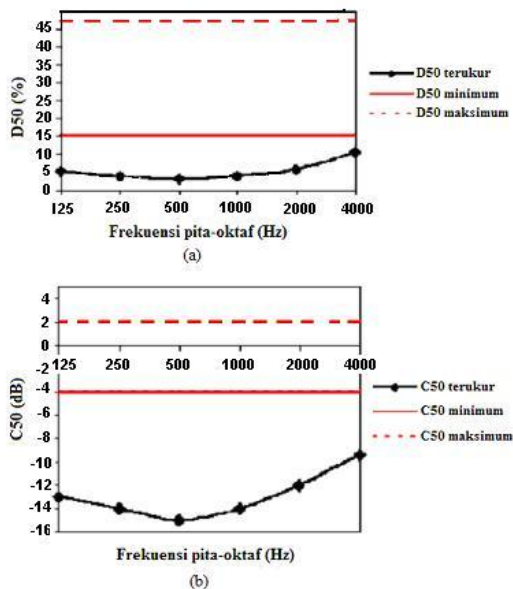
4.4 Analisis Kejelasan Percakapan Berbasis Pada Nisbah Energi Akustik (D_{50} dan C_{50})

Ruang Al-Marwah MAS memberikan kualitas akustik yang buruk berdasarkan parameter D_{50}

(Gambar 9), karena nilai D_{50} rendah (kurang daripada 15%); sedang nilai C_{50} memberikan kualitas akustik yang buruk pula, karena berada jauh di bawah batas bawah dari *clarity* yang dipersyaratkan oleh H.A. Muller (Muller 1993) untuk akustik percakapan. Ruang seperti ini memberikan kondisi dengung yang berlebihan, sehingga tidak dapat diterima untuk akustik percakapan.

5. SIMPULAN

Kualitas akustik dari Ruang Al-Marwah Masjid Nasional Al-Akbar Surabaya yang kondisi awalnya sangat buruk dengan waktu dengung di atas 12 detik dapat dikurangi dengan melakukan *treatment* akustik pada permukaan-permukaan dalam ruang. Dengan melakukan pengukuran akustik monaural, parameter akustik obyektif dari Ruang Al-Marwah dapat diketahui dari tanggap impuls ruang dan selanjutnya dapat digunakan dalam penentuan bahan penyerap akustik didalam ruang.



Gambar 9. D_{50} dan C_{50} pada Ruang Al-Marwah MAS terhadap persyaratan akustik untuk percakapan.

Ruang Al-Marwah Masjid Nasional Al-Akbar Surabaya yang ditreatment pada plafond dengan memasang bahan *perforated gypsum* (13mm, luas bukaan 12%) dan memasang krawangan kayu dengan celah 5 cm yang diisi mineral wool, memberikan kualitas akustik dengan kategori **Kurang** sampai **Cukup**, yang ditunjukkan oleh:

- Kriteria kebisingan masih melebihi persyaratan bising latar belakang yang dianjurkan, terutama pada daerah frekuensi *mid-band*;
- Waktu dengung rerata 5,52 detik dan *EDT* rerata 7,88 detik pada frekuensi *mid-band* memberikan dengung yang berlebihan di dalam ruang;
- D_{50} rerata pada kisaran 3,25 ~ 10,5% dan C_{50} rerata pada kisaran -15 ~ -9,4 dB memberikan kejelasan percakapan yang kurang baik;
- $\%Al_{cons}$ rerata pada kisaran 15 ~ 21% memberikan kejelasan percakapan yang kurang memadai.

DAFTAR ACUAN

- Asmoro, W.A. (2002), 'Akustik Ruang dan Sistem Audio: Kajian Teori dan Aplikasinya'. *Seminar Nasional Fisika*, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Barron, M. (1993), **Auditorium Acoustics and Architectural Design**, E & FN Spon, London.
- Bistafa, S.R. dan Bradley, J.S. (2000), 'Reverberation Time and Maximum Background Noise Level for Classroom from a Comparative Study of Speech Intelligibility Metrics'. *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 107(2), pp. 8611-875.
- Campanella, A.J. (1995), 'Preliminary Values of Clarity and Intelligibility for Small Auditoria, Meeting and Teleconference Room'. *The 129th meeting of ASA 1 June*, Washington DC. Internet: <<http://www.zainea.com/clarity.htm>>
- Carvalho, A.P.O. (2000), 'Acoustical Measures in Churches Porto's Clerigos Church, a Comprehensive Example'. *7th Int. Cong. Sound & Vib. 4-7 July, Garmisch-Partenkirchen, Germany*
- Carvalho, A.P.O., Morgado, A., Henrique, L. (1997), 'Relationship Between Speech Intelligibility and Objective Acoustical Parameters or Architectural Features in Catholic Churches'. *NOISE-CON 97 The Pennsylvania State University, June 14-15, Pennsylvania*
- Cremer, L. dan Muller, H.A. (1982), 'Principles and Application of Room Acoustics Vol. I'. Translated by Schultz, T.J., *Applied Science*, London.
- Kuttruff, H. (1979), **Room Acoustics**, Applied Science Publisher Ltd., London.
- Lam, Y.W. (1995), **Acoustics of Enclosed Spaces**. The University of Salford.
- Muller, H.A. (1993), 'Room Acoustical Criteria and their Meaning', *Proc. of the Conference "Acoustics and Recovery of Spaces for Music"*, Ferrara.
- Reynold, D.D. (1981), **Engineering Principles of Acoustics: Noise and Vibration Control**, Allyn & Bacon, Inc., Boston.
- Riandadari, D. dan Asmoro, W.A. (2002), 'Analisis Karakteristik Akustik Terhadap Tingkat Kejelasan Pembicaraan Didalam Masjid Al-Akbar Surabaya', *Seminar Tugas Akhir*, Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS.
- Smith, B.J., Peter, R.J., dan Owen, S. (1996), **Acoustics and Noise Control**, Addison Wesley Longman Ltd., Essex.
- Steeneken, H.J.M. (1999), 'The Measurement of Speech Intelligibility', *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 67, pp. 318-326.

Diterima: 02 Mei 2005

Disetujui untuk diterbitkan: 08 Februari 2007