

KUALITAS AKUSTIK RUANG PADA MASJID BERKARAKTER *OPENING WALL DESIGN* (STUDI KASUS: MASJID AL QOMAR PURWOSARI SURAKARTA)

Nur Rahmawati Syamsiyah¹, Sentagi Sosetya Utami², Atyanto Dharoko³

¹Jurusan Teknik Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

²Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta
Jl. Grafika No. 2 Kampus UGM Yogyakarta 55281 Telp 0274 580882

³Jurusan Teknik Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta
Jl. Grafika No. 2 Kampus UGM Yogyakarta 55281 Telp 0274 513665
email: nrs262@ums.ac.id

Abstrak

Masjid adalah tempat ibadah umat Islam yang menuntut ketenangan atau tingkat kebisingan rendah, distribusi bunyi merata, kejelasan wicara, dan bebas dari cacat akustik. Sedapat mungkin masjid didisain tertutup (*closing walls design*), sehingga *background noise* berupa kebisingan jalan raya tidak masuk ke dalam ruang masjid, karena dianggap mengganggu ibadah. Penelitian akustik ruang masjid karakter *closing walls design* sudah banyak dilakukan. Fokus penelitian umumnya adalah pengaruh bentuk geometris ruang dan efek penggunaan material terhadap waktu dengung. Akan menjadi menarik apabila masjid *opening walls design* diteliti. Bagaimana masjid ini memiliki kualitas akustik ruang yang baik. Masjid Al Qomar Purwosari Surakarta adalah masjid *opening walls design* sebagai objek penelitian. Fokus utama penelitian adalah menghitung tingkat bising luar (*background noise*), dan *reverberation time*. Pengukuran menggunakan microphone omni-directional yang terhubung dengan laptop dan Software Adobe Audition 1.5 untuk merekam bunyi letusan balon (*balloon burst*) dalam pengambilan data respon impuls. Hasil pengukuran menunjukkan *background noise level* 51,5 dB karena letak masjid di pinggir jalan raya yang cukup padat. *Reverberation time* T_{20} 0,644 detik dan T_{30} 0,58 detik. Nilai ini masuk dalam kategori bagus (0,5 – 1,0 detik). Sedangkan nilai rasio energy bunyi yang diterima dengan keseluruhan energy bunyi yang dihasilkan (*definition*) pada D_{50} adalah 59,88 %. Nilai ini masih masuk dalam kategori *speech intelligibility* yang bagus dengan standard 45-70%. Kesimpulannya adalah sekalipun lebih dari setengah luas dinding merupakan bukaan, di mana *background noise* atau kebisingan dari jalan raya akan lebih mudah masuk, namun perolehan kualitas akustik ruang termasuk kategori bagus. Penyebabnya adalah setting ruang dalam masjid (bentuk permukaan geometric ruang dan penutup elemen ruang) mampu bekerja optimal sebagai *diffuser* dan *absorber*. Adapun kebisingan dari jalan raya dan jalan lingkungan dapat diatasi dengan *greenery wall system*.

Kata kunci: *greenery wall system; kejelasan wicara; opening walls design; waktu dengung*

Pendahuluan

Masjid adalah tempat ibadah umat Islam yang sangat menuntut persyaratan ketenangan atau tingkat kebisingan rendah, distribusi bunyi yang merata, waktu dengung yang optimum berpengaruh pada kejelasan wicara, dan bebas dari cacat akustik. Sedapat mungkin masjid didisain tertutup, sehingga *background noise* dari lingkungan sekitar tidak masuk ke dalam ruang masjid, karena bunyi tersebut dianggap mengganggu kekhusyukan dalam beribadah. Pertimbangan disain yang umum digunakan agar tercapai persyaratan tersebut di atas adalah *closing walls design*, menutup dinding-dinding masjid dengan jendela dan pintu kaca. Sementara itu kenyamanan termal ruang diperoleh melalui alat bantu kipas angin atau alat pengkondisi udara ruang (*Air Conditioning*).

Terdapat tiga aktifitas utama yang dilakukan di dalam ruang masjid, yang berbeda satu sama lain dan dapat berlangsung secara terpisah atau secara bersamaan/berurutan; 1) ibadah sholat; 2) khutbah atau ceramah, baik yang merupakan rangkaian shalat Jum'at ataupun tidak; 3) diperdengarkan atau dibacakannya ayat-ayat dari kitab suci Al-Qur'an. Tiga kegiatan utama tersebut sangat membutuhkan kondisi akustik ruang yang baik. Manakala khotib berkhutbah, maka bunyinya harus dapat didengar dengan jelas oleh setiap jemaah di seluruh ruangan. Jika tidak, maka jemaah tidak akan memberikan perhatian dan jemaah cenderung berbicara atau berbisik dengan jemaah lain di

sebelahnya atau mengantuk. Keadaan ini jelas tidak diinginkan, karena pesan moral dari khutbah tidak dapat ditangkap dengan sempurna oleh jamaah. Sama halnya shalat berjamaah, arah datang bunyi imam seharusnya dari depan. Bunyi yang datang dari arah lain dapat mengganggu kekhusyuan ibadah. Tuntutan persyaratan tersebut akan lebih mudah dikondisikan di dalam ruang masjid yang tertutup.

Rancangan bangunan masjid di Indonesia pada umumnya sangat dipengaruhi oleh budaya dan iklim setempat. Saat ini banyak bermunculan masjid dengan disain modern. Masjid tersebut masih menyesuaikan iklim namun tidak lagi dipengaruhi budaya. Unsur arsitektur modern minimalis dan penutup selubung bangunan dinding yang cenderung massif, umumnya menjadi daya tarik tersendiri untuk masjid-masjid moderen. Sayangnya, masih banyak masjid yang memiliki keindahan eksterior dan interior, namun kurang memperhatikan rancangan akustiknya. Hal inilah yang menyebabkan kinerja akustik masjid di Indonesia menjadi kurang baik. Arsitektur masjid yang terkait dengan kinerja akustik adalah bentuk atap yang akan mempengaruhi bentuk langit-langit, bentuk denah dan dinding termasuk pintu, jendela, bukaan-bukaan, dan bahan-bahan permukaan elemen ruang utama masjid (<http://digilib.gunadarma.ac.id/go.php?id=jbptitbpp-gdl-res-2001-soegijanto-1691>, diakses 16 Oktober 2014)



Gambar 1. Masjid-masjid disain modern Al Irsyad (Bandung), An Nuur (Sidoarjo) dan As Salaam (OKU)
(sumber : dokumen penulis, 2014)

Permasalahan Penelitian

Beberapa penelitian akustik ruang masjid, dengan karakter *closing walls design* sudah banyak dilakukan. Penelitian banyak terfokus pada waktu dengung sebagai akibat dari bentuk geometris ruang dan penggunaan material. Waktu dengung atau *reverberation time (RT)* merupakan indikator penting di dalam ruang yang menekankan kejelasan wicara. Waktu dengung ini terbentuk karena proses diffuse, difraksi dan absorpsi bunyi yang terjadi di dalam ruang. Sedangkan diffuse (sebaran bunyi), difraksi (penghamburan dan pembelokan bunyi), absorpsi (penyerapan bunyi) terjadi bergantung pada factor : bentuk geometri denah ruang sholat, eksisting material, kolom, balok, lapisan permukaan dinding, lantai, dan ceiling. Dengan demikian akan menjadi sesuatu yang menarik dan merupakan penelitian yang langka, apabila factor bukaan dinding masjid menjadi permasalahan utama penelitian ini. Bagaimana bukaan pada dinding (*opening walls design*) berpengaruh pada nilai akustik ruang dan bagaimana penggunaan material dapat memberikan efek terhadap kualitas bunyi yang terjadi di dalamnya. Penelitian ini mengambil studi kasus Masjid Al Qomar Purwosari Surakarta, yang lebih dari separuh luas dindingnya adalah terbuka, baik berupa pintu, jendela maupun lubang-lubang angin. Luas total dinding 192m².



Gambar 2. Masjid Al Qomar tampak luar dan tampak dalam dengan beberapa bentuk bukaan
(sumber : dokumentasi penulis, 2014)

Pengaruh Bentuk Geometri Ruang Dalam Masjid Terhadap Kualitas Akustik Ruang

Formasi elemen akustik dalam sebuah ruangan akan menentukan kinerja akustik ruang tersebut sesuai dengan fungsi ruang. Masjid merupakan ruangan yang menuntut kenyamanan akustik. Formasi elemen ruang yang ideal untuk menciptakan kenyamanan akustik ruang dalam masjid adalah sebagai berikut; dinding depan elemen pemantul atau penyebar, dinding samping kombinasi pemantulan dan penyerap, dinding belakang penyerap atau penyebar, langit-langit penyerap bila menggunakan *sound system* atau kombinasi pemantul-penyebar bila tanpa *sound system*, lantai penyerap atau penyebar (<http://duniaakustik.wordpress.com/>, diakses 28 April 2014).

Abdou (2003) mengatakan bahwa kinerja akustik ruang masjid sangat tergantung juga dari bentuk geometri ruang utama masjid. Terdapat 5 bentuk geometri ruang yang diteliti dengan volume yang sama; bujur sangkar

(square), persegi panjang (rectangle), segi enam (hexagon), segi delapan (octagon) dan trapezium (trapezoid). Bentuk square adalah yang terbaik dalam memberikan distribusi bunyi merata hingga terdengar dengan baik diseluruh bagian ruang. Bentuk octagon adalah yang paling rendah memberikan distribusi bunyi merata, karena terbentuk interferensi gelombang bunyi yang saling menguatkan di tengah ruang dan beberapa sisi ruang. Selain bentuk geometri ruang, bentuk ceiling berpengaruh juga pada kenyamanan akustik. Perbandingan bentuk atap masjid yang berefek pada bentuk ceiling ruang utama masjid diteliti oleh Icha (2005) dan Kavraz (2014). Icha meneliti 3 bentuk atap masjid yang umum di Indonesia, yaitu bentuk tajug, kubah dan datar. Software CATTv7.2 dapat menunjukkan bahwa langit-langit masjid datar memiliki nilai akustik yang paling baik dibandingkan dengan bentuk lainnya. Hal ini ditunjukkan dari nilai-nilai kuantitatif; waktu dengung (RT) dan tingkat distribusi tekanan bunyi. Sedangkan Kavraz mensimulasi Masjid Bostepe Osmanli Turki dengan berbagai tipe atap; kubah, datar, pyramid, dan prisma. Perbedaan bentuk atap tidak berpengaruh terhadap perbedaan perolehan RT, EDT, sebab volume ruang utama Masjid Bostepe adalah tetap, dan volume ruang bawah atap relative hampir sama. Nilai RT dan EDT setiap tipe atap rata-rata tinggi saat ruang kosong, sehingga kurang media penyerapan. Utami (2005) mempertimbangkan perlunya memperhatikan diameter dan ketinggian kubah pada sebuah masjid, agar memiliki proporsi yang sesuai dengan ruang sholat utama di bawahnya. Bentuk kubah meninggi akan mengurangi intensitas bunyi, yang sesungguhnya diperlukan dalam masjid. Selain itu bentuk kubah tinggi, maka titik temu dari pantulan-pantulan permukaan ceiling kubah akan berada pada posisi lebih tinggi dari telinga orang normal mendengar, sehingga menjadi sangat tidak efektif. Semakin tinggi posisi penerima bunyi, maka seharusnya efek akustik yang akan dihasilkan oleh ceiling bentuk kubah akan semakin tinggi, sesuai ketinggian/posisi telinga.

Bentuk geometri ruang dalam dan berbagai bentuk (shape) permukaan dinding dan ceiling, yang umumnya sekaligus sebagai ornamentasi interior, rupanya belum memberikan kejelasan yang penuh dalam penelitian akustik. Keberadaan mihrab memainkan peran penting juga dalam akustik masjid. Mihrab dapat menciptakan nonuniformity bunyi di ruang sholat jamaah. Ahmad, et.al (2013) membandingkan 5 masjid tradisional di Malaysia yang dibangun antara 1728-1830, dengan sumber bunyi buatan yang berada di mihrab dengan beberapa posisi arah speaker; arah ke dalam mihrab, arah ke jamaah dan sumber bunyi berada di ruang jamaah. Hasil pengukuran 3 kondisi sumber bunyi di kelima masjid, rata-rata tidak menunjukkan perbedaan signifikan. Dengan kata lain keberadaan mihrab tidak begitu berpengaruh pada perbedaan nilai SPL (sound pressure level) di semua posisi speaker di kelima masjid.

Bahan Penutup Elemen Ruang Dalam Masjid dan Pengaruhnya Terhadap Kualitas Akustik Ruang

Pengendalian medan bunyi dalam ruang (tertutup), pada dasarnya dilakukan untuk mengatur karakteristik pemantulan gelombang bunyi yang dihasilkan oleh permukaan dalam ruang, baik itu dari dinding, langit-langit, maupun lantai. Ada 3 elemen utama yang dapat digunakan untuk mengatur karakteristik pemantulan ini yaitu:

1. Elemen Pemantul (Reflector)

Elemen ini pada umumnya digunakan apabila ruang memerlukan pemantulan gelombang bunyi pada arah tertentu. Ciri utama elemen ini adalah secara fisik permukaannya keras dan arah pemantulannya spekulat (mengikuti kaidah hukum Snellius: sudut pantul sama dengan sudut datang).

2. Elemen Penyerap (Absorber)

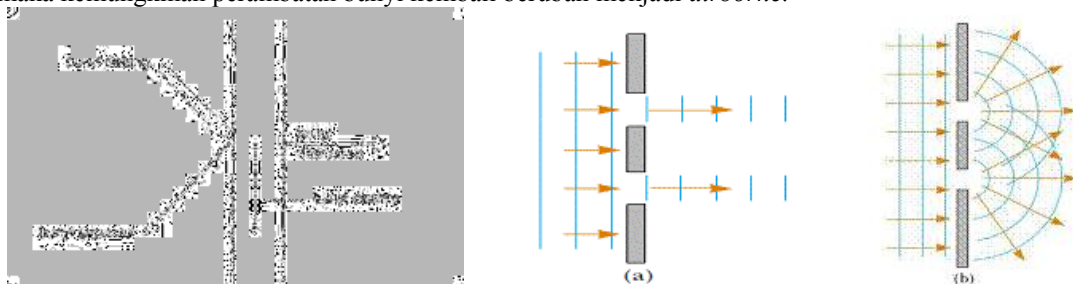
Elemen ini digunakan apabila ada keinginan untuk mengurangi energi bunyi di dalam ruangan, atau dengan kata lain apabila tidak diinginkan adanya energi bunyi yang dikembalikan ke ruang secara berlebihan. Efek penggunaan elemen ini adalah berkurangnya waktu dengung ruang (reverberation time). Ciri utama elemen ini adalah secara fisik permukaannya lunak/berpori atau keras tetapi memiliki bukaan (lubang) yang menghubungkan udara dalam ruang dengan material lunak/berpori dibalik bukaannya, dan mengambil banyak energi gelombang bunyi yang datang ke permukaannya. Khusus untuk frekuensi rendah, elemen ini dapat berupa pelat tipis dengan ruang udara atau bahan lunak dibelakangnya.

3. Elemen Penyebar (Diffusor)

Elemen ini diperlukan apabila tidak diinginkan adanya pemantulan spekulat atau bila diinginkan energi yang datang ke permukaan disebar secara merata atau acak atau dengan pola tertentu, dalam level di masing-masing arah yang lebih kecil dari pantulan spekulatnya. Ciri utama elemen ini adalah permukaannya yang secara akustik tidak rata. Ketidakrataan ini secara fisik dapat berupa permukaan yang tidak rata (beda kedalaman, kekasaran acak, dan sebagainya) maupun permukaan yang secara fisik rata tetapi tersusun dari karakter permukaan yang berbeda-beda (dalam formasi teratur ataupun acak). Energi gelombang bunyi yang datang ke permukaan ini akan dipantulkan secara non spekulat dan menyebar (level energi terbagi ke berbagai arah). Elemen ini juga memiliki karakteristik penyerapan. (<http://duniaakustik.wordpress.com/>, diakses 28 April 2014)

Perilaku bunyi yang merambat di udara atau airborne yang berasal dari sumber bunyi yang bergetar, gelombang bunyi akan terus merambat ke segala arah, menempuh jarak tertentu, melemah kemudian menghilang. Adakalanya gelombang bunyi mengenai bidang-bidang dalam ruang, sehingga dapat berubah menjadi structurborne, kemudian diserap atau diteruskan/ditransmisikan. Bila perambatan gelombang bunyi ini mengenai lubang/celah ataupun penghalang, maka akan terjadi duplikasi sumber atau dengan kata lain akan terjadi penguatan

bunyi. Kemungkinan lain yang akan terjadi adalah resonansi bunyi, yaitu bila frekwensi bunyi sama dengan frekwensi bidang yang dikenainya. Bila frekwensi bunyi adalah rendah (berarti gelombang panjang atau getarannya hebat) maka kemungkinan perambatan bunyi kembali berubah menjadi *airborne*.



Gambar 3. Bunyi mengenai bidang ruang, terpantul, diserap, diteruskan atau difraksi (sumber : Mediastika, 2005, p.48)

Tabel 1. Koefisien serap beberapa material bangunan

Material Bangunan	Koefisien serap pada frekwensi 500 Hz ¹	Material Bangunan	Koefisien serap pada frekwensi 500 Hz
Lantai :		Dinding :	
Semen	0,015	Tirai kain tipis/sedang/tebal	0,11/ 0,49/ 0,55
Semen dilapis keramik	0,01	Kaca halus	0,01
Semen dilapis karpet tipis	0,05	Kaca kasar/buram	0,04
Semen dilapis karpet tebal	0,14	Plafon :	
Semen dilapis kayu	0,10	Plafon dag	0,015
Dinding :		Eternity	0,17
Batu bata dipleser halus	0,02	Gypsum	0,05
Batu bata dipleser kasar	0,01	Alumunium, furniture	0,01
Batu bata ekspos	0,06	Kursi kain	0,60
Papan kayu	0,10	Kursi plastic	0,01
Kolom beton dicat	0,04	Udara	0,007 (2000 Hz)
Kolom beton tidak dicat	0,06	Manusia	0,46

Sumber: Mediastika, 2005, p.85

Reverberation Time (waktu dengung)

Waktu dengung adalah acuan awal dalam disain akustik ruang. Waktu dengung adalah waktu yang dibutuhkan oleh suatu sumber bunyi yang dihentikan seketika untuk turun intensitasnya sebesar 60 dB dari intensitas awal. Karakteristik permukaan bidang mempengaruhi terjadinya pantulan, serapan dan sebaran bunyi. Pantulan yang terjadi terus menerus mengakibatkan terjadinya waktu dengung yang lebih panjang. Bangunan masjid adakalanya memerlukan waktu dengung lebih panjang, agar suara alunan ayat-ayat Al Qur’an terdengar lebih merdu dan syahdu. Namun kondisi ideal waktu dengung untuk sumber bunyi suara imam atau khatib tetap menjadi standar utama. Waktu dengung untuk ruangan yang aktifitasnya banyak percakapan (alamiah) 0,5-1 detik, untuk aktifitas music 1-2 detik (Mediastika,2005,p.81). Waktu dengung tergantung juga pada volume ruang dan luas permukaan bidang pembentuk ruang :

Tabel 2. Kesesuaian waktu dengung berdasarkan fungsi ruang

Fungsi Ruang	Volume Ruang (m3)	Waktu dengung (detik)
Kantor	30	0,5
	100	0,75
Ruang Konverensi	100	0,5
	1000	0,8
Studio Musik	500	0,9
	5000	1,5
Gereja	500	1,5
	5000	1,8

Sumber : Mc Mullan,1991, dalam Mediastika,2005

Early Decay Time (EDT), Clarity (C) dan Definition (D)

EDT atau *Early Decay Time* yaitu perhitungan waktu dengung (RT) yang didasarkan pada pengaruh bunyi awal yaitu bunyi langsung dan pantulan-pantulan awal yaitu waktu yang diperlukan Tingkat Tekanan Bunyi (TTB) untuk meluruh sebesar 10 dB. Standar nilai EDT untuk ruang pembicaraan adalah 0,648 – 0,81 detik. Pengukuran EDT

¹ Frekwensi 500 Hz dipakai sebagai rerata koefisien absorpsi material pada umumnya

disarankan untuk menghitung parameter subjektif seperti *clarity*. *Clarity* atau kejernihan bunyi diukur dengan membandingkan antara energi suara yang termanfaatkan (yang datang sekitar 0.05 – 0.08 detik pertama setelah suara langsung) dengan suara pantulan yang datang setelahnya, dengan mengacu pada asumsi bahwa suara yang ditangkap pendengar dalam percakapan adalah antara 50-80 ms dan suara yang datang sesudahnya dianggap suara yang merusak. Semakin tinggi nilai C_{50} , maka semakin pendek waktu dengung, demikian pula sebaliknya. Tingkat kejelasan pembicaraan akan bernilai baik jika C_{50} lebih kecil atau sama dengan -2 dB. C_{80} merupakan rasio dalam dB antara energi yang diterima pada 80 ms pertama dari *signal* yang diterima dan energy yang diterima sesudahnya. Batas ini ditujukan untuk kejelasan pada musik. Nilai C_{80} adalah nilai parameter yang terukur lebih dari 80 ms, semakin tinggi nilai C_{80} maka suara akan semakin tidak bagus.

Definition adalah kriteria dalam penentuan kejelasan pembicaraan dalam suatu ruangan dengan cara memanfaatkan konsep perbandingan energi yang termanfaatkan dengan energy bunyi total dalam ruangan. D_{50} merupakan rasio antara energi yang diterima pada 50 ms pertama dengan total energi yang diterima. Durasi 50 ms disebut juga batas kejelasan *speech* yang dapat diterima. Semakin besar nilai D_{50} maka semakin baik pula tingkat kejelasan pembicaraan, karena semakin banyak energi suara yang termanfaatkan dalam waktu 50 ms. Intelligibilitas atau kejelasan yang baik didapatkan untuk harga $D_{50} > 0\%$. Adapun kategori penilaian bagi *speech intelligibility* berdasarkan D_{50} sebagai berikut :

Tabel 3. Kategori penilaian *Speech Intelligibility* berdasarkan D_{50}

D_{50} (%)	<i>Speech Intelligibility</i> SI (%)	Kategori
0 - 20	0 - 60	Sangat buruk
20 - 30	60 - 80	Buruk
30 - 45	80 - 90	Cukup/ sedang
45 - 70	90 - 97,5	Bagus
70 - 80	97,5 - 100	Sangat bagus

(Sumber : Ribeiro, dalam Indiani et.al, 2007)

Opening Wall Design pada Masjid

Seiring dengan semakin mahalnya energi fosil di dunia, dan sebagai upaya konservasi energy, Indonesia menerapkan konsep membangun mengacu pada konsep bangunan hijau (*green building*). Pemanfaatan energi terbarukan seperti energi matahari dan angin, dalam kaitannya dengan energi pencahayaan dan penghawaan semakin banyak dijadikan pertimbangan utama di dalam desain selubung bangunan. Konsep bangunan tapak terbuka (*open-plan*) umumnya menjadi pilihan. Sama halnya dengan bangunan ibadah, konsep keterbukaan dapat pula dijadikan acuan disain, dengan demikian pemakaian energi fosil untuk pencahayaan dan penghawaan ruangan bisa dikurangi.

Rancangan bangunan ibadah yang ‘terbuka’ bila ditinjau dari aspek fungsi (*utilitas*), mungkin kurang sesuai karena fasade yang terbuka menjadi penyebab masuknya bising luar ke dalam masjid yang akan mengganggu. Namun bila ditinjau dari aspek estetika (*venusitas*) mungkin akan lebih menarik karena sesuai dengan konsep arsitektur hijau, dimana memanfaatkan cahaya dan udara alami seoptimal mungkin. Sedangkan aspek kekuatan (*firmitas*), dinding-dinding yang terbuka tidak akan mempengaruhi struktur atau kekuatan bangunan secara keseluruhan, selama struktur utama (kolom dan balok) benar penempatannya dan sesuai analisis struktur.

Metode Penelitian

Kinerja akustik ruang masjid dinyatakan sebagai kemampuan elemen ruang menjalankan fungsinya, sehingga jamaah di dalam masjid mampu mendengar suara imam, khatib dan alunan ayat suci Al Qur’an dengan jelas. Ukuran kinerja akustik dinyatakan dengan *background noise* dan respon impuls ruang. *Background noise* dimaksudkan untuk mengetahui besaran kriteria kebisingan (*Noise Criteria*) terhadap kondisi kebisingan lingkungan (jalan raya, jalan kecil dan perkampungan). Respon impuls berupa waktu dengung (*Reverberation Time*), waktu peluruhan (*Early Decay Time*), D_{50} (*Definition*), C_{50} dan C_{80} (*Clarity*), serta TS (*Centre Time*). Pengukuran ini lebih objektif dan bersifat analitis. Frekwensi terekam dalam rentang 16-20000 Hz.



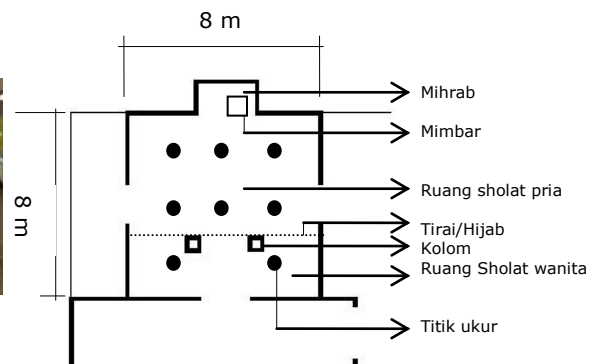
Sumber bunyi posisi mimbar



Persiapan balon sebagai sumber bunyi



Microphon omni-directional



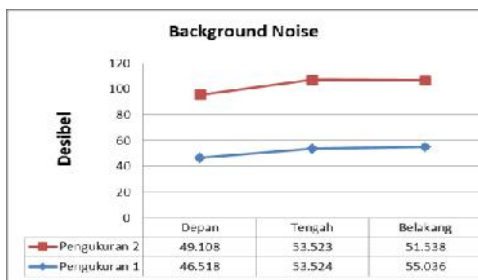
Gambar 4. Letak titik ukur (kanan) dan foto saat pengukuran (tengah-kiri) (sumber : adaptasi penulis, 2014)

Alat ukur menggunakan sensor dilengkapi dengan microphone *omni-directional* yang telah terhubung dengan laptop dengan spesifikasi *Software Adobe Audition 1.5*. Respon impuls ruang masjid diukur dengan menggunakan metode “*balloon burst*”, yaitu metode pengukuran yang memanfaatkan letusan balon (sebagai sumber bunyi) untuk membangkitkan suara impuls. Tujuannya untuk mendapatkan data pengukuran yang sesuai dengan fungsi ruang *speech*. Pengukuran dilakukan dalam ruang kosong, dengan 2 posisi sumber bunyi; di mihrab (posisi imam memimpin sholat) dan di mimbar (posisi khatib menyampaikan ceramah/khutbah). Saat sumber bunyi di mihrab, maka posisi *microphone* sesuai dengan ketinggian telinga orang Indonesia pada umumnya, posisi berdiri 150 cm. Sedangkan ketika sumber bunyi di mimbar, maka posisi *microphone* sesuai ketinggian telinga saat orang duduk 80 cm. Pengukuran dilakukan dalam 2 keadaan ruang; tirai/hijab (pemisah shaf pria dan shaf wanita) terbuka dan tertutup. Tirai terbuka saat sumber bunyi di mimbar, sesuai dengan keadaan saat khatib berkhutbah dan saat sumber bunyi di mihrab, yaitu sesuai dengan kondisi saat dilakukan sholat Jum’at. Sementara itu tirai tertutup saat sumber bunyi di mihrab, yaitu sesuai keadaan ketika shalat fardhlu dilakukan, dimana ada jamaah pria dan jamaah wanita yang terpisah.

Hasil dan Pembahasan

Background noise

Pengukuran *background noise* pada Masjid Al Qomar diperoleh hasil rata-rata yang cukup tinggi, yaitu mencapai 51,5 dB. Nilai tersebut jauh di atas syarat bising *background noise* yang diperbolehkan untuk masjid (sebagai bangunan ibadah), yaitu 25-35 dB (Kinsler,et.al,2000,p.364). *Background noise* yang tinggi sangat dimungkinkan karena lokasi masjid berada pada jarak 20 m dari jalan raya dan jarak 8 m dari rel kereta api, serta hampir separuh luas permukaan dinding adalah bukaan. Saat pengukuran kebisingan hanya berasal dari jalan raya.



Gambar 5. Grafik *Background noise* pada beberapa bagian masjid (sumber : Analisis penulis, 2014)

Bagian depan masjid (dekat mihrab-masjid arah Barat) memiliki elemen ruang (dinding) yang lebih tertutup bila dibandingkan dengan elemen dinding pada bagian yang lain. Dinding tengah masjid arah Utara-Selatan terbuka, yaitu berupa pintu, menyebabkan *background noise* dari luar masjid dengan mudah masuk ke dalam masjid, sehingga perolehan nilai decibel lebih tinggi. Sementara itu pada bagian belakang masjid (tempat sholat jamaah wanita) cukup terbuka pada bagian belakang.

Reverberation Time (waktu dengung)

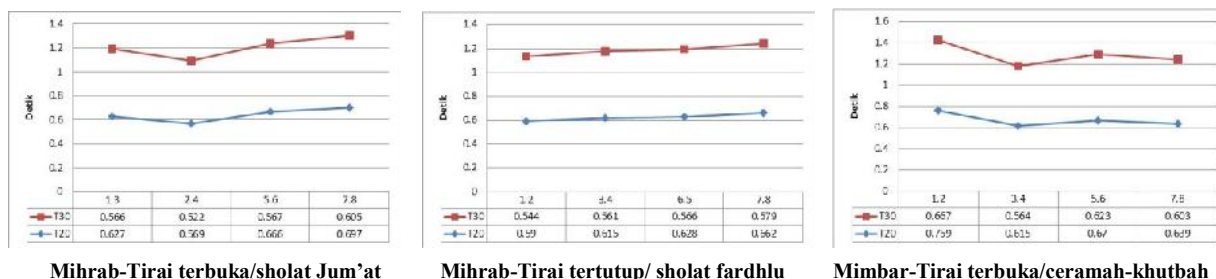
Waktu dengung yang diperoleh memiliki rata-rata sesuai dengan standar fungsi ruang untuk *speech* 0,5 detik < RT < 1,0 detik, yaitu rentang 0,58– 0,644 detik. Karakteristik akustik Masjid Al Qomar dapat dilihat dalam table 4. Bila menyesuaikan standar Mc Mullan (dalam Mediastika, 2005) dan Kayili (2005) maka volume ruang masjid Al Qomar sebesar 576 m³ sebaiknya memiliki nilai RT 1,5-1,6 detik. Nilai RT ini cukup tinggi bila dibandingkan dengan hasil pengukuran. Pengukuran RT saat kondisi masjid kosong saja rata-rata 0,612 detik, maka ketika penuh berisi jamaah RT akan mengalami penurunan, karena tubuh manusia (jamaah) merupakan absorber yang baik. Perolehan RT yang rendah sangat dimungkinkan mengingat lantai berlapis karpet ($\alpha=0,37$), dinding berupa bata ekspose ($\alpha=0,06$) dan yang penting juga *opening wall system*, dimana udara bebas bergerak ke luar dan ke dalam ruang pun adalah sebagai absorber. Bila dibandingkan dengan penelitian Mariani (2008,p.255) terhadap masjid Al Markaz Al Islami, waktu dengung masjid tinggi 1,41-1,31 detik, walaupun masjid dipenuhi jamaah. RT tinggi disebabkan karakteristik bahan permukaan ruang yang terdiri dari 59,6% bahan pemantul (α 0,01-0,1), antara lain granit dan beton; 33,5% bahan pemantul dengan α (0,05-0,19), antara lain kayu dan gipsum; dan selebihnya hanya 6,9% bahan penyerap dengan α (0,20-1,00), antara lain kaca ringan, karpet/sajadah dan *open windows* yang menyerap sempurna.

Tabel 4. Rekapitulasi hasil pengukuran respon impuls ruang dalam masjid

Frek. 500 Hz	Tirai Terbuka/ Sholat Jum'at	Tirai Tertutup/ Sholat Fardhlu	Khutbah/ Ceramah	Rata-rata
T20	0.639	0.623	0.67	0.644
T30	0.565	0.562	0.614	0.58
EDT	0.735	0.763	0.708	0.735
C50	1.535	1.457	3.105	2.03
C80	5.51	5.2	6.145	5.618
D50	57.33	56.92	65.412	59.88
TS	0.055	0.055	0.051	0.053

Sumber : analisis penulis, 2014

Sesungguhnya dengung yang optimum pada ruang masjid (RT lebih tinggi) dibutuhkan untuk menunjang kejelasan pembicaraan (*speech intelligibility*) pada aktivitas seperti ceramah/khutbah, dan untuk terciptanya estetika bunyi untuk aktivitas seperti mengaji, shalawat dan adzan. Tetapi dengung yang berlebihan akan merusak kejelasan pembicaraan. RT rata-rata dalam tiga kondisi terlihat dalam gambar 6.



Gambar 6. Waktu dengung rata-rata dalam tiga kondisi (sumber : analisis penulis, 2014)

Grafik menunjukkan adanya pengaruh yang cukup signifikan pada posisi belakang (ruang sholat wanita) di titik 7 dan 8, antara sumber bunyi yang berasal dari mihrab dan dari mimbar. Sumber bunyi di mihrab (posisi imam sholat hadap kiblat), pada grafik menunjukkan nilai RT yang meningkat (rata-rata 0,635 detik), dari titik amatan depan sampai ke titik amatan di belakang. Hal ini dimungkinkan karena terjadi pantulan di ruang mihrab yang terus menerus, hingga ketika energy bunyi sampai di belakang masih mencukupi untuk mengenai bidang dinding atau kolom, sehingga masih terjadi pantulan. Sementara itu ketika sumber bunyi di mimbar (posisi menghadap jamaah), gelombang bunyi langsung terarah ke ruang sholat dan sangat dimungkinkan terjadi penyerapan oleh karpet dan dinding bata ekspose atau bahkan udara, sehingga energy bunyi sudah berkurang akibat penyerapan, hingga tidak sampai ke ruang belakang, akibatnya kecenderungan perolehan waktu dengung menurun (rata-rata 0,621 detik).

Hasil pengukuran EDT (pengaruh *first reflection* pada dinding) rata-rata pada tiap kondisi sebesar 0,735 detik. Keadaan ini sudah dapat menunjang aktifitas di dalam masjid terutama untuk pencapaian karakter *speech* dimana standar EDT adalah $0,648 < EDT \leq 0,810$ detik. Hasil ini menunjukkan bahwa material penutup elemen ruang dalam masjid bersifat absorben, berupa karpet, tirai dan batu bata ekspose.

Hasil pengukuran terhadap D_{50} rata-rata sebesar 59,88% dan terletak di antara nilai SI 90%–97,5%, sehingga tingkat kejelasan percakapan (*speech intelligibility*) masih termasuk kategori bagus. Perlu diusahakan perbaikan RT dan EDT guna meningkatkan *speech intelligibility* menjadi >97,5% (sangat bagus). *Clarity* merupakan perbandingan energi suara awal yang datang pada selang waktu 0-50 ms dibandingkan dengan energi suara selanjutnya. C_{50} merupakan nilai kejernihan untuk karakter *speech*. Hasil pengukuran C_{50} rata-rata menunjukkan 2,03 dB, hal ini belum mencapai standar untuk karakter *speech* yaitu $C_{50} > 6$ dB, maka penilaian *clarity* ruang dalam Masjid Al Qomar masih kurang bagus. Kondisi ini memperkuat masalah perlunya *treatment* dalam desain eksterior terutama parameter reduksi bising luar (*background noise*), guna meningkatkan karakter *speech*, yaitu dengan menambahkan bahan-bahan interior yang bersifat absorben pada bidang-bidang elemen eksterior. C_{80} merupakan nilai kejernihan untuk karakter *music*, yang direkomendasikan berkisar antara $-5 < C_{80} < +3$ dB (Kurtruff,2001,p.209). Hasil pengukuran C_{80} rata-rata menunjukkan 5,618 dB maka dapat dikategorikan tidak bagus, sehingga interior Masjid Al Qomar ini tidak sesuai untuk karakter *music*.

Hasil pengukuran TS rata-rata sebesar 0.053 detik atau 53 ms, nilai ini menunjukkan kejernihan suara dalam ruang masjid dinilai bagus. Nilai yang direkomendasikan adalah $TS < 80$ ms (Ribeiro, 2000), baik untuk karakter *speech* maupun karakter *music*. Semakin rendah nilai TS maka semakin baik tingkat kejernihan suara dalam ruang.

Karakteristik akustik Masjid Al Qomar dari aspek *speech intelligibility* atau kejelasan dalam percakapan sudah memenuhi persyaratan, terutama *early decay time* (EDT), tingkat kejernihan bunyi atau *clarity* dan kejelasan percakapan atau *definition*. Waktu dengung (RT) apabila disesuaikan dengan standar untuk fungsi aktifitas percakapan sudah memenuhi syarat, namun bila fungsi percakapan harus ditunjang dengan perpanjangan bunyi sesuai yang diperlukan, seperti mengaji atau adzan, maka nilai $RT = 0,612$ detik menjadi kurang sesuai. Diperlukan *treatment* penambahan material reflector atau diffuser yang mampu memantulkan bunyi dan menyebarkannya, agar waktu dengung dapat lebih panjang lagi. Alternatif material yang akan digunakan harus mempertimbangkan eksisting disain interior, agar tidak terlalu banyak dilakukan perubahan, maka sangat dimungkinkan untuk merubah tirai/hijab pembatas jamaah dengan material yang lebih keras misal partisi kayu berornamen geometris.

Hal lain yang masih menjadi masalah adalah *background noise* yang bernilai tinggi 51,5 dB, hampir dua kali lipat dari batas yang disyaratkan. Jalan raya, perkampungan dan jalan lingkungan serta pada waktu tertentu bising kereta api melintas di sekitar masjid adalah sumber bising. Alternatif yang dapat diterapkan adalah *greenery wall*

system/ vertical greenery, yaitu system insulasi bising secara passive. Vertical greenery pada bangunan sedang dikonsolidasikan sebagai cara yang menarik untuk meningkatkan kualitas hidup, tidak hanya skala mikro (bangunan), namun meso (kawasan) dan di lingkungan makro (perkotaan). Banyak manfaat dapat dipetik yang berkaitan dengan sistem hijau untuk bangunan, seperti penghematan energi, dukungan keanekaragaman hayati, dan kontrol air hujan, atau juga redaman kebisingan (Newton dalam Azkorra, et.al, 2014,p.46). Terdapat berbagai jenis dinding hijau, sehingga untuk mengetahui seberapa besar kontribusinya dalam mereduksi kebisingan perlu dilakukan beberapa tes laboratorium. Tes yang pernah dilakukan memberikan hasil indeks reduksi bunyi 15 dB dan koefisien serap bunyi 0,40. Nilai-nilai ini mengindikasikan bahwa vertical garden pada dinding efektif dalam proses reduksi kebisingan, hanya saja modular dinding hijau harus diperhitungkan dengan benar.



Gambar 7. Alternatif modul green wall 40x60x8cm (sumber : Perez dalam Azkorra, 2014)

Belum dapat disusun indeks tingkat isolasi akustik dinding hijau, karena masih beragamnya hasil penelitian terkait. Wong et.al. (2010) mengatakan efek penyerapan substrat (media tanam) memberikan hasil reduksi bising yang kuat 5-10 dB pada frekwensi yang rendah, sementara pada frekwensi tinggi terjadi reduksi bising 2-3,9 dB.

Azkorra et.al. (2014,p.55) menegaskan bawa substrat (media tanam)sangat menentukan proses reduksi bising. Bahan yang baik untuk digunakan adalah bahan daur ulang sabut kelapa, kantong untuk media tanam berbahan daur ulang polyethylene, bahan daur ulang plastic, untuk mencegah penguapan air dan untuk efisiensi penggunaan air. Jenis tanaman adalah semak. Lebih lanjut dikatakan bahwa kemampuan reduksi bising vertical greenery ini lebih baik dari material bangunan lainnya. Greenary ini mampu mereduksi 4,2-5,9 dB. Semakin tinggi frekwensi dan semakin luas permukaan vertical greenery, maka semakin baik dalam penyerapan kebisingan.

Apabila masjid Al Qomar diterapkan greenery wall system, maka bahan yang harus digunakan memiliki kemampuan serap $\alpha=0,64$, seperti hitungan berikut (Kurtruff,2001) :

$$\begin{aligned}
 IL_{(0)} - IL_{(x)} &= 8,7\alpha x & IL_{(0)} &= \text{intensitas bunyi yang seharusnya didengar (35dB)} \\
 35\text{dB} - 80 \text{ dB} &= 8,7x \alpha \times 8 \text{ m} & IL_{(x)} &= \text{intensitas bunyi sumber bising (kereta api 80 dB)} \\
 \alpha &= 0,64 & X &= \text{jarak sumber bising dengan penerima (masjid)} \\
 & & \alpha &= \text{koefisien serap bunyi}
 \end{aligned}$$

Kesimpulan

Opening Wall System pada kasus Masjid Al Qomar ini ternyata berdampak masuknya kebisingan ke dalam ruang. Namun di satu sisi ternyata material karpet, bata ekspose dan udara luar yang masuk melalui lubang-lubang jendela memberikan efek penyerapan yang baik, sehingga bunyi yang dihasilkan baik dari dalam mihrab (imam memimpin sholat) dan mimbar (khatib memberikan khutbah/ceramah) dengan jernih dan jelas dapat didengar oleh jamaah. Permasalahan bising dari jalan raya atau kereta api melintas dapat diatasi dengan greenery wall system sebagai insulator passive atau pereduksi bising. Usulan sistem yang masih terbilang baru ini ternyata mampu memberikan hemat energy dalam penggunaan bahan ramah lingkungan/pemanfaatan bahan limbah untuk pembuatan media tanamnya. Beberapa penelitian sudah membuktikan bahwa system ini dapat mereduksi 2-10 dB, dimana modul vertical greenary yang dibuat memiliki koefisien serap 0,4. Sedangkan berdasarkan perhitungan, maka greenery yang harus dibuat untuk Masjid Al Qomar memiliki kemampuan serap $\alpha=0,64$.

Daftar Pustaka

Adel A. Abdou, (2003), Comparison of The Acoustical Performance of Mosque Geometry Using Computer Model Studies, eighth International IBPSA Conference, Eindhoven, Netherlands, August 11-14, 2003

Azkorra, et.al., (2014), Evaluation of Green Walls as A Passive Acoustic Insulation System For Building, Elsevier, applied acoustics 89, p. 46-56

Joko Sarwono, (2013), Formasi Elemen Akustik Dalam Ruang, <http://duniaakustik.wordpress.com/>, diakses 28 April 2014

Kinsler, Lawrence.E,et.al,(2000), Fundamentals of Acoustics, John Wiley & Sons Inc., Hamilton Press, USA

Kurtruff, Heinrich, (2001), Room Acoustics, Taylor & Francis e-Library, Spon Press, London

Kayili, M. (2005), "Acoustic Solutions in Classic Ottoman Architecture", <http://www.fstc.co.uk>, diakses pada tanggal 25 Mei 2014

- Mustafa Kavraz ,2014, Comparisons of Acoustic Characteristics For Different Ceiling Forms In The Boztepe Osmanli Mosque, *International Journal of Academic Research*, Vol. 6. No. 3. May, 2014, P. 136-144
- Mariani dan Nurlaela Rauf , 2008, Deskripsi Kondisi Akustik Ruang Masjid Al Markaz Al Islami Makassar, *Jurnal SMARTek*, Vol. 6, No. 4, Nopember 2008: p. 246 – 260
- Utami, Sentagi S., (2005), An Acoustical Analysis of Domes Coupled to Rooms, with Special Application to the Darussholah Mosque, in East Java, Indonesia, *Theses*, Brigham Young University, BYU ScholarsArchive