PERBAIKAN AKUSTIK RUANGAN UNTUK ACARA PEMBUKAAN DAN PENUTUPAN DIKLAT MELALUI RENOVASI DI PUSBINDIKLAT LIPI

ROOM ACOUSTIC IMPROVEMENT FOR OPENING AND CLOSING CEREMONIES ON TRAINING COURSE THROUGH RENOVATION AT PUSBINDIKLAT LIPI

Husein Avicenna Akil dan Budhy Basuki
Pusat Penelitian Metrologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)
Kompleks Puspiptek, Setu, Tangerang Selatan 15314
husein.avicenna.akil@lipi.go.id; husein.avicenna.akil@gmail.com

ABSTRAK

Pengukuran karakteristik akustik di dalam ruangan telah dilakukan untuk acara pembukaan dan penutupan pada kondisi sebelum dan setelah renovasi. Pengukuran sebelum renovasi memberi petunjuk bahwa kondisi akustik ruangan sangat buruk untuk menghasilkan kualitas akustik yang sesuai dengan peruntukannya. Oleh karena itu, ruangan tersebut direnovasi secara menyeluruh dan komprehensif. Hasil pengukuran parameter karakteristik akustik ruangan menunjukan bahwa pada kondisi ruangan sebelum renovasi menghasilkan nilai waktu dengung (*reverberation time*) rata-rata sangat besar, yaitu *RT* = 3,1 detik. Sementara itu, nilai waktu dengung rata-rata turun secara drastis setelah proses renovasi menjadi *RT* = 0,9 detik, terutama untuk frekuensi tengah pada rentang audibel pendengaran, yaitu 500 Hz–1 kHz. Distribusi suara sebelum renovasi menghasilkan nilai standar deviasi maksimum (SD) sebesar 3,2 dB, sedangkan nilai SD tidak lebih tinggi dari 3 dB setelah proses renovasi. Hal ini juga menunjukkan bahwa tingkat tekanan suara (*sound pressure level*, SPL) yang diterima oleh setiap titik ukur dalam ruangan setelah renovasi pada setiap frekuensi nilainya lebih rendah dibandingkan dengan nilai SPL untuk setiap titik ukur di dalam ruangan sebelum renovasi. Pengukuran *background noise* di ruangan pada kondisi sebelum renovasi menghasilkan nilai *noise criterion* (*NC*) 40–45 dalam kondisi *air conditioner* (AC) atau pendingin ruangan hidup dan pada kondisi ruangan setelah renovasi ternyata nilai NC menjadi lebih baik, yaitu turun pada angka 30–35. Hasil pengukuran tiga parameter karakteristik akustik di dalam ruangan setelah renovasi menunjukan bahwa ruangan tersebut memiliki kondisi akustik yang jauh lebih baik dibandingkan kondisi akustik ruangan tersebut sebelum renovasi serta memenuhi standar untuk digunakan dalam penyelenggaraan seminar dan acara seremonial pembukaan dan penutupan diklat.

Kata kunci: renovasi ruangan, waktu dengung, distribusi suara, standar deviasi, *noise criterion*

ABSTRACT

Measurement of room acoustic characteristics for opening and closing ceremonies of training courses had been carried out before and after the room being renovated. Before renovation, measurement results showed that the accoustic condition was very poor to produce acoustic quality as its purpose. Therefore, the room was renovated thoroughly and comprehensively. Measurement results of room acoustic characteristic parameters showed that the average reverberation time (RT) of the room before renovation was very high as 3.1 seconds, then after renovation the value of RT was drastically down to 0.9 seconds, especially for mid frequencies in the audible range 500 Hz–1 kHz. Sound distribution before renovation produced the maximum value of deviation standard (SD) for 3.2 dB, whereas it was less than 3 dB after renovation. It also showed that the sound pressure level (SPL) value after renovation received by any microphone position at any frequency is less than the SPL value before renovation. Background noise measurement before renovation showed the noise criterion (NC) value for 40–45 within the condition of air conditioner was on and it became much better as it was down to 30–35 after renovation. Measurement results of three parameters of acoustic characteristics after renovation showed that acoustic condition was far better than before. Moreover, the room has met the standard requirement for some events, such as seminar as well as opening and closing ceremonies of training courses.

Keywords: *room renovation, reverberation time, sound distribution, deviation standard, noise criterion*

PENDAHULUAN

Pusbindiklat Peneliti LIPI harus memiliki ruang khusus untuk acara seremonial pembukaan dan penutupan diklat. Sejak gedung Pusbindiklat dibangun pada tahun 2005, ruang yang digunakan untuk acara seremonial tersebut sebenarnya diperuntukkan sebagai salah satu ruang kelas, namun kerap digunakan sebagai ruang seminar yang dapat menampung peserta (*audience*) hingga lima puluh orang dan setelah direnovasi dapat menampung peserta hingga seratus orang. Sejak gedung tersebut dibangun, kondisi fisik interior ruangan memang sama sekali tidak pernah dipertimbangkan untuk akustiknya. Kondisi akustik ruangan harus memenuhi standar, baik pada acara seremonial maupun seminar, agar pembicara dan pendengar merasakan kenyamanan serta suara harus tersebar secara merata ke segala arah pada saat kegiatan berlangsung. Hal yang perlu diperhatikan ketika pembicara memaparkan materi pembahasan adalah tidak ada gangguan suara dengung sehingga pembicara dapat mengontrol suara yang dikeluarkan dirinya sendiri serta dapat mendengar dan menerima suara dengan jelas. Serupa dengan pembicara, pihak hadirin juga dapat menerima suara dengan jelas dan tidak merasakan adanya ganguan dengung dan bising.

Kualitas akustik ruangan seminar sebelum renovasi dapat dipastikan tidak memenuhi standar peruntukannya karena seluruh permukaan dinding, lantai, dan langit-langit (*plafon*) sama sekali tidak dipasang atau dilapisi bahan penyerap akustik. Penyelenggaraan seremonial pembukaan dan penutupan diklat telah berjalan di ruangan tersebut lebih dari sepuluh tahun, namun baik pembicara maupun hadirin tidak pernah mempermasalahkan sistem akustik ruangan karena umumnya merasakan baik-baik saja dan beranggapan yang penting suara keluar dari *speaker* dan dapat didengar. Hal ini dikarenakan penyelengaraan seremonial hanya berjalan sekitar 45 menit, meskipun beberapa hadirin merasakan gangguan dalam sistem audio selama acara berlangsung. Data dari hasil pengukuran dijadikan bukti untuk memastikan dipenuhi atau tidaknya standar kualitas akustik suatu ruangan,[1,2] yaitu pengukuran parameter akustik yang tidak hanya berdasarkan data subjektif dari seseorang yang menyimak sistem akustik di dalam ruangan tersebut.

Tahap pertama langkah perbaikan kondisi akustik ruang seminar tersebut pada adalah pengukuran parameter akustik.[1] Tujuannya adalah untuk memperoleh data karakteristik akustik dan memberikan petunjuk kondisi fisik interior ruangan paling signifikan yang memberikan efek kualitas akustik, seperti perbaikan permukaan dinding, langit-langit, dan lantai ruangan. Sementara itu, instrumen akustik seperti *speaker*, mikrofon, dan peralatan pengontrol audio, dapat dirancang secara terpisah. *Layout* penempatan posisi *speaker* dianggap tidak begitu signifikan karena kemungkinan posisi akhirnya akan berbeda dari rancangan awalnya dan dapat dilakukan dengan pendekatan coba-coba (*trial end error*) setelah material pelapis permukaan ruangan memenuhi karakteristik akustik, yaitu dengan memasang atau melapisi panel akustik.

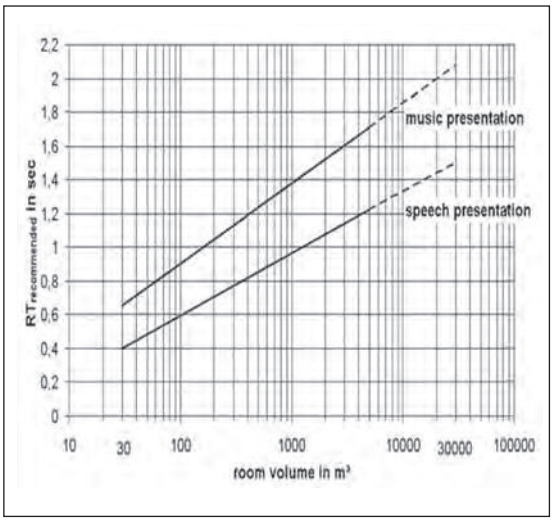
Salah satu pekerjaan serupa dalam merenovasi ruangan untuk perbaikan kondisi akustik telah dilakukan oleh Knight dan Evans, di mana mereka melakukan investigasi dan analisis cacat kondisi akustik pada empat ruang kuliah di suatu universitas yang dibangun pada tahun 1961.[4] Sebelum proses renovasi, pengukuran parameter waktu dengung (*reverberation time*, RT) dan tingkat kebisingan (*background noise*) ruangan teridentifikasi berdengung tinggi dan terjadi hamparan suara gema (*echo*). Namun demikian, penemuan material yang bersifat menyerap (*absorptive*) dan berdifusi (*diffusive*) menandakan bahwa pada awal pembangunan telah melibatkan rancangan akustik meskipun penempatannya tidak tepat sehingga menjadikannya kurang efektif. Kemudian, perawatan (*treatment*) akustik dilakukan dengan merenovasi dan memodifikasi kondisi permukaan dinding serta langit-langit ruangan. Pengukuran ulang parameter waktu dengung dan tingkat kebisingan dilakukan setelah renovasi selesai yang menyatakan keberhasilan proses renovasi.

PARAMETER AKUSTIK YANG DIUKUR

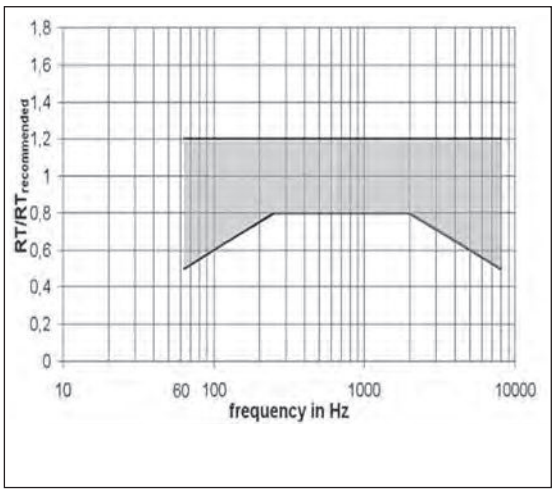
Secara praktik, kondisi akustik dalam suatu ruangan akan dinyatakan memiliki kualitas baik dengan beberapa syarat, di antaranya adalah tidak terjadi dengung di dalam ruangan dan suara tersebar merata yang berarti setiap orang yang berada di posisi mana pun di dalam ruangan akan mendengar kekerasan suara yang hampir sama dan tidak merasa bising. Oleh karena itu, pengukuran tiga parameter akustik dilakukan di mana dua di antaranya sama persis dengan yang dilakukan oleh Knight dan Evans[4], yaitu waktu dengung, distribusi suara, dan tingkat kebisingan.

Sampai saat ini, umumnya, para ilmuwan akustik ruangan tidak pernah meninggalkan pengukuran waktu dengung ketika akan menentukan penilaian kondisi akustik dalam suatu ruangan. Pengukuran dan perhitungan parameter waktu dengung merupakan metode pengukuran konvensional dan merupakan parameter yang sangat penting.[3,5] Dengung merupakan parameter subjektif yang dirasakan oleh pendengaran manusia terhadap suara yang terjadi dalam suatu ruangan yang diukur melalui parameter objektifnya yaitu waktu dengung. *Reverberation time* atau waktu dengung merupakan waktu yang dibutuhkan oleh energi suara untuk berkurang sebesar 60 dB setelah eksitasi suara berhenti. Untuk menentukan kriteria rekomendasi nilai waktu dengung dalam pemenuhan standar peruntukan ruangan yang diukur, hasil pengukuran data waktu dengung digambarkan pada peta waktu dengung (*reverberation time chart*). Contoh kasus ruang seremonial di Pusbindiklat termasuk pada kriteria waktu dengung untuk ruangan dengan peruntukan aktivitas pembicaraan (pidato), maka peta waktu dengung yang diperlukan adalah untuk *speech presentation*, seperti yang ditunjukkan Gambar 1[3,6] dan Gambar 2[6]. Gambar 2 juga menunjukan bahwa daerah frekuensi yang perlu diperhatikan dalam merancang dan analisis ruangan dengan kualitas akustik yang baik bagi kepentingan *speech presentation* adalah frekuensi audibel pada frekuensi tengah (*midfrequency*) 500 Hz–2 kHz, bahkan rentang frekuensi dapat lebih dipersempit lagi untuk lebih fokus pada 500 Hz–1 kHz. Hal ini berkaitan dengan kriteria pembahasan parameter tingkat kekerasan suara (*loudness of sound*) dalam unit satuan *phon*, yaitu tingkat tekanan suara (*sound pressure level*, SPL) pada frekuensi 1 kHz dan penentuan tingkat kekerasan suara di luar *midfrequency* dapat dilihat melalui grafik kontur kekerasan sama dengan persepsi pendengaran manusia (*equal-loudness contours of the human ear*).[7]

Distribusi suara juga merupakan parameter yang penting untuk dijadikan indikator kualitas



Gambar 1. Rekomendasi Nilai Waktu Dengung vs Volume pada Suatu Ruangan Peruntukan Musik dan Pembicaraan pada Frekuensi 500 Hz–1000 Hz[3,6]

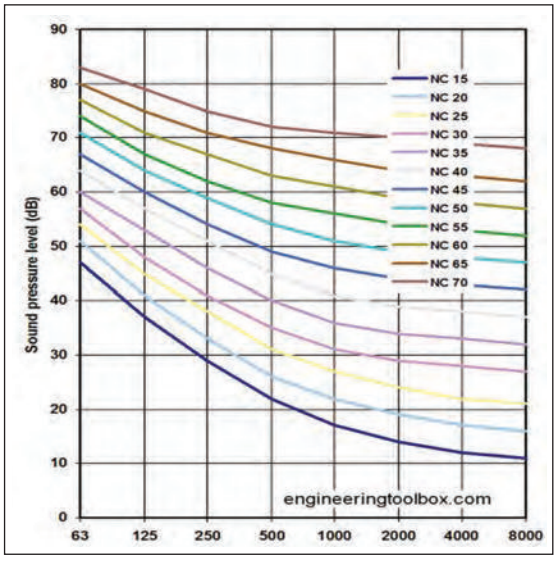


Gambar 2. Daerah Frekuensi Parameter Waktu Dengung Mengacu pada Rekomendasi Nilai Waktu Dengung Peruntukan Pembicaraan (*speech presentations*)[6]

akustik suatu ruangan. Apabila dalam suatu ruangan distribusi suaranya kurang merata, energi suara tidak akan tersebar secara merata ke seluruh penjuru ruangan yang menyebabkan tingkat kekerasan suara yang diterima hadirin (*audience*) tidak akan sama. Hal ini dapat berakibat sebagian hadirin dapat mendengar suara yang datang dari pembicara di podium dengan tingkat kekerasan yang cukup, namun sebagian hadirin tidak dapat mendengar isi pembicaraan dengan cukup jelas karena tingkat kekerasan suara yang diterima kurang. Kualitas distribusi suara dalam sebuah ruangan akan sangat dipengaruhi oleh bentuk dan konfigurasi ruangan serta penempatan posisi *speaker* di dalam ruangan tersebut. Untuk mengukur distribusi suara dalam sebuah ruangan, sejumlah titik ukur harus ditempatkan di sekitar ruang tersebut, mulai dari bagian paling depan ruangan, yaitu podium sampai ke bagian paling belakang daerah tempat duduk hadirin. Untuk mengevaluasi distribusi suara di dalam sebuah ruangan, penilaian yang paling realistis dapat dilakukan dengan menghitung nilai standar deviasi, di mana apabila antara titik ukur satu dengan titik ukur lainnya menghasilkan perbedaan nilai tingkat tekanan suara yang cukup besar maka akan dihasilkan nilai standar deviasi yang besar. Sebuah ruangan dapat dikatakan memiliki sebaran suara yang cukup merata apabila hasil dari pengukuran distribusi suara menghasilkan nilai standar deviasi tidak lebih dari 3 dB karena umumnya pendengaran manusia dapat merasakan terjadinya perubahan tingkat kekerasan suara setelah terjadi perubahan level suara di atas 3 dB.[8,9] Untuk melihat (visualisasi) merata atau tidaknya distribusi suara, data hasil pengukuran untuk setiap titik ukur pada frekuensi tertentu dapat dipetakan dalam gambar grafik berbentuk sarang laba-laba.

Parameter berikutnya yang perlu untuk diukur adalah tingkat kebisingan dalam ruangan atau disebut juga sebagai *background noise*. Kondisi tingkat kebisingan dalam ruangan akan memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kualitas akustik dalam ruangan tersebut. Di dalam suatu ruangan, seperti ruangan seminar, sumber kebisingan biasanya disebabkan dari suara yang ditimbulkan oleh sistem tata udara ruangan, seperti kipas sirkulasi udara (*exhaust fan*), *AC split*, unit pengendalian udara atau *air handling unit* (AHU), dan lainnya. Level tingkat kebisingan dalam ruangan yang cukup tinggi akan menyebabkan terganggunya kemampuan untuk mendengar dan memahami suatu pembicaraan. Pengukuran tingkat kebisingan dilakukan pada rentang frekuensi 31,5–8.000 Hz dengan perpindahan filter frekuensi 1/1 oktaf. Data hasil pengukuran diolah untuk dijadikan grafik tingkat tekanan suara (SPL) versus frekuensi, kemudian semua grafik tersebut dipetakan (*plot*) pada kurva acuan yang disebut dengan *noise criterion curves* (*NC Curves*)[3,10] seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Melalui grafik tersebut akan diketahui dengan mudah karakteristik tingkat kebisingan yang terjadi di dalam ruangan yang dinyatakan dalam bentuk nilai *noise criterion*. Kemudian, membandingkan seluruh nilai *noise criterion* hasil pengukuran dengan nilai *noise criterion* yang direkomendasikan untuk setiap peruntukan ruangan, seperti yang ditunjukan Tabel 1[7]. Penilaian kondisi tingkat kebisingan ruangan harus dilakukan pada kondisi sistem pendingin ruangan dihidupkan karena pada kenyataannya ruangan digunakan dalam kondisi seperti itu. Ruang seminar yang direnovasi ini masuk kategori peruntukan ruang konferensi atau pertemuan (*conference room*) dengan toleransi kondisi kebisingan yang memiliki nilai *noise criterion* 25–30.[3, 10]



Gambar 3. *NC Curve* Digunakan sebagai Kurva Acuan dalam Menentukan Kondisi Kebisingan dalam Suatu Ruangan.[3, 10]

Tabel 1. Kondisi Kebisingan yang Dapat Ditoleransi untuk Setiap Peruntukan Ruangan melalui Evaluasi Kurva *NC*.[10]

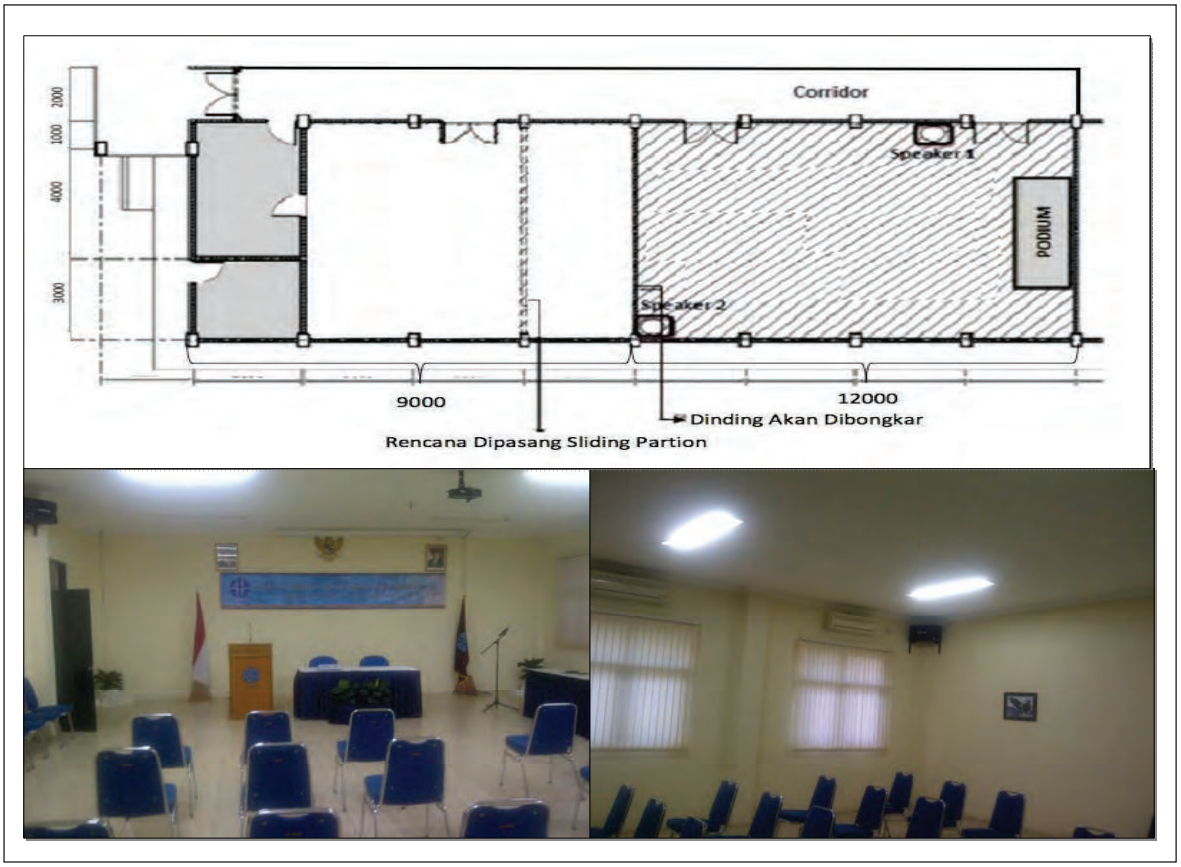
Type of Room - Space Type	Recommended NC Level NC Curve	Equivalent Sound Level dB_A
Residences		
Apartment houses	25–35	35–45
Assembly halls	25–30	35–40
Churches, synagogues, mosques	30–35	40–45
Courtrooms	30–40	40–50
Factories	40–65	50–75
Private homes, rural and suburban	20–30	30–38
Private homes, urban	25–30	34–42
Hotels/Motels		
- Individual rooms or suites	25–35	35–45
- Meeting or banquet rooms	25–35	35–45
- Service and support areas	40–45	45–50
- Halls, corridors, lobbies	35–40	50–55
Offices		
- Conference rooms	25–35	35–40
- Private	30–35	40–45
- Open-plan areas	35–40	45–50
- Business machines/computers	40–45	50–55
Hospitals and Clinics		
- Private rooms	25–30	35–40
- Operating rooms	25–30	35–40
- Wards	30–35	40–45
- Laboratories	35–40	45–50
- Corridors	30–35	40–45
- Public areas	35–40	45–50
Schools		
- Lecture and classrooms	25–30	35–40
- Open-plan classrooms	35–40	45–50
Movie motion picture theaters	30–35	40–45
Libraries	35–40	40–50
Legitimate theaters	20–25	30–65
Private Residences	25–35	35–45
Restaurants	40–45	50–55
TV Broadcast studies	15–25	25–35
Recording Studios	15–20	25–30
Concert and recital halls	15–20	25–30
Sport Coliseums	45–55	55–65
Sound broadcasting	15–20	25–30

KONDISI RUANGAN SEBELUM DAN SETELAH RENOVASI

Ukuran dan keadaan fisik interior ruang seminar sebelum renovasi ditunjukan pada Gambar 4 yang menunjukan dua ruang seminar yang memiliki panjang 12 meter dan 9 meter, lebar 8 meter, dan tinggi 3,2 meter. Bagian yang diarsir pada Gambar 4 merupakan ruangan yang memiliki panjang dua belas meter yang di dalamnya terpasang podium dan merupakan salah satu ruangan yang rutin digunakan dalam acara seremonial diklat, baik pembukaan maupun penutupan. Sebelum renovasi, ruangan tersebut memiliki volume 307,2 m^3 dan hanya dapat menampung peserta maksimum dengan jumlah lima puluh orang.

Terlihat dengan jelas bahwa tidak satu pun permukaan seluruh dinding (depan dan belakang, samping kiri dan kanan), permukaan bawah (lantai), dan permukaan atas (langit-langit) memiliki sentuhan perawatan akustik. Pusbindiklat secara rutin melaksanakan acara pembukaan dan penutupan diklat sehingga diperlukan ruangan untuk acara seremonial yang jauh lebih representatif dibandingkan dengan kondisi seperti yang ditunjukan Gambar 4 di atas, yaitu dengan penyediaan ruangan yang lebih luas sehingga dapat menampung jumlah peserta lebih dari 50 orang, sistem tata suara dan kondisi udara ruangan yang baik serta tidak meninggalkan perancangan kesan estetika interior agar setiap orang dapat merasakan kenyamanan ketika berada di dalam ruangan tersebut.

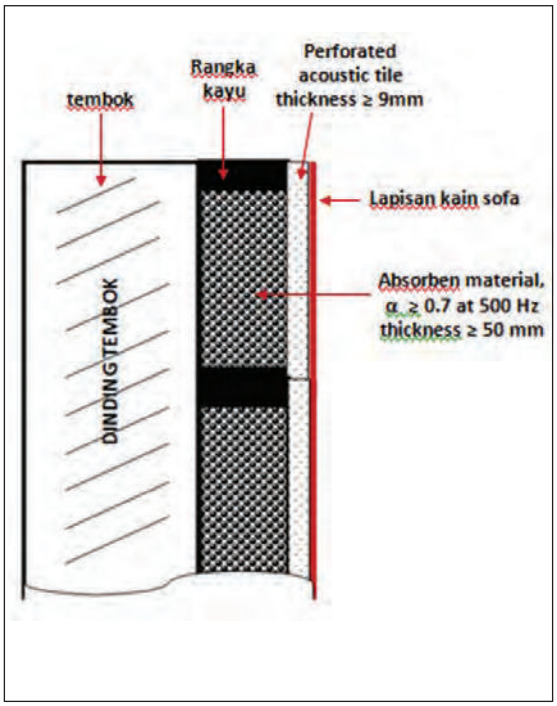
Untuk memiliki ruangan penyelenggaraan seremonial diklat yang jauh lebih representatif, Pusbindiklat memutuskan untuk melakukan proses renovasi dengan cara menyatukan kedua ruangan, seperti yang ditunjukan Gambar 4. Setelah membongkar dinding penyekat, panjang ruangan menjadi 21 meter dengan volume 537,6 m^3 sehingga dapat menampung peserta mencapai seratus orang. Selanjutnya, perawatan akustik dilakukan pada seluruh permukaan interior ruangan, yaitu seluruh permukaan dinding (depan, belakang, kiri, dan kanan) dilapisi panel akustik yang memiliki



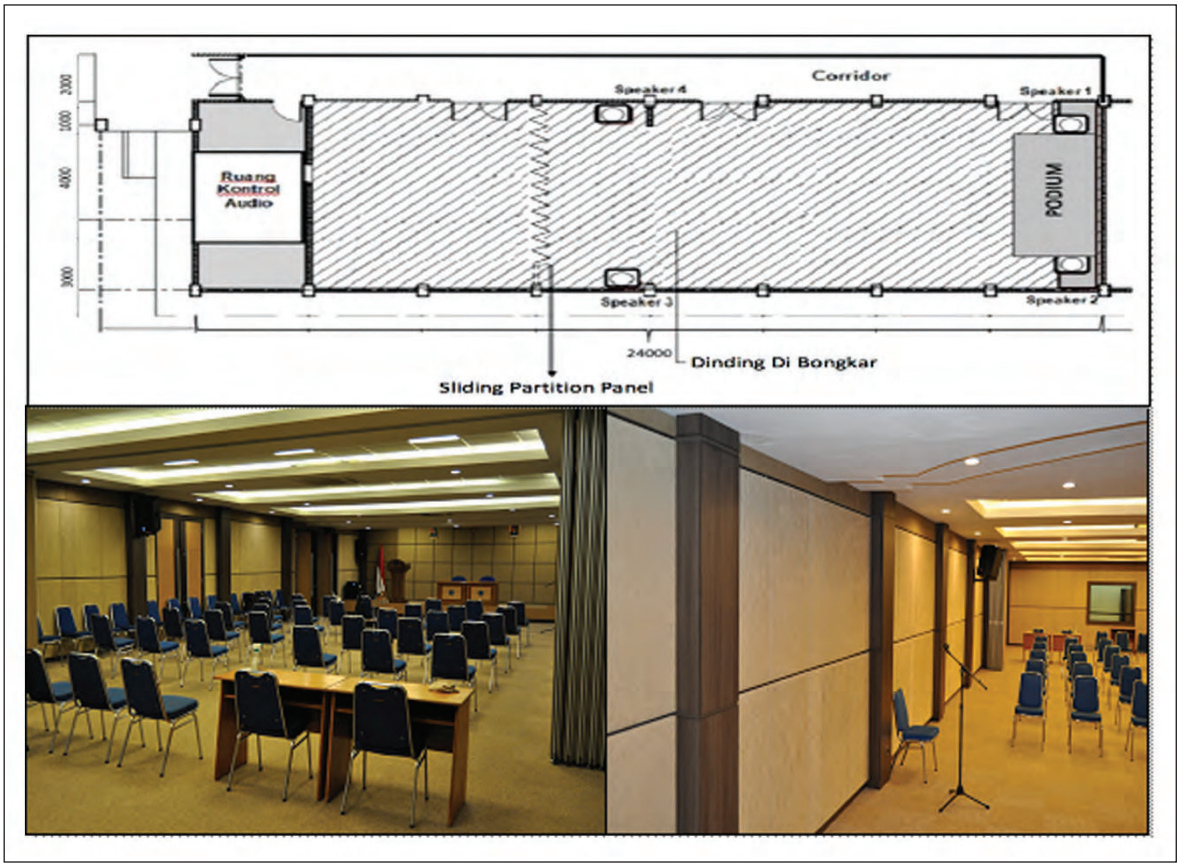
Gambar 4. Ukuran Panjang dan Lebar serta Kondisi Ruang Seminar Sebelum Renovasi dan Diberikan Perawatan Akustik

kemampuan daya serap yang tinggi. Permukaan bagian atas menggunakan bahan poros, yaitu material *perforated ceiling tile* yang memiliki nilai koefisien absorpsi (α) minimal 0,4 pada frekuensi 500 Hz[11], sedangkan permukaan lantai dilapisi karpet mengingat kondisi lantai dapat memberikan kontribusi pantulan suara yang cukup tinggi.

Agar seluruh dinding dapat memiliki daya serap yang baik maka panel akustik dipasang sesuai dengan rancangan, yaitu memiliki kriteria nilai koefisien absorpsi minimal 0,7 pada frekuensi 500 Hz.[12] Konfigurasi panel akustik yang telah dirancang, kemudian dipasang seperti yang ditunjukan Gambar 5. Kerangka dipasang pada permukaan dinding tembok sebagai dudukan material penyerap (*adsorbent*) yang kemudian ditutup dengan bahan *perforated board* dan sebagai lapisan terluar digunakan bahan yang biasa digunakan untuk sofa (kain sofa). Ukuran dan kondisi fisik ruangan tersebut setelah renovasi ditunjukan Gambar 6.



Gambar 5. Konfigurasi panel akustik dipasang pada dinding tembok.

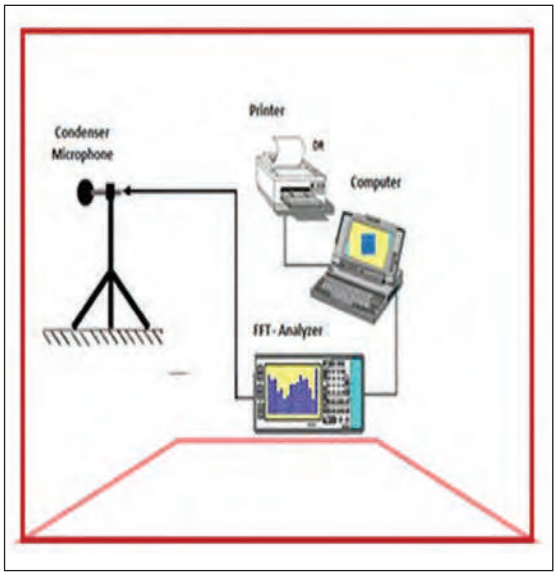


Gambar 6. Ukuran Panjang dan Lebar serta Kondisi Ruang Seminar Setelah Renovasi dan Diberikan Perawatan Akustik pada Seluruh Permukaan Interiornya

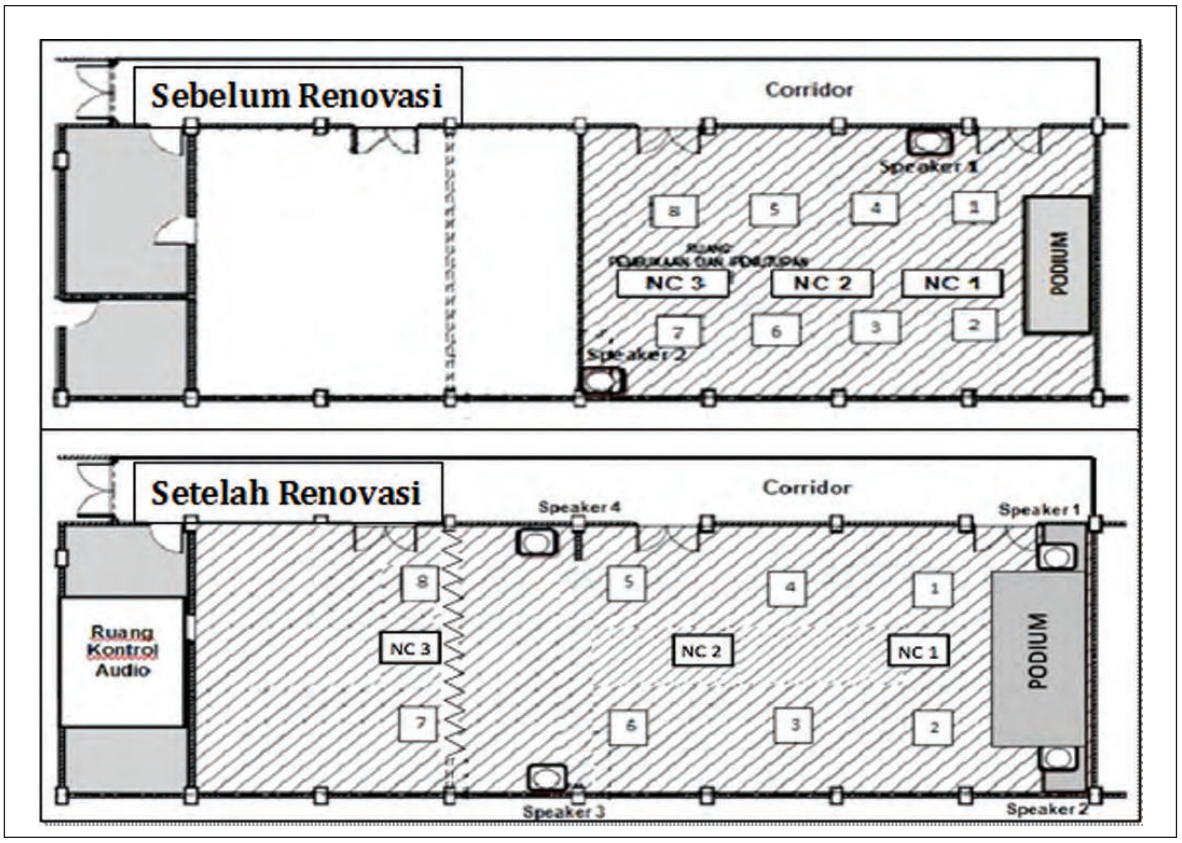
ALAT UKUR DAN MEKANISME PENGUKURAN

Gambar 7 menunjukkan pengaturan (*set-up*) instrumen untuk pengukuran parameter akustik. Peralatan yang digunakan adalah 1) satu set *condenser microphone + pre amplifier*, penggunaan jenis mikrofon sebaran penerimaan suara yang hampir merata ke semua arah, yaitu type B&K 4191, sebagai persyaratan yang harus dipenuhi dalam pengukuran akustik ruangan; 2) satu set *acoustic calibrator* tipe B&K 423, alat ini digunakan untuk melakukan verifikasi penunjukkan *sound level meter* atau *FFT analyzer* sebelum alat tersebut digunakan di lapangan; 3) satu set *FFT analyzer* tipe B&K 2144, alat ini digunakan untuk mengukur tingkat tekanan suara (*sound presure level*) yang diterima oleh mikrofon dan dapat digunakan untuk melakukan analisis frekuensi dengan lebar pita frekuensi yang disesuaikan dengan kebutuhan.

Pengukuran ketiga parameter karakteristik akustik dilakukan dengan cara dan mekanisme yang sama pada kedua kondisi ruangan, yaitu saat sebelum dan setelah proses renovasi. Pada pengukuran waktu dengung, sumber suara yang diperlukan adalah yang mampu menghasilkan tingkat tekanan suara cukup tinggi, yaitu di atas 80 dB pada frekuensi oktaf 500 Hz–1 kHz. Tekanan sumber suara yang cukup tinggi secara praktis dapat memberikan kemudahan



Gambar 7. Pengaturan Peralatan untuk Mengukur Parameter Akustik di Dalam Suatu Ruangan [1, 2, 3]



Gambar 8. Posisi Titik Pengukuran Distribusi Suara Terdiri atas Delapan Titik Ukur dan Tingkat Kebisingan Terdiri atas 3 Titik Ukur di Ruang Seremonial Sebelum dan Setelah Direnovasi

untuk mendapatkan nilai waktu dengung yang akurat karena penurunan tingkat suara secara penuh hingga 60 dB diperlukan sesuai dengan definisi dan pendekatan metode yang dibuat oleh W. C. Sabine.[3, 13] Panjangnya penurunan suara dengung sangat bergantung pada seberapa tinggi tingkat tekanan suara dari sumber suara. Mekanisme serta peralatan yang digunakan pada pengukuran waktu dengung kasus ini sama dengan pengukuran waktu dengung di Gedung Auditorium LIPI Pusat[3], di mana energi suara sumber dapat merata untuk semua frekuensi, yaitu dimulai dari 20 Hz–20 kHz, dan digunakan generator *pink noise* sebagai sumber suara.

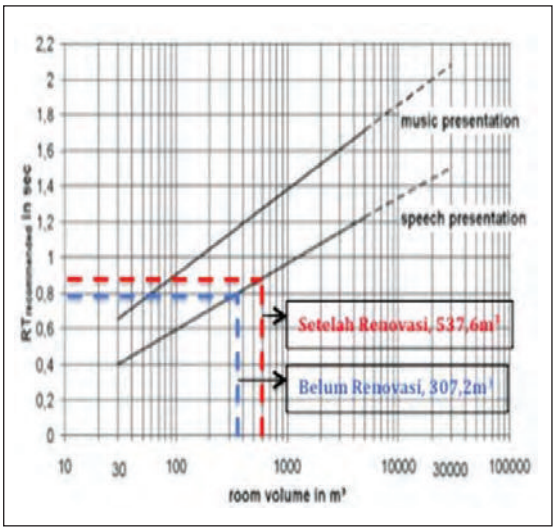
Pada kedua kondisi ruangan tersebut, sebelum dan setelah renovasi, pengukuran distribusi suara ditentukan sebanyak delapan titik ukur, sedangkan pengukuran tingkat kebisingan untuk menentukan *noise criterion* ditentukan sebanyak tiga posisi titik ukur. Posisi semua titik ukur pada kedua kondisi ruangan tersebut digambarkan seperti yang ditunjukan oleh Gambar 8. Pengukuran tingkat kebisingan di kedua kondisi ruangan tersebut dilakukan dengan ketentuan bahwa mesin pendingin udara di dalam ruangan dalam keadaan dihidupkan (*running*) karena memang penggunaan ruangan tersebut pada praktik nantinya dipastikan dalam kondisi pendingin udara dihidupkan. Dengan demikian, nilai *noise criterion* yang didapat memang dalam keadaan sebenarnya.

PEMBAHASAN DAN ANALISIS HASIL PENGUKURAN

Rekomendasi waktu dengung rata-rata dalam ruang seremonial diklat sebagai *speech presentation* pada frekuensi 500 Hz – 1 KHz untuk ruangan sebelum renovasi (volume 307,2 m^3) dan setelah renovasi (volume 537,6 m^3) dapat ditentukan atau ditunjukan melalui pemetaan garis vertikal yang ditarik dari titik nilai volume setiap ruangan yang terletak pada absis horizontal. Gambar grafik rekomendasi nilai waktu dengung dengan volume dapat dilihat pada Gambar 9.

Berdasarkan petunjuk pemetaan garis yang ditunjukan oleh Gambar 9 dan sesuai kriteria peruntukan ruangan, nilai rekomendasi waktu dengung rata-rata pada frekuensi 500 Hz–1 kHz pada saat sebelum dan setelah proses renovasi masing-masing adalah 0,8 detik dan 0,9 detik, dapat dilihat dalam grafik pada Gambar 10. Berdasarkan grafik pada Gambar 10, terlihat dengan jelas bahwa waktu dengung rata-rata sebelum ruangan direnovasi pada frekuensi 500 Hz–1 kHz adalah 3,1 detik terlalu jauh dari waktu dengung yang direkomendasikan, sebagaimana ditunjukan Gambar 9. Hal ini sudah dapat diantisipasi dari sejak awal (Gambar 4) ketika diketahui bahwa interior ruangan, seperti seluruh permukaan dinding, permukaan lantai, dan permukaan atas secara visual, tidak dilapisi bahan penyerap (*adsorbent*) akustik. Bunyi yang dihasilkan dalam ruangan tersebut akan mendapatkan pantulan berkali-kali oleh permukaan interior dan jelas akan menimbulkan dengung yang sangat tinggi sehingga nilai waktu dengung yang didapat dari hasil pengukuran akan tinggi. Sebaliknya, untuk nilai waktu dengung rata-rata ruangan setelah direnovasi adalah 0,9 detik dan sesuai dengan kriteria peruntukan ruangan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9. Dengan demikian, jelas bahwa kualitas karakteristik akustik dari ruangan setelah renovasi menjadi sangat baik berdasarkan parameter indikator rekomendasi *RT* peruntukan ruang presentasi (*speech presentation*).

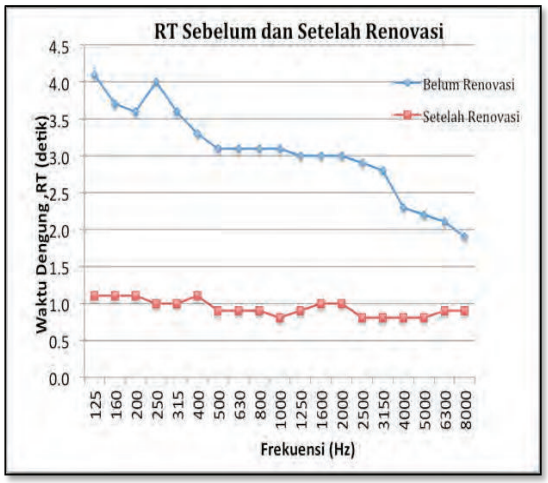
Hasil pengukuran parameter akustik distribusi suara adalah tingkat tekanan suara



Gambar 9. Rekomendasi Nilai Waktu Dengung (RT) Rata-rata untuk Ruang Seremonial Diklat Sebelum dan Setelah Renovasi Sesuai Kriteria Peruntukan *Speech Presentation*

(*sound pressure level*, SPL) di dalam ruangan sebelum dan setelah proses renovasi untuk sebaran di delapan titik ukur di setiap ruangan pada frekuensi oktaf 125 Hz–8 kHz hasilnya ditunjukan oleh Gambar 11.

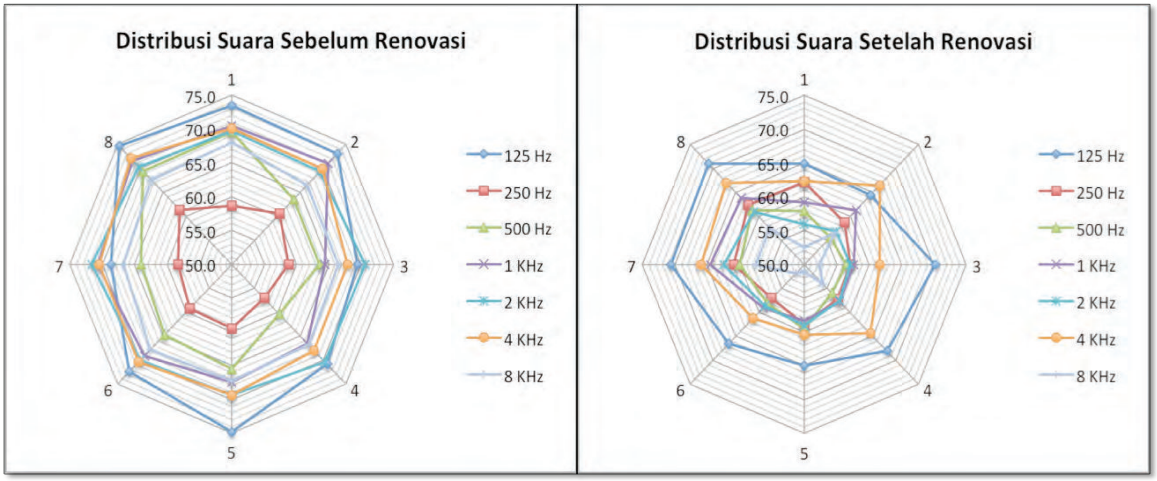
Dari Gambar 11 terlihat bahwa tingkat tekanan suara (SPL) yang terukur (diterima) oleh setiap titik ukur dalam ruangan setelah direnovasi menurun pada setiap frekuensinya (lebih rendah) dibandingkan nilai *SPL* untuk setiap titik ukur di dalam ruangan sebelum direnovasi dengan nilai *sound power level* sumber suara yang diatur relatif sama saat pengukuran di dalam ruangan sebelum dan setelah renovasi. Hal ini mudah dipahami karena ruangan setelah renovasi memiliki luas yang lebih besar sehingga penempatan posisi titik ukur memiliki jarak yang lebih panjang dibandingkan posisi titik ukur saat ruangan sebelum renovasi. Di samping itu, seluruh permukaan interior ruangan setelah proses renovasi dilapisi panel akustik yang berfungsi untuk menyerap dan memperkecil pantulan suara sehingga nilai SPL yang diterima oleh setiap titik ukur di dalam ruangan setelah renovasi jelas akan menurun. Sementara itu, kondisi permukaan interior ruangan sebelum renovasi merupakan dinding yang keras dan lantai keramik yang terbuka tidak dilapisi karpet sehingga memberikan efek pantulan suara yang sangat tinggi yang terbukti dengan hasil nilai waktu dengung sangat tinggi (lihat Gambar 10).



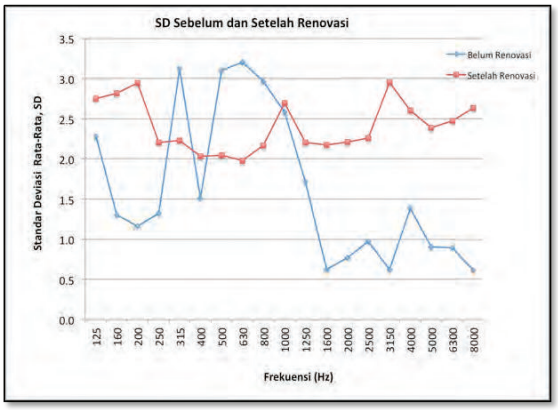
Gambar 10. Waktu Dengung (RT) Rata-Rata Ruang Pembukaan-Penutupan Sebelum dan Sesudah Dilakukan Renovasi

Perhitungan standar deviasi (SD) dari hasil pengukuran untuk titik ukur pertama hingga titik ukur kedelapan pada setiap frekuensi pengukuran dilakukan untuk mengetahui pemerataan sebaran suara. Artinya, apabila antara titik ukur yang satu dengan titik ukur lainnya menghasilkan perbedaan tingkat tekanan suara yang cukup besar maka akan dihasilkan standar deviasi yang besar. Apabila besarnya nilai standar deviasi tersebut melebihi dari 3 dB maka dapat dikatakan bahwa penyebaran suara di dalam ruangan tersebut adalah buruk, seperti yang ditunjukan grafik standar deviasi hasil pengukuran dari ruangan seremonial diklat tersebut dalam kondisi sebelum proses renovasi, sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 12.

Sebagaimana telah disinggung di awal bahwa untuk lebih menyederhanakan analisis kualitas akustik pascarenovasi, rentang frekuensi pembahasan dapat lebih dipersempit lagi, yaitu untuk lebih fokus pada 500 Hz–1 kHz. Grafik yang diperlihatkan oleh Gambar 12



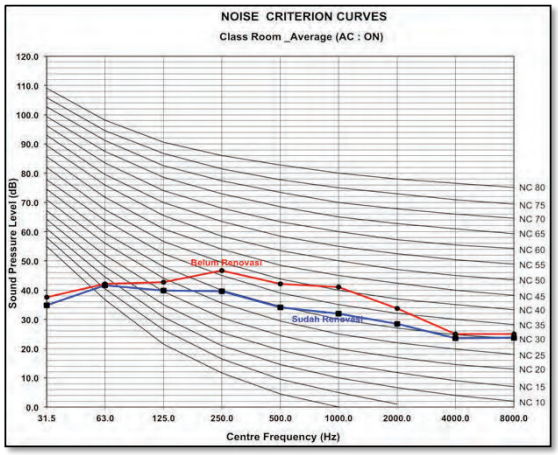
Gambar 11. Distribusi Suara SPL di Ruangan Sebelum dan Setelah Direnovasi Diukur pada 8 Posisi Titik Ukur



Gambar 12. Grafik Standar Deviasi pada Setiap Frekuensi Pengukuran Suara untuk 8 Posisi Titik Ukur

memberikan petunjuk bahwa penyebaran suara kurang merata ketika kondisi ruangan sebelum renovasi, ditunjukan oleh hasil pengukuran pada frekuensi 315 Hz, 500 Hz, dan 630 Hz berada di atas 3 dB.

Tabel 2 merupakan data hasil pengukuran tingkat kebisingan, yaitu tingkat tekanan suara (SPL) di dalam ruangan sebelum dan setelah renovasi di ketiga titik pengukuran NC 1, NC 2, dan NC 3 pada setiap kondisi ruangan beserta nilai rata-ratanya. Kemudian grafik SPL rata-rata dipetakan pada kurva acuan kriteria kebisingan (*noise criterion curves*, *NC curve*) yang dapat dilihat pada Gambar 13. Mengacu pada Tabel 1 sebagai acuan, kondisi kebisingan yang dapat ditoleransi untuk setiap peruntukan ruangan berdasarkan evaluasi *NC curve*, yaitu untuk ruang pertemuan (*conference room*) adalah 25–35.



Gambar 13. Grafik Tingkat Tekanan Suara (SPL) di Dalam Ruang Seminar Sebelum dan Setelah Direnovasi Dipetakan pada Kurva Acuan NC

Hasil pengukuran parameter tingkat kebisingan dapat menentukan nilai kriteria kebisingan (*noise criterion*) untuk ruang seminar yang termasuk pada kategori ruang pertemuan dan secara rutin digunakan penyelenggaraan seremonial diklat. Hasil pengukuran ditunjukan Tabel 2 dan grafik kriteria kebisingan (NC) pada Gambar 13 memperlihatkan hasil yang sangat jelas bahwa ruang seminar sebelum direnovasi memiliki nilai NC 40–45 yang melewati ambang batas kebisingan yang diperbolehkan bagi ruang pertemuan. Setelah renovasi, tingkat kebisingan ruangan diukur kembali dan menghasilkan nilai NC menurun signifikan menjadi 30–35. Nilai ini masuk pada kategori ambang batas kebisingan yang direkomendasikan, yaitu 25–35, yang mana aktivitas rutin yang dilakukan di ruang seminar tersebut adalah kegiatan konferensi.

Tabel 2. Hasil Pengukuran *Background Noise* di Dalam Ruang Seminar Sebelum dan Setelah Direnovasi

Frekuensi (Hz)	***SPL* (dB), Kondisi AC hidup**							
	Sebelum Renovasi			Rata-rata	Setelah Renovasi			Rata-rata
	NC1	NC2	NC3		NC1	NC2	NC3	
31.5	34.6	38.5	39.5	37.5	34.5	33.8	36.0	34.8
63	42.3	40.6	43.3	42.1	42.4	43.6	38.8	41.6
125	38.2	42.4	47.7	42.8	43.8	35.9	40.1	39.9
250	45.7	46.9	47.4	46.7	40.5	39.4	38.8	39.6
500	42.5	42.3	41.7	42.1	34.8	34.5	33.0	34.1
1000	41.7	41.7	39.7	41.0	34.1	31.5	30.2	31.9
2000	35.1	33.4	32.9	33.8	29.3	26.9	29.4	28.5
4000	24.9	25.1	24.8	24.9	22.9	22.9	24.7	23.5
8000	25.4	24.8	24.8	25.0	20.6	25.1	25.4	23.7
NC				40-45				30-35

KESIMPULAN

Renovasi serta perbaikan interior ruang pembukaan dan penutupan diklat dengan memodifikasi beberapa komponen bangunan, seperti dinding, lantai, dan langit-langit (*plafon*), telah menghasilkan kondisi akustik yang jauh lebih baik dibandingkan kondisi sebelum renovasi. Indikator perbaikan kondisi akustik dalam ruangan tersebut ditunjukkan oleh hasil pengukuran serta analisis tiga parameter karakteristik akustik, yaitu waktu dengung (*reverberation time*) rata-rata untuk frekuensi 500 Hz–1 kHz sebelum renovasi adalah 3,1 detik, setelah direnovasi menjadi 0,9 detik. Nilai ini tepat direkomendasikan untuk ruangan peruntukan *speech presentation* dengan volume ruangan 500-1000 m^3.

Selanjutnya, distribusi suara pada frekuensi 500 Hz–1 kHz sebelum proses renovasi menghasilkan nilai standar deviasi (SD) maksimum sebesar 3,2 dB, sementara setelah direnovasi nilai yang dihasilkan menurun tidak lebih dari 3 dB yang merupakan indikator karakteristik sebaran suara cukup merata.

Terakhir, pengukuran tingkat kebisingan (*background noise*) dalam ruangan sebelum renovasi menghasilkan nilai kriteria kebisingan (*noise criterion*) rata-rata 40–45, sedangkan batas toleransi tidak boleh melewati nilai angka 35 sehingga kebisingan di ruangan tersebut jauh melebihi batas toleransi. Nilai kriteria kebisingan berhasil diturunkan hingga 30–35 setelah proses renovasi dan penggantian sistem pendingin ruangan (AC) sehingga ruangan tersebut dinyatakan memenuhi nilai kriteria kebisingan sesuai dengan peruntukannya, yaitu ruang pertemuan (*conference room*).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada manajemen Pusbindiklat Peneliti Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan pengukuran di dalam ruang seremonial diklat sebelum dan setelah renovasi. Terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada saudara Achmad Suwandi yang telah menyusun laporan hasil pengukuran serta saudara Rukmana dari Subbidang Akustik Pusat Penelitian Metrologi LIPI yang telah membantu secara penuh pelaksanaan pengukuran di ruang tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. 2015. Pengukuran Karakteristik Akustik di dalam Ruangan Mini Auditorium dan Ruangan Pembukaan-Penutupan, Pusbindiklat Peneliti – Cibinong Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (Sebelum Dilakukan Renovasi). Laporan ke-1, No. Order: JE-15-10-01. Komplek Puspitek, Tanggerang Selatan: Pusat Penelitian Metrologi LIPI, Oktober 2015.

[2] Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. 2016. Pengukuran Karakteristik Akustik di dalam Ruangan Mini Auditorium dan Ruangan Pembukaan-Penutupan, Pusbindiklat Peneliti – Cibinong Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia Pada Kondisi Sebelum dan Setelah Direnovasi. Laporan Akhir, No. Order: JE-15-10-01. Komplek Puspitek, Tanggerang Selatan Pusat Penelitian Metrologi LIPI, Februari 2016.

[3] Akil, H. A. dan B. Basuki. 2014. "Pengukuran dan Evaluasi Waktu Dengung Ruang Auditorium Utama LIPI Pusat." *Instrumentasi* 38 (1): 1–15.

[4] Knight, S. B. dan J. B. Evans. 2003. "Case Study: Four University Law Lecture Auditoria Renovated for Improved Acoustics." Dalam *The Institute of Noise Control Engineering Annual Conference NOISE-CON*, Juni 23–25, Cleveland, Ohio.

[5] Kuttruff, H. 1991. "Room Acoustics." *Elsevier Applied Science, pp. 74 and pp. 201, Third Edition*. New York, USA: Elsevier Science Publishing Co., Inc.

[6] Ahnert, W., dan H. P. Tennhardt. 2002. "Acoustics for Auditoriums and Concert Halls." In Glen Ballou, *Handbook for Sound Engineers*. Boston: Focal Press.

[7] Adams, M. S. dan F. McManus. 1994. "Noise and Noise Law A Practical Approach." Colorado Springs, USA: *John Wiley & Sons Inc*, pp 26.

[8] Everest, A. F., (ed.). 2001. "Chapter Three: the Ear and The Perception of Sound." Dalam *Master Hanbook of Acoustics* (Fourth Edition) New York: McGraw-Hill, 61.

[9] Damaske, P. 2008. *Theory of Drift Thresholds, Acoustics and Hearing*. Berlin: *Springer.* pp. 79.

[10] Long, M. 2006. *Noise Criteria Cures (NC and RC), Architectural Acoustics*. London, UK: *Elsevier Academic Press*, pp. 85–90.

[11] Pusat Penelitian Metrologi. 2015. Laporan Hasil Pengujian Koefisien Absorpsi Akustik Panel USGBORAL (No. Order E 15-12-091.2015). Pusat Penelitian Metrologi LIPI, Serpong, Tangerang Selatan.

[12] Cox, T. J. dan P. d'Antonio. 2016. *Acoustic Absorbers and Diffusers, Theory: Design and Application*. London, New York: CRC Press.

[13] Rossing, T. D., (ed). 2014. "Acoustics in Halls for Speech and Music." Dalam *Springer Hanbook of Acoustics*. New York: Springer.