

Akustik Ruang Perkuliahan Di Unnes: Analisis *Reverberation Time*, *Noise Distribution*, *Speech Intelligibility*

Ridho Adi Negoro *¹

¹Pendidikan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Semarang

*E-mail: rannegoro@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.52188/jpfs.v6i1.367>

Accepted: 30 Januari 2023

Approved: 10 Maret 2023

Published: 16 Maret 2023

ABSTRAK

Evaluasi waktu dengung, distribusi kebisingan, dan speech intelligibility merupakan bagian penting dalam tata ruang pendidikan, terutama terkait kenyamanan dan kelayakan pembelajaran peserta didik. Reverberation Time, Noise Distribution, dan Speech Intelligibility merupakan parameter objektif yang biasa digunakan untuk menilai kualitas akustik ruangan, sesuai dengan tujuan penggunaannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur parameter Reverberation Time, Noise Distribution, dan Speech Intelligibility menggunakan metode impulse response dimana hasilnya digunakan sebagai bahan evaluasi untuk perancangan atau perbaikan tata ruang perkuliahan di gedung PPS UNNES. Hasil penelitian menunjukkan beberapa konstruksi ruangan perlu perubahan karena banyak noise dari luar yang masuk, Reverberation time tidak memenuhi standar ANSI S12.2 Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa ruang perkuliahan di gedung PPS UNNES memenuhi kelayakan yang mengacu pada ANSI S12.2 dengan berbagai pertimbangan tertentu.

Kata kunci: akustik ruang perkuliahan, reverberation time, noise distribution, speech intelligibility

ABSTRACT

Evaluation of reverberation time, noise distribution, and speech intelligence is an important part of educational spatial planning, especially related to the comfort and feasibility of student learning. Reverberation Time, Noise Distribution, and Speech Intelligence are objective parameters commonly used to assess the acoustic quality of a room, according to its intended use. This study aims to measure the parameters of Reverberation Time, Noise Distribution, and Speech Intelligibility using the impulse response method where the results are used as evaluation material for designing or improving the spatial layout of lectures in the PPS UNNES building. The results showed that several room constructions needed to be changed because there was a lot of outside noise coming in, the Reverberation time did not meet the ANSI S12.2 standard. Based on the results of the study it can be concluded that the lecture rooms in the PPS UNNES building meet the eligibility which refers to ANSI SI 2.2 with certain considerations.

Keyword: lecture room acoustics, reverberation time, noise distribution, speech intelligibility

©2023 Pendidikan Fisika FKIP Universitas Nahdlatul Ulama Cirebon

PENDAHULUAN

Kualitas akustik yang baik merupakan persyaratan penting untuk ruang kelas di mana pendidikan terjadi melalui proses pembelajaran yang melibatkan komunikasi verbal intensif antara guru dan siswa (Macho-Stadler & Elejalde-Garcia, 2020; Pistore et al., 2020; Russo & Ruggiero, 2019; Yang & Mak, 2020). Kinerja akustik yang buruk dari akustik ruangan pembelajaran dapat mempengaruhi pemahaman peserta didik terhadap penjelasan dari instruktur (Baafi & others, 2020; Kapoor et al., 2021;

Polewczyk & Jarosz, 2020). Berdasarkan hal tersebut maka perlu adanya pertimbangan tata ruang dengan meninjau beberapa parameter fisis yang berpengaruh.

Beberapa faktor atau besaran fisis berkontribusi pada lingkungan akustik kelas, termasuk *Noise Distribution (background)*, *Reverberation Time*, dan ketiganya mempengaruhi kejelasan dalam percakapan yang biasa disebut *Speech Intelligibility* (Choi, 2021; Yang & Mak, 2021). Banyak penelitian yang mengkaji tentang ketiga parameter ini diantaranya Dongre et al (2017) yang meneliti ketiga parameter ini sekaligus meskipun ketiganya tidak dihubungkan secara langsung, Shield and Conetta (2015) yang mengkaji distribusi dari *background noise*, Choi (2020) yang meninjau kualitas komunikasi dari segi akustik ruang, dan Mikulski and Radosz (2011) yang meneliti hubungan *Reverberation Time* dan *Speech Intelligibility*. *Reverberation Time* dan *Speech Intelligibility* yang dikaji ini merupakan dua parameter utama yang biasanya digunakan untuk menilai sifat akustik ruang kelas dengan memperhatikan komunikasi verbal (Kawata et al., 2023; Yaman et al., 2022). Berdasarkan beberapa penelitian tersebut dapat diketahui bahwa masih kurangnya intensifikasi terhadap 3 parameter *Reverberation Time*, *Noise Distribution*, dan *Speech Intelligibility* dimana ketiganya dapat sekaligus ditinjau dalam upaya mengevaluasi kualitas akustik ruang belajar.

Upaya mengatur tingkat kebisingan kelas dan memberikan siswa akses pendengaran yang cukup untuk instruksi lisan dilakukan American National Standards Institute (ANSI) dan ASA dengan menciptakan Kriteria Kinerja Akustik: Persyaratan Desain dan Standar Pedoman untuk Sekolah (ANSI, 2019). Kriteria akustik dalam ANSI menjelaskan bahwa nilai noise tidak boleh melebihi 55 dB di dalam ruangan kelas, dan *Reverberation Time* tidak boleh lebih dari 0,6 detik.

Kebisingan latar belakang dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk peralatan elektronik (misalnya, proyektor dan komputer), sistem pemanas dan pendingin, kursi bergerak, kertas yang dibalik, suara peserta didik, dan kebisingan lalu lintas (Biały et al., 2021; Juan R & Tilano, 2018; Marquis-Favre et al., 2021). Kebisingan dari area yang berdekatan, seperti tempat perkumpulan, taman bermain, dapat berkontribusi pada kebisingan latar belakang. Jumlah kebisingan latar belakang inilah yang menjadi parameter di ruang kelas dapat sangat mengganggu pembelajaran peserta didik karena masing-masing dari mereka pasti ada yang memiliki kesulitan dalam memahami percakapan dalam kebisingan, yang juga dapat mengalihkan perhatian mereka juga (Motlagh Zadeh et al., 2019; Price et al., 2019; Vijayasarathy et al., 2021). Untungnya, terdapat keterampilan orang dewasa sebagai instruktur dalam tugas mengatur tentang persepsi ucapan dalam lingkungan yang memiliki kebisingan tinggi, hanya saja kebisingan ini akan tetap berpengaruh terhadap *clarity* suatu dialog (Croce et al., 2023; Kawata et al., 2023; Minelli et al., 2021). Kuantitas fisis yang dapat mewakili gambaran masalah dalam hal ini adalah *Speech Intelligibility* (Prodeus & Didkovska, 2020; Puglisi et al., 2021; Xu et al., 2021). Selanjutnya dapat kita definisikan bahwa *Speech Intelligibility* adalah persentase ucapan pembicara yang dapat didengar oleh rata-rata pendengar dengan jelas dan benar.

Berdasarkan banyaknya penelitian yang bertujuan mengevaluasi kualitas akustik suatu ruangan pembelajaran atau ruang perkuliahan, maka dapat diketahui bahwa permasalahan akustik dalam ruang perkuliahan menjadi sesuatu yang perlu dikaji lebih lanjut demi kelancaran proses perkuliahan. Tinjauan yang perlu dikembangkan adalah beberapa frekuensi karakteristik *Reverberation Time* yang tergolong menjadi distraktor dalam hal kejelasan seseorang dalam berbicara *Speech Intelligibility*. Selain itu, frekuensi noise yang paling mendominasi perlu dikaji untuk menjadi fokus dalam bagian peredaman tata ruang. Penelitian ini mengambil sampel kualitas akustik ruang perkuliahan di gedung Pascasarjana UNNES.

Selanjutnya penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan *Noise Distribution* dan *Reverberation Time* yang kemudian di korelasikan dengan nilai *Speech Intelligibility*. Tingkat kehadiran pendengar atau kondisi *occupancy* yang semakin besar diasumsikan akan menurunkan *Reverberation Time*. Nilai *Reverberation Time* yang rendah menyebabkan kondisi akustik ruangan yang rentan terhadap gangguan background noise. Jadi dapat diperkirakan *Speech Intelligibility* akan bernilai rendah jika kondisi *occupancy* dan *noise* yang tinggi untuk volume ruangan yang tertentu. Penelitian akustik ini dilaksanakan dalam beberapa ruang perkuliahan di gedung Pascasarjana UNNES.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen. Penelitian dilaksanakan di Kampus Pascasarjana Universitas Negeri Semarang dimana sampling yang diambil mempertimbangkan variasi volume ruangan pada tahun 2019. Alat dan bahan yang digunakan antara lain: *mic condensor*, laptop (dB meter), *amplifier/loudspeaker* sumber Tegangan (*power supply*), meteran, *software edison*, *software real time analyzer*.

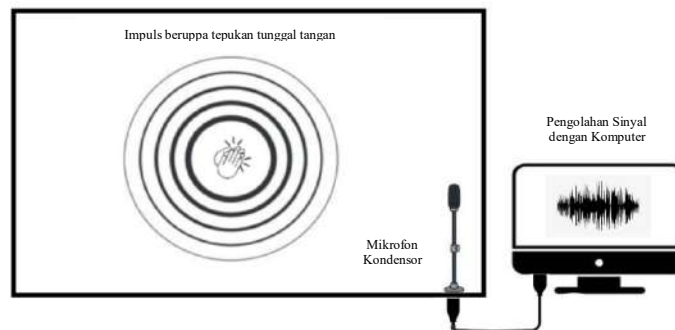
Noise Distribution

Pengukuran *noise distribution* dilakukan dalam rentang frekuensi 20 Hz sampai 20 kHz. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *software realtime analyzer* dengan menggunakan mikrofon kondensor. Pengukuran dilakukan di dalam ruang perkuliahan yang kosong untuk mendeteksi *noise* yang berasal dari luar yang bisa masuk ke ruang perkuliahan.

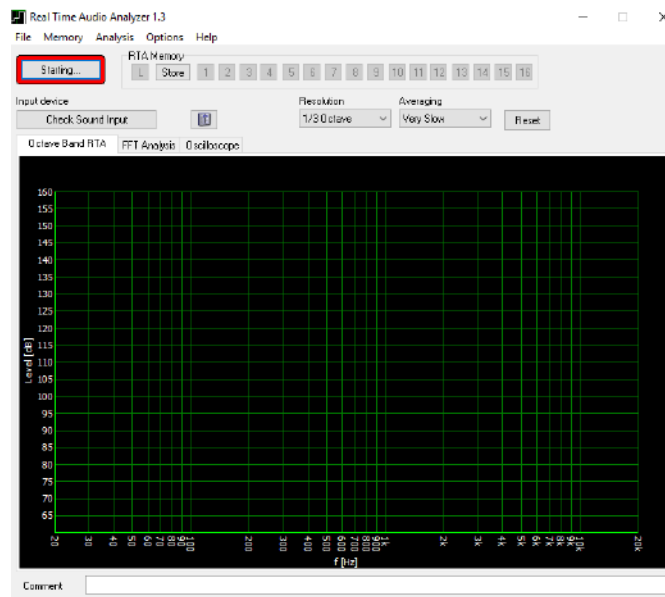
Reverberation Time

Pengukuran *Reverberation Time* (waktu kerdam dalam penelitian ini dilakukan dengan metode respon impuls terintegrasi (*Integrated Impuls Response*) (ISO-3382, 2022). Gambar 1 menunjukkan cara pengukuran yang digunakan dalam penelitian ini. Software edison digunakan untuk analisis *Reverberation Time* berdasarkan sinyal yang didapatkan melalui mikrofon.

Impuls bunyi dengan suara tepukan tangan sekali digunakan untuk nilai *Reverberation Time* kondisi occupancy. Sentakan sampel bunyi dari loudspeaker rentang frekuensi 100 Hz, 250 Hz, 300 Hz, 440 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz, 10 kHz digunakan untuk analisis *Reverberation Time* pada distribusi frekuensi.



Gambar 1. Metode Respon Impuls Terintegrasi



Gambar 2. Software Real Time Analyzer

Speech Intelligibility

Pengukuran Speech Intelligibility dilakukan dengan menganalisis reverberation time pada rentang frekuensi suara manusia. Frekuensi yang dipilih yaitu 250 Hz, 300 Hz, 440 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz (Sutanto, 2015).

HASIL

1. Hasil Pemetaan/Distribusi Noise

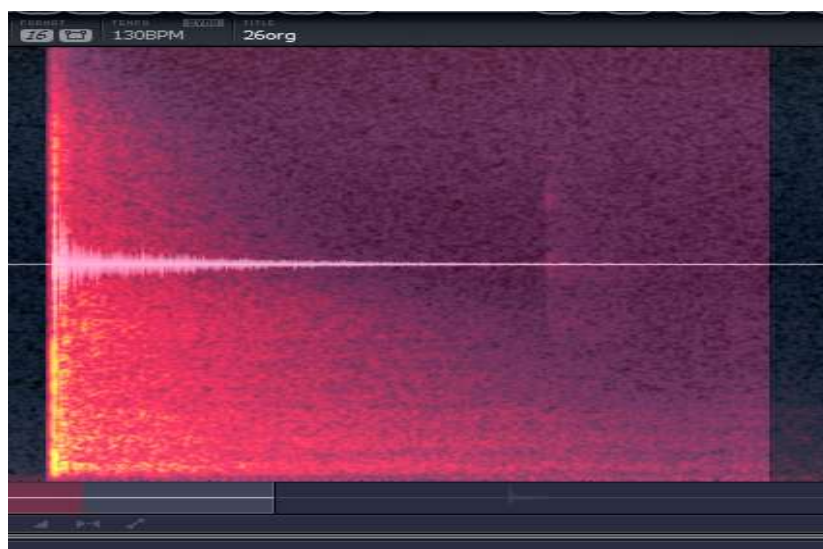
Tabel 1. Distribusi *Noise*

Ruang	Rerata Noise dalam <i>range</i> (dB)						Rerata Noise
	Low Bass	Bass	Low Mid	Mid	Upper Mid	High	
C 104	52,2	44,8	43.3	50.1	49.5	40.3	46.61
B 103	45,7	47,0	52.3	56.1	54.8	39.5	48.30
B 104	51,5	53,6	56.0	56,4	50.3	41.0	50.58
C 207	50,2	52,0	54.0	49.6	47.8	39.0	47.67
C 217	45,5	48,4	53.3	46.1	43.0	36.4	44.27
C 301	47,8	49,0	45.3	47.6	41.0	39.0	44.76

Ket :

Low Bass	: 20 Hz – 70 Hz	Mid	: 500 Hz – 1,5 kHz
Bass	: 80 Hz – 200 Hz	Upper Mid	: 2 kHz – 4 kHz
Low Mid	: 250 Hz – 400 Hz	High	: 5 kHz – 20 kHz

2. Hasil Pengukuran Reveberation Time dengan Software Edison



Gambar 3. Software *Edison*

3. Hasil Pengukuran *Reverberation Time* dengan Kondisi *Occupancy*Tabel 2. *Reverberation Time* Kondisi *Occupancy*

Ruang	Ukuran Dan Kapasitas	Jumlah Audien	Rt (Sekon)
C206	870cm x 660cm x 345cm max 40 org	Kosong (1 peneliti)	0,75
		5 org	0,60
		10 org	0,57
		15 0rg	0,55
C104	1140 cm x 830 cm 345 cm Max 60 orng	Kosong (1 peneliti)	0,98
		10	0,90
		18	0,72
		26	0,58

4. Hasil Pengukuran *Reverberation Time* dengan Pemetaan/Distribusi FrekuensiTabel 3. *Reverberation Time* pada distribusi frekuensi

Ruang	Luas	Distribusi Rt (Sekon)							
		100 Hz	250 Hz	300 Hz	440 Hz	1 kHz	2 kHz	4kHz	10 kHz
C104	1140cmx830cm	1,07	1,04	1,46	1,14	1,17	1,48	0,74	0,90
B103	660cmx540cm	0,35	0,36	0,29	0,36	0,39	0,43	0,39	0,27
C207	1030cmx730cm	1,05	0,88	0,98	1,10	1,01	1,38	1,36	0,84
C206	870cmx660cm	0,97	0,86	0,82	0,57	0,66	0,69	0,67	0,58
B301	640cmx540cm	0,40	0,64	0,46	0,45	0,44	0,62	0,50	0,37

PEMBAHASAN

Pengukuran Noise Distribution dilakukan menggunakan software *Real Time Analyzer* (RTA). Tampilan software RTA seperti pada Gambar 2. Pengukuran dilakukan dalam keadaan ruang perkuliahan kosong (tidak ada peserta kuliah) untuk menganalisis sumber noise yang muncul. Pengukuran menggunakan RTA dilakukan dengan teknik rerata distribusi noise dalam selang waktu 5 detik pada rentang frekuensi 20 Hz - 20kHz.

Berdasarkan data yang ditunjukkan Tabel 1, rerata *noise* yang paling rendah dimiliki rentang frekuensi high dan selain rentang tersebut intensitas noise berkisar antara 40 dB hingga 56 dB. Selain itu, nilai *noise* pada rentang suara manusia yaitu *Low Mid*, *Mid*, dan *Upper Mid* pada ruang C301 memiliki rerata noise terendah dibandingkan yang lain. Hal ini disebabkan kuantitas orang yang lewat dan bercakap di luar ruang perkuliahan relatif lebih sedikit di banding ruiangan lain. Penyebab bocornya suara atau noise masing-masing ruang karena konstruksi yang persis sama.

Salah satu sumber penyebab noise ini adalah suara percakapan orang di luar yang masuk ke dalam ruang perkuliahan, hal ini disebabkan karena ruang perkuliahan kurang terisolasi. Adanya celah pada pintu dan pembatas (kaca) yang berdekatan dengan tempat berkumpulnya atau lewatnya orang kurang mampu mencegah bunyi dari luar masuk kedalam. Selain itu, terdapat kenaikan intensitas noise di sekitar frekuensi 50 Hz sampai 100 Hz saat AC dinyalakan yang membuat rerata noiise berkisar antara 57 dB-65 dB.

Berdasarkan kriteria ANSI S12.2 terkait nilai noise maksimal suatu ruang pembelajaran yaitu 55 dB, maka semua ruang perkuliahan dianggap memenuhi kriteria dengan catatan tidak ada noise yang ditimbulkan oleh percakapan orang di luar ruangan dan noise dari AC.

Reverberation Time Kondisi Occupancy

RT diukur menggunakan *software edison* dengan metode respons impuls. Gambar 3 menunjukkan tampilan *software edison*. Kondisi *occupancy* atau tingkat kehadiran pendengar dalam suatu ruang di analisa melalui pengukuran *Reverberation Time* dengan variasi jumlah peserta perkuliahan yang hadir. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui perbandingan *Reverberation Time* antara kondisi ruangan kosong dan ruang berisi peserta kuliah.

Berdasarkan Tabel 2, *Reverberation Time* Kondisi *Occupancy* mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena peserta menjadi salah satu yang menghambat perjalanan gelombang bunyi untuk menyebar, yaitu melalui proses penyerapan (absorpsi). *Reverberation Time* pada ruang C206 lebih singkat dibandingkan ruang C104, hal ini terjadi karena ruang yang relatif lebih luas dan jumlah maksimal peserta kurang dari separuh kapasitas maksimal sehingga gelombang bunyi yang tersebar di ruang C104 kurang terhambat dibanding di ruang C206.

Reverberation Time pada distribusi frekuensi

Pengukuran *Reverberation Time* pada distribusi frekuensi dilakukan untuk melihat karakteristik akustik RT setiap frekuensi di ruang perkuliahan. Frekuensi yang dipilih yaitu 100 Hz, 250 Hz, 300 Hz, 440 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz dengan pertimbangan rentang frekuensi suara manusia.

Berdasarkan Tabel 3, karakteristik RT pada masing-masing ruang berbeda, misalkan ruang C104 adalah pada frekuensi 300 Hz dengan RT 1,46 sekon dan frekuensi 2 kHz dengan RT 1,48 sekon. Hal ini akan berpengaruh dengan kejelasan suara manusia pada rentang frekuensi tersebut.

Speech Intelligibility

Berdasarkan nilai *Reverberation Time* pada distribusi frekuensi suara manusia, selanjutnya dilakukan analisis *Speech Intelligibility* dengan membandingkan nilai *Reverberation Time* dengan nilai teori. Pendekatan yang lebih baik untuk menerima waktu penggabungan suara akibat efek *reverb* adalah dengan RT antara 0,4 dan 0,6 detik (Lee et al., 2022; Park & Haan, 2021). Berdasarkan pernyataan tersebut maka ruang yang dapat dikategorikan baik dengan tinjauan *speech intelligibility* yaitu ruang B103 dan B301 karena memiliki rentang *Reverberation Time* pada 0,4 detik.

Analisis *Speech Intelligibility* selanjutnya berdasarkan *background noise* yang dapat mengacu pada hasil *noise distribution*. Berdasarkan Gambar 1, Gambar 2 dan Gambar 3 ruang perkuliahan yang dapat dikategorikan baik yaitu ruang di lantai 3 dengan noise di rentang frekuensi suara manusia di bawah 55 dB meskipun konstruksi dan bahan akustik yang ada pada ruang perkuliahan lantai satu, dua, dan tiga hampir sama. Nilai ini mengacu pada ANSI S12.2 dan sesuai dengan *background noise*. Ruang perkuliahan di lantai satu dan dua masih rentan terhadap noise karena masih banyak noise dari keramaian di luar ruang perkuliahan.

Nilai *Speech Intelligibility* selanjutnya ditinjau berdasarkan kondisi *occupancy* menunjukkan bahwa ruang perkuliahan C206 dengan ukuran 870 cm x 660 cm x 345 cm berkapasitas 40 orang berdasarkan Tabel 4.1 paling tidak harus terisi sekitar 10 orang, agar *Reverberation Time* yang dihasilkan berkisar 0,5 sekon. Sedangkan ruang C104 berukuran 1140 cm x 830 cm x 345 cm berkapasitas 60 orang paling tidak harus terisi 25 orang agar *Reverberation Time* berkisar antara 0,6 sekon.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa *Noise Distribution* pada ruang perkuliahan kampus Pascasarjana tergolong tinggi di range frekuensi suara manusia di lantai satu dan dua akibat suara dari luar yang masuk ke ruang perkuliahan. Sedangkan lantai tiga terhindar dari *noise* karena jarang aktivitas di luar perkuliahan di sana. Selain itu keberadaan AC rata-rata menghasilkan noise di sekitar frekuensi 50 Hz sampai 100 Hz. Untuk mengatasi hal ini, ruang perkuliahan diisolir dari *noise* menggunakan penutup kaca yang lebih tebal, celah pintu yang diminimalisir, dan mengganti AC yang tidak menghasilkan *noise* secara berlebihan.

Reverberation time di ruang perkuliahan kampus Pascasarjana semakin lama dengan semakin besarnya luas ruangan dimana material yang melapisi ruang dapat dikategorikan sama. karakteristik RT

pada masing-masing ruang berbeda, misalkan ruang C104 adalah pada frekuensi 300 Hz dengan RT 1,46 sekon dan frekuensi 2 kHz dengan RT 1,48 sekon. Hal ini akan berpengaruh dengan kejelasan suara manusia pada rentang frekuensi tersebut. Kemudian untuk RT dengan kondisi occupancy akan semakin singkat dengan semakin bertambahnya peserta kuliah. *Speech intelligibility* yang baik dalam kondisi ruang kosong yaitu ruang B103 dan B301 karena memiliki rentang RT pad 0,4 detik. *Speech Intelligibility* berdasarkan distribusi noise kurang memenuhi karena noise dalam rentang frekuensi manusia masih dapat masuk ke ruang perkuliahan.

REFERENSI

- ANSI, A. (2019). S12. 60-2002, Acoustical performance criteria, design requirements, and guidelines for schools. *New York: American National Standards Institute*.
- Baafi, R. K. A., & others. (2020). School physical environment and student academic performance. *Advances in Physical Education, 10*(02), 121. <https://doi.org/10.4236/ape.2020.102012School>
- Biały, W., Boloż, Ł., & Sitko, J. (2021). Mechanical processing of hard coal as a source of noise pollution. Case study in Poland. *Energies, 14*(5). <https://doi.org/10.3390/en14051332>
- Choi, Y. J. (2020). The intelligibility of speech in university classrooms during lectures. *Applied Acoustics, 162*, 107211. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107211>
- Choi, Y. J. (2021). Acoustical measurements of masks and the effects on the speech intelligibility in university classrooms. *Applied Acoustics, 180*, 108145. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108145>
- Croce, P., Leccese, F., Salvadori, G., & Berardi, U. (2023). Proposal of a Simplified Tool for Early Acoustics Design Stage of Classrooms in Compliance with Speech Intelligibility Thresholds. *Energies, 16*(2), 813. <https://doi.org/10.3390/en16020813>
- Dongre, A. R., Patil, A. P., Wahurwagh, A. J., Kothari, A., Burchundi, K., & Manohare, M. P. (2017). Acoustical characteristics of classrooms of tropical climate. *Applied Acoustics, 121*, 46–55. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.01.030>
- ISO-3382. (2022). Acoustics-- Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters. *International Standards Organization*.
- Juan R, A., & Tilano, L. M. (2018). Measurement of Classroom Acoustic Parameters in the Public Schools of Medellin Grupo de Investigación en Modelamiento y Simulación Computacional Universidad de San Buenaventura – Seccional Medellin Carrera 56C # 51-110 , Medellin , Colombia Luz M . Tilano. *International Journal of Acoustics and Vibration, 24*(1), 50–55.
- Kapoor, N. R., Kumar, A., Meena, C. S., Kumar, A., Alam, T., Balam, N. B., & Ghosh, A. (2021). A Systematic Review on Indoor Environmental Quality in Naturally Ventilated School Classrooms: A Way Forward. *Advances in Civil Engineering, 2021*. <https://doi.org/10.1155/2021/8851685>
- Kawata, M., Tsuruta-Hamamura, M., & Hasegawa, H. (2023). Assessment of speech transmission index and reverberation time in standardized English as a foreign language test rooms. *Applied Acoustics, 202*, 109093. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.109093>
- Lee, S.-M., Park, C.-J., & Haan, C.-H. (2022). Investigation of the Appropriate Reverberation Time in Learning Spaces for Elderly People Using Speech Intelligibility Tests. *Buildings, 12*(11), 1943. <https://doi.org/10.3390/buildings12111943>
- Macho-Stadler, E., & Elejalde-Garcia, M. J. (2020). Measuring the Acoustic Response of Classrooms with a Smartphone. *The Physics Teacher, 58*(8), 585–588. <https://doi.org/10.1119/10.0002383>
- Marquis-Favre, C., Gille, L. A., & Breton, L. (2021). Combined road traffic, railway and aircraft noise sources: Total noise annoyance model appraisal from field data. *Applied Acoustics, 180*, 108127. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108127>
- Mikulski, W., & Radosz, J. (2011). Acoustics of classrooms in primary schools-results of the reverberation time and the speech transmission index assessments in selected buildings. *Archives of Acoustics, 36*(4), 777–793.

- Minelli, G., Puglisi, G. E., Astolfi, A., Hauth, C., & Warzybok, A. (2021). Binaural speech intelligibility in a real elementary classroom. *Journal of Physics: Conference Series*, 2069(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2069/1/012165>
- Motlagh Zadeh, L., Silbert, N. H., Sternasty, K., Swanepoel, D. W., Hunter, L. L., & Moore, D. R. (2019). Extended high-frequency hearing enhances speech perception in noise. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(47), 23753–23759.
- Park, C.-J., & Haan, C.-H. (2021). Initial study on the reverberation time standard for the Korean middle and high school classrooms using speech intelligibility tests. *Buildings*, 11(8), 354. <https://doi.org/10.3390/buildings11080354>
- Pistore, L., Pittana, I., Cappelletti, F., Romagnoni, P., & Gasparella, A. (2020). Analysis of subjective responses for the evaluation of the indoor environmental quality of an educational building. *Science and Technology for the Built Environment*, 26(2), 195–209. <https://doi.org/10.1080/23744731.2019.1649460>
- Polewczyk, I., & Jarosz, M. (2020). Teachers' and students' assessment of the influence of school rooms acoustic treatment on their performance and wellbeing. *Archives of Acoustics*, 45(3), 401–417. <https://doi.org/10.24425/aoa.2020.134057>
- Price, C. N., Alain, C., & Bidelman, G. M. (2019). Auditory-frontal Channeling in α and β Bands is Altered by Age-related Hearing Loss and Relates to Speech Perception in Noise. *Neuroscience*, 423, 18–28. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2019.10.044>
- Prodeus, A., & Didkovska, M. (2020). Objective assessment of speech intelligibility in small and medium-sized classrooms. *International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*, 27–32.
- Puglisi, G. E., Warzybok, A., Astolfi, A., & Kollmeier, B. (2021). Effect of reverberation and noise type on speech intelligibility in real complex acoustic scenarios. *Building and Environment*, 204(July), 108137. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108137>
- Russo, D., & Ruggiero, A. (2019). Choice of the optimal acoustic design of a school classroom and experimental verification. *Applied Acoustics*, 146, 280–287. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.11.019>
- Shield, B., & Conetta, R. (2015). *A survey of acoustic conditions and noise levels in secondary school classrooms in England*. 177. <https://doi.org/10.1121/1.4904528>
- Vijayarathay, S., Mohan, M., Nagalakshmi, P., & Barman, A. (2021). Speech perception in noise, gap detection and amplitude modulation detection in suspected hidden hearing loss. *Hearing, Balance and Communication*, 19(3), 203–211. <https://doi.org/10.1080/21695717.2021.1876494>
- Xu, S., Peng, J., Xiao, Y., & Huang, W. (2021). The effect of low frequency reverberation on Chinese speech intelligibility in two classrooms. *Applied Acoustics*, 182, 108241. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108241>
- Yaman, M., Kurtay, C., & Harputlugil, G. U. (2022). Evaluation and Improvement of Reverberation Time in the Current Enclosed Spaces with Speech Action. *Periodica Polytechnica Architecture*, 53(2), 127–136. <https://doi.org/10.3311/PPar.17267>
- Yang, D., & Mak, C. M. (2020). Relationships between indoor environmental quality and environmental factors in university classrooms. *Building and Environment*, 186(August), 107331. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107331>
- Yang, D., & Mak, C. M. (2021). Effects of acoustical descriptors on speech intelligibility in Hong Kong classrooms. *Applied Acoustics*, 171, 107678. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107678>