

**PENGEMBANGAN *DIGITAL TWIN* AKUSTIK BERBASIS
SIMULASI *RAY TRACING* UNTUK ANALISIS DISTRIBUSI
SOUND PRESSURE LEVEL PADA MASJID**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan mendapatkan gelar Strata
Satu Program Studi Informatika**



**USWATUN HASANAH
22EO10003**

**PROGRAM STUDI INFORMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS NAHDLATUL ULAMA AL GHAZALI
CILACAP
2026**

**PENGEMBANGAN *DIGITAL TWIN* AKUSTIK BERBASIS
SIMULASI *RAY TRACING* UNTUK ANALISIS DISTRIBUSI
SOUND PRESSURE LEVEL PADA MASJID**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan mendapatkan gelar Strata
Satu Program Studi Informatika**



**USWATUN HASANAH
22EO10003**

**PROGRAM STUDI INFORMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS NAHDLATUL ULAMA AL GHAZALI
CILACAP
2026**

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya menyatakan bahwa penulisan skripsi dengan judul “Pengembangan *Digital Twin* Akustik Berbasis Simulasi *Ray Tracing* untuk Analisis Distribusi *Sound Pressure Level* pada Masjid” adalah hasil karya saya dengan arahan dari pembimbing dan belum diajukan kepada pihak manapun. Sumber informasi yang dikutip dalam skripsi ini telah dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya. Apabila di kemudian hari terdapat ketidaksesuaian dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Cilacap, 16 Juli 2026



Uswatun Hasanah
22EO10003

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi Saudara

Nama : Uswatun Hasanah
NIM : 22EO10003
Fakultas/Prodi : Fakultas MIKOM / Informatika
Judul : Pengembangan *Digital twin* Akustik Berbasis Simulasi
Ray tracing untuk Analisis Distribusi *Sound Pressure Level* pada Masjid

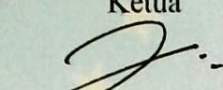
Telah disidangkan oleh Dewan Penguji Fakultas Matematika dan Ilmu Komputer Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali (UNUGHA) Cilacap pada hari / tanggal :
Rabu, 01 Juli 2026

Dan dapat diterima sebagai pemenuhan tugas akhir mahasiswa Program Strata Satu (S.1) Program Studi Informatika (S.Kom.) Fakultas Matematika dan Ilmu Komputer (FMIKOM) pada Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali (UNUGHA) Cilacap.

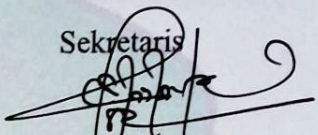
Cilacap, 15 Juli 2026

Dewan Sidang

Ketua


M. T. A. Aziz Zein, S.Si., M.Kom.
NIDN. 2125098601

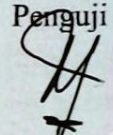
Sekretaris


Safiq Rosad, S.T., M.Kom.
NIDN. 0609018101

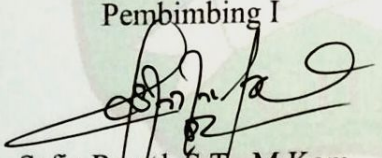
Penguji 1


M. T. A. Aziz Zein, S.Si., M.Kom.
NIDN. 2125098601

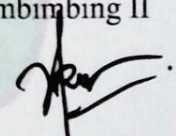
Penguji 2


Lasimin, M.Kom.
NIDN. 0605048602

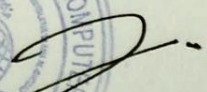
Pembimbing I


Safiq Rosad, S.T., M.Kom.
NIDN. 0609018101

Pembimbing II


Koko Edy Yulianto, M.Kom.
NIP. 230714144

Mengetahui,
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Komputer


M. T. A. Aziz Zein, S.Si., M.Kom.
NIDN. 2125098601

HALAMAN NOTA KONSULTAN

M. T. A. Aziz Zein, S.Si., M.Kom.

Dosen Fakultas Matematika dan Ilmu Komputer
Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali Cilacap

NOTA KONSULTAN

Hal : Skripsi Saudara/i Uswatun Hasanah
Lampiran : -

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Komputer
Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali Cilacap
di Cilacap

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Setelah membaca, memeriksa dan melakukan perbaikan seperlunya maka skripsi saudara/i:

Nama : Uswatun Hasanah
NIM : 22EO10003
Prodi : Informatika
Judul : Pengembangan *Digital Twin* Akustik Berbasis Simulasi *Ray Tracing* untuk Analisis Distribusi *Sound Pressure Level* pada Masjid

Dapat diajukan ke Fakultas Matematika dan Ilmu Komputer Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali Cilacap untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Strata Satu (S1).

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Cilacap, 15 Juli 2026
Konsultan



M. T. A. Aziz Zein, S.Si., M.Kom.
NIDN. 2125098601

HALAMAN NOTA PEMBIMBING

Cilacap, 25 Juni 2026

Kepada Yth :
Fakultas Matematika dan Komputer (FMIKOM)
UNUGHA Cilacap
di Cilacap

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Setelah melakukan bimbingan, telaah, arahan dan koreksi tahap penulisan skripsi saudara:

Nama : Uswatun Hasanah
NIM : 22EO10003
Fakultas : Matematika dan Ilmu Komputer
Prodi : Informatika
Judul : Pengembangan *Digital twin* Akustik Berbasis Simulasi *Ray tracing* untuk Analisis Distribusi *Sound Pressure Level* pada Masjid

Kami berpendapat bahwa skripsi tersebut sudah dapat diajukan ke sidang skripsi. Bersamaan ini kami kirimkan skripsi tersebut, semoga dapat segera disidangkan.

Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.
Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Mengetahui,

Pembimbing I

Pembimbing II



Safiq Rosad, S.T., M.Kom.
NIDN. 0609018101



Koko Edy Yulianto, M.Kom.
NIP. 230714144

HALAMAN MOTO

“Lelah boleh singgah, tapi menyerah bukan pilihan bagi jiwa yang telah berjuang sejauh ini.”

(Awit Silan Lestari)

“Mulailah dari mana kau berada. Gunakan apa yang kau punya. Lakukan apa yang kau bisa”

(Arthur ashe)

“Tidak ada jabatan di dunia ini yang perlu dipertahankan mati-matian”

(Gus Dur)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puji bagi Allah SWT, Rabb semesta alam yang senantiasa memberikan karunia sehingga penulis mampu menyelesaikan penulisan skripsi ini. Karya ini saya persembahkan kepada :

1. Orang tua Bapak Sutarto dan Ibu Admini yang selalu mendidik saya, memberikan do'a, dukungan, nasihat dan semangat yang tiada henti.
2. Kakak tercinta Apriyani Nurohmah yang selalu memberikan do'a dan semangat tiada henti di setiap detik langkahku.
3. Diri saya sendiri, yang telah berusaha, bertahan, dan tidak menyerah dalam menghadapi setiap proses serta tantangan selama penyusunan skripsi ini. Terima kasih telah terus melangkah dan berjuang hingga dapat menyelesaikan skripsi ini dengan sebaik-baiknya.
4. Sahabat saya, Awit Silan Lestari dan Hellen Tiffani yang selalu memberikan dukungan, menemani setiap proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih atas doa, dan semangatnya.
5. Teman-teman PKL seperjuangan yang selama ini selalu bersama dalam menjalani proses penyusunan skripsi. Terima kasih atas kebersamaan, dukungan, semangat, serta perjuangan yang telah dilalui bersama hingga tahap ini.
6. Keluarga FMIKOM Angkatan 2022 yang selalu memberikan keceriaan, kebersamaan dan motivasi.
7. Keluarga Besar Program Studi Informatika, yang telah menjadi tempat penulis belajar, berkembang, dan memperoleh banyak pengalaman berharga.
8. Seluruh teman UNUGHA yang telah memberikan do'a, dukungan, dan semangat.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala limpahan nikmat dan karuniaNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi. Sholawat dan salam senantiasa penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW sebagai pembimbing seluruh umat manusia.

Skripsi ini tidak akan selesai tanpa adanya bantuan dari banyak pihak, karena itu penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Mochamad Taufiqurohman Abdul Aziz Zein, S.Si., M.Kom, Dekan FMIKOM UNUGHA
2. Bapak Safiq Rosad, S.T., M.Kom, pembimbing I yang telah dengan sabar memberikan bimbingan dan petunjuk dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Koko Edy Yulianto, M.Kom, pembimbing II yang telah dengan sabar memberikan bimbingan dan petunjuk dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Ibu Riski Aspriyani, M.Pd., sebagai Pembimbing Akademis
5. Pihak instansi SHATOMEDIA
6. Bapak-Ibu dosen Program Studi Informatika FMIKOM UNUGHA
7. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu

Semoga Allah SWT membalas jerih payah dan pengorbanan yang telah diberikan dengan balasan yang lebih baik. Amiin. Penulis berharap semoga karya kecil ini bermanfaat bagi pembaca.

Cilacap, 25 juni 2026

Uswatun Hasanah

ABSTRAK

USWATUN HASANAH. Pengembangan *Digital Twin* Akustik Berbasis Simulasi *Ray Tracing* untuk Analisis Distribusi *Sound Pressure Level* pada Masjid. Dibimbing oleh Safiq Rosad, S.T., M.Kom. dan Koko Edy Yulianto, M.Kom.

Masjid sebagai ruang ibadah publik memiliki karakteristik akustik yang kompleks akibat volume ruangan yang besar, penggunaan material reflektif, serta geometri bangunan yang khas. Kondisi tersebut sering menimbulkan distribusi *Sound Pressure Level* (SPL) yang tidak merata. Permasalahan ini menunjukkan perlunya pendekatan berbasis simulasi yang mampu merepresentasikan kondisi akustik ruang secara komprehensif sebagai media analisis terhadap sistem tata suara yang digunakan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model *digital twin* berbasis simulasi akustik sebagai alat bantu analisis distribusi SPL pada sistem audio masjid multi-zona. Studi kasus dilakukan di ruang utama Masjid Al-Muhajirin Sedayu, Bantul, melalui tahapan karakterisasi geometri dan material ruang, pemodelan *Shoobox* serta penyusunan basis data parameter akustik. Simulasi dilakukan menggunakan pendekatan geometris *ray tracing* untuk memprediksi distribusi SPL pada berbagai titik penerima, kemudian hasil simulasi divalidasi dengan pengukuran lapangan untuk mengetahui tingkat kesesuaian model dengan kondisi nyata.

Hasil yang diharapkan dari penelitian ini berupa model *digital twin* terverifikasi yang mampu merepresentasikan kondisi akustik ruang serta memberikan gambaran distribusi SPL pada ruang utama masjid. Model tersebut diharapkan dapat menjadi media analisis dan evaluasi sistem audio yang digunakan serta menjadi dasar bagi pengembangan penelitian selanjutnya terkait optimasi tata letak speaker. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi awal dalam pengembangan sistem audio masjid berbasis pendekatan digital dan mendukung implementasi konsep smart mosque yang terintegrasi.

Kata kunci: *Digital twin*, *Simulasi Akustik*, *Ray tracing*, *SPL*, *Sistem Audio Masjid Multi-Zona*.

ABSTRACT

USWATUN HASANAH. Development of an Acoustic Digital Twin Based on Ray Tracing Simulation for Sound Pressure Level Distribution Analysis in Mosques. Supervised by Safiq Rosad, S.T., M.Kom. and Koko Edy Yulianto, M.Kom.

As public places of worship, mosques possess complex acoustic characteristics due to their large room volumes, the use of reflective materials, and distinctive architectural geometries. These conditions often result in an uneven distribution of Sound Pressure Level (SPL). This issue highlights the need for a simulation-based approach capable of comprehensively representing the room's acoustic conditions to serve as a basis for analyzing the installed sound system.

This research aims to develop an acoustic simulation-based digital twin model to assist in analyzing SPL distribution within multi-zone mosque audio systems. A case study was conducted in the main prayer hall of Al-Muhajirin Mosque in Sedayu, Bantul, involving stages such as characterizing the room's geometry and materials, creating a "shoebox" model, and compiling a database of acoustic parameters. Simulations were performed using a geometric ray tracing approach to predict SPL distribution at various receiver points; the results were then validated against field measurements to assess the model's accuracy relative to actual conditions.

The expected outcome of this research is a verified digital twin model capable of representing the room's acoustic conditions and visualizing SPL distribution within the main prayer hall. The model is intended to serve as a tool for analyzing and evaluating the audio system and to provide a foundation for future research on optimizing speaker placement. This study is expected to make an initial contribution to the development of digital-based mosque audio systems and support the implementation of integrated "smart mosque" concepts.

Keywords: Digital twin, Acoustic Simulation, Ray tracing, SPL, Multi-Zone Mosque Audio System.

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
HALAMAN NOTA KONSULTAN.....	v
HALAMAN NOTA PEMBIMBING.....	vi
HALAMAN MOTO	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
ABSTRAK	x
<i>ABSTRACT</i>	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	2
C. Batasan Masalah	2
D. Tujuan Penelitian	3
E. Manfaat Penelitian	3
F. Keaslian Penelitian.....	4
G. Kontribusi Penelitian	4
H. Keterbaruan Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
A. Penelitian Terkait	6
B. Landasan Teori.....	16
1. Akustik Ruang Masjid	16
2. Persamaan Gelombang Akustik dan Metode Numerik	18
3. <i>Digital Twin</i> untuk Akustik Ruang.....	18
4. <i>Ray tracing</i> Method untuk Simulasi Akustik	19
BAB III METODOLOGI.....	21
A. Jenis Penelitian.....	21

B. Waktu dan Tempat Penelitian.....	21
C. Alat dan Bahan.....	21
D. Subjek dan Objek Penelitian.....	22
1. Subjek Penelitian.....	22
2. Objek Penelitian	22
E. Prosedur Penelitian	24
1. Studi Literatur dan Identifikasi Masalah	24
2. Karakterisasi Akustik dan Geometri Ruangan	26
3. Pembuatan Model 3D dan Konfigurasi Simulasi	29
4. Pelaksanaan Simulasi Akustik.....	31
5. Validasi Model <i>Digital Twin</i>	34
F. Jadwal Penelitian	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
A. Hasil Karakterisasi Akustik dan Geometri Masjid	37
1. Dimensi dan Volume Ruang Utama.....	37
2. Identifikasi Material Interior	37
3. Pengukuran SPL Awal pada Titik Penerima	38
B. Hasil Pembuatan Model <i>Digital Twin</i>	40
1. Model Geometri 3D.....	40
2. Konfigurasi Material Akustik.....	41
3. Kalibrasi Koefisien Absorpsi Material.....	42
4. Posisi Sumber dan Penerima dalam Model	44
C. Hasil Simulasi Akustik Konfigurasi Baseline.....	44
1. Distribusi SPL Hasil Simulasi	44
2. Validasi Model <i>Digital Twin</i>	45
D. Pembahasan Hasil Penelitian	48
1. Kinerja Model <i>Digital Twin</i>	48
2. Analisis Distribusi SPL	48
3. Implikasi Penelitian	48
4. Ringkasan Hasil Utama	49
BAB V KESIMPULAN	50
A. Kesimpulan	50
B. Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	52

LAMPIRAN 1 Data Noise Floor Ruangan	55
LAMPIRAN 2 Pemetaan 17 Titik penerima suara	57
LAMPIRAN 3 Geometri 3D (SketchUp)	58
LAMPIRAN 4 Hasil Simulasi Akustik.....	59
LAMPIRAN 5 Data SLM	60
LAMPIRAN 6 Karakteristik Ruangan.....	61
LAMPIRAN 7 Data Koordinat Titik Pengukuran Sound Pressure Level (SPL)..	63
LAMPIRAN 8 Data Konfigurasi Speaker pada Model <i>Digital Twin</i>	66
LAMPIRAN 9 Pengukuran di Setiap Titik.....	69
LAMPIRAN 10 Data Kondisi Lingkungan Saat Pengukuran SPL	71
LAMPIRAN 11 Data Konfigurasi Lingkungan Simulasi <i>Digital Twin</i>	73
LAMPIRAN 12 Parameter Konfigurasi Simulasi Akustik.....	75
LAMPIRAN 13 Koefisien Absorpsi Material Masjid Al-Muhajirin.....	77
LAMPIRAN 14 Data Eksekusi Simulasi <i>Digital Twin</i> Akustik.....	78
LAMPIRAN 15 Hasil Validasi Model <i>Digital Twin</i> Akustik.....	81
LAMPIRAN 16 Tabel Perbandingan SPL Simulasi vs Pengukuran	83
LAMPIRAN 17 Visualisasi Validasi	85
LAMPIRAN 18 Script Python Untuk Simulasi	86

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mind Map Penelitian.....	14
Gambar 2. 2 Taksonomi Penelitian Akustik Masjid	15
Gambar 2. 3 Ilustrasi <i>Ray tracing</i> dalam Ruangan Masjid	20
Gambar 3. 1 Prosedur Penelitian.....	24
Gambar 3. 2 Gambaran Konseptual Distribusi Suara Ruang Utama Sholat.....	25
Gambar 3. 3 Skema geometri ruang utama masjid untuk pemodelan akustik.	27
Gambar 3. 4 Denah Titik Pengukuran SPL di Ruang Utama Masjid	27
Gambar 3. 5 Diagram Konfigurasi Simulasi.....	31
Gambar 3. 6 Ilustrasi Visualisasi Distribusi SPL Simulasi baseline.....	33
Gambar 4. 1 Visualisasi sebaran titik pengukuran.....	40
Gambar 4. 2 Model Ruang 3D <i>Shoebox</i>	41
Gambar 4. 3 Grafik Hubungan Koefisien Absorpsi Lantai terhadap Nilai MAE. 43	
Gambar 4. 4 Heatmap Hasil Simulasi	45
Gambar 4. 5 Hasil Pengukuran Simulasi dengan Data Lapangan	46
Gambar 4. 6 Boxplot Distribusi Error SPL Hasil Validasi	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Ringkasan Peneltian Terdahulu	6
Tabel 2. 2 Rangkuman Gap dan <i>Novelty</i> Penelitian.....	10
Tabel 2. 3 Koefisien Serapan Bunyi Material	16
Tabel 3. 1 Alat dan Bahan Penelitian.....	22
Tabel 3. 2 Checklist observasi awal sistem audio Masjid Al-Muhajirin	25
Tabel 3. 3 Data dimensi dan material utama ruang salat Masjid Al-Muhajirin....	28
Tabel 3. 4 Data awal pengukuran SPL di ruang utama.....	28
Tabel 3. 5 Parameter utama simulasi akustik.....	31
Tabel 3. 6 Hasil validasi SPL simulasi vs pengukuran	35
Tabel 3. 7 Jadwal Penelitian Skripsi	36
Tabel 4. 1 Dimensi dan volume ruang utama Masjid Al-Muhajirin.....	37
Tabel 4. 2 Jenis material interior ruang utama dan koefisien absorpsi	38
Tabel 4. 3 Hasil pengukuran SPL awal di ruang utama.....	39
Tabel 4. 4 Konfigurasi material akustik dalam simulasi.....	41
Tabel 4. 5 Hasil Kalibrasi Koefisien Absorpsi Material	42
Tabel 4. 6 Ringkasan hasil utama penelitian.....	49