

**RANCANG BANGUN APLIKASI VERIFIKASI PENGGUNA BERBASIS
VOICE BIOMETRIC MENGGUNAKAN ECAPA-TDNN PADA
PENYIMPANAN DOKUMEN PRIBADI**



AQILAH QATHRUNNADA MUMTAZ
NIM. 2210511155

FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN” JAKARTA
JUNI 2026

**RANCANG BANGUN APLIKASI VERIFIKASI PENGGUNA BERBASIS
VOICE BIOMETRIC MENGGUNAKAN ECAPA-TDNN PADA
PENYIMPANAN DOKUMEN PRIBADI**

**AQILAH QATHRUNNADA MUMTAZ
NIM. 2210511155**

SKRIPSI

sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer

**PROGRAM STUDI S1 INFORMATIKA
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN”
JAKARTA
2026**

**PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI
SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA**

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul "Rancang Bangun Aplikasi Verifikasi Pengguna berbasis *Voice Biometric* menggunakan ECAPA-TDNN pada Penyimpanan Dokumen Pribadi" adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jakarta.

Jakarta, 27 Juli 2026

ang menyatakan,



Aqilah Qathrunnada Mumtaz
NIM. 2210511155

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademika Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Aqilah Qathrunnada Mumtaz
NIM : 2210511155
Fakultas : Ilmu Komputer
Program Studi : S1 Informatika

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (Non-exclusive Royalty Free Right) atas skripsi saya yang berjudul:

**Rancang Bangun Aplikasi Verifikasi Pengguna berbasis *Voice Biometric*
menggunakan ECAPA-TDNN pada Penyimpanan Dokumen Pribadi**

Dengan Hak Bebas Royalti ini Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta berhak menyimpan, mengalih media atau memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (basis data), merawat dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Jakarta
Pada Tanggal: 27 Juli 2026
Yang menyatakan,



Aqilah Qathrunnada Mumtaz

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan berkat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Rancang Bangun Aplikasi Verifikasi Pengguna Berbasis *Voice Biometric* menggunakan ECAPA-TDNN pada Penyimpanan Dokumen Pribadi” dengan baik. Penulisan skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan untuk menyelesaikan studi di program studi Informatika dan mencapai gelar Sarjana Komputer di Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta.

Dalam proses penyusunan dan penyelesaiannya, penulis menyadari bahwa semua ini tidak luput dari bimbingan, dukungan, hingga bantuan secara langsung maupun tidak langsung dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan tulus, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Reza Zuarli dan Sri Wulan Kadarini, serta keluarga penulis yang turut hadir memberikan motivasi dan dukungan berupa moral maupun moril. Terima kasih atas segala doa baik yang tidak pernah putus yang telah diberikan kepada penulis. Segala pencapaian yang penulis raih tidak luput dari pengorbanan dan kasih sayang yang telah kalian berikan;
2. Prof. Dr. Ir. Supriyanto, S.T., M.Sc., IPM., selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta dan Dr. Ridwan Raafi’udin, S.Kom., M.Kom, selaku Koordinator Program Studi S1-Informatika, yang telah memberikan kontribusinya untuk membangun lingkungan akademik yang mendukung proses belajar serta pengembangan diri bagi penulis;
3. Dosen Pembimbing 1 penulis, Neny Rosmawarni M.Kom., yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, dukungan, dan motivasi yang sangat berarti sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini tepat waktu. Terima kasih atas kesabaran Ibu untuk memberikan jawaban atas segala pertanyaan, bantuan dan masukan dari Ibu untuk mendukung penulisan skripsi penulis, dan segala waktu yang telah Ibu luangkan untuk membimbing penulis di tengah kepadatan dan kesibukan jadwal. Semoga Ibu dan keluarga senantiasa diberikan kesehatan, kebahagiaan, dan rezeki yang berlimpah;
4. Dosen Pembimbing 2 penulis, Muhammad Panji Muslim, S.Pd., M.Kom., yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan masukan yang mendukung penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih atas segala *insight* yang telah Bapak berikan selama masa bimbingan maupun masa pembelajaran penulis di Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta yang memperkaya pemahaman penulis sehingga dapat menjadi bekal setelah kelulusan nanti. Semoga Bapak dan keluarga senantiasa diberikan kesehatan, kebahagiaan, dan keberkahan;
5. Seluruh Bapak dan Ibu dosen dan staf Fakultas Ilmu Komputer yang telah memberikan ilmu, menambah wawasan, dan dukungan selama penulis menjalani masa studi di Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta. Terima kasih telah membantu penulis untuk tumbuh, berkat dedikasi dan kontribusi kalian;
6. Cira Alandia dan Aliyah Irsya Azzahri selaku sahabat penulis yang telah menemani perjalanan penulis sejak masa pertama menjadi mahasiswa baru hingga saat ini kami telah tiba di titik penghujung masa studi program Sarjana. Terima kasih telah tumbuh

dan berkembang bersama-sama, saling memberikan dukungan, semangat, dan motivasi, juga menyertai dan menemani penulis di setiap langkah. Dukungan moral dan hiburan yang kalian berikan menjadi energi positif yang sangat membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Kehadiran dan kebersamaan kalian sangat berharga bagi penulis. Semoga pertemanan kami akan terus terjalin dan kalian mendapatkan kebahagiaan, keberkahan, dan kesuksesan yang pantas kalian dapatkan;

7. Teman-teman kos Jl. Rangu, Siti Nurul Fatimah, Gema Mutiara Insani, dan Amanda Feby Sabrina, yang telah menjadi teman yang selalu mendukung dan menemani penulis selama masa perkuliahan. Terima kasih atas kebersamaan, tawa, cerita, dan bantuan yang telah membuat masa-masa perkuliahan penulis menjadi berwarna. Kehadiran kalian sangat berkesan di memori perjalanan penulis;
8. Teman-teman kelas D, Anja, Annisa, Dita, Jilan, Zah Rainy, Gifary, Rachva, dan Rendy, yang telah menjadi bagian dari perjalanan penulis selama masa perkuliahan. Terima kasih telah menjadi teman yang baik dan mendukung penulis di masa perkuliahan hingga masa penyusunan Tugas Akhir. Terima kasih telah membuat lingkungan kuliah penulis menjadi hangat;
9. Teman-teman SD Hang Tuah, Maura Gita Swari Rahadi dan Made Chalisa Chila Giri Asta Putri, yang hingga saat ini masih menjalin pertemanan yang baik. Terima kasih telah mendukung dan memotivasi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik dengan menemani penulis selama masa penulisan dan penyusunan;
10. Teman-teman SMPN 95, Fira Ananda, Raidatul Jannah, dan Maura Gita Swari Rahadi, yang ikut serta memberikan dukungan, cerita, dan motivasi. Terima kasih atas pertemanan yang masih terjalin hingga saat ini dan senantiasa membawakan kebahagiaan;
11. Teman-teman SMAN 18, Salsabila Rafa Ginta Beru Bangun, Diandra Bunga Razkya Triandani, dan Aulia Muharomah, yang senantiasa masih berbagi cerita, kebahagiaan, dan pertemanan hingga saat ini. Terima kasih telah memberikan dukungan dan motivasi, turut hadir membawa semangat, memberikan kebahagiaan dan tawa canda di hidup penulis.

Jakarta, 28 Juni 2026

Aqilah Qathrunnada Mumtaz

ABSTRAK

Penelitian ini merancang dan membangun aplikasi DokuSafe sebagai aplikasi penyimpanan dokumen pribadi berbasis Android dengan autentikasi biometrik suara dan enkripsi dokumen. Sistem dibangun menggunakan arsitektur *client-server*, di mana aplikasi Android digunakan untuk pengelolaan dokumen, sedangkan *backend* FastAPI digunakan untuk memproses autentikasi suara. Model ECAPA-TDNN digunakan untuk verifikasi pembicara berbasis *speaker embedding*, sedangkan Nes2Net-X digunakan sebagai lapisan *anti-spoofing* untuk mendeteksi audio palsu sebelum proses verifikasi dilakukan. Dokumen yang disimpan diamankan menggunakan AES-256, sementara data pengguna, metadata dokumen, dan riwayat aktivitas disimpan secara lokal menggunakan *Room Database*. Metode pengembangan yang digunakan adalah *Rapid Application Development* (RAD), dengan pengujian meliputi *unit testing*, *integration testing*, *system testing*, *performance testing*, serta evaluasi model. Hasil *system testing* menunjukkan seluruh 35 skenario pengujian berhasil dijalankan dengan persentase keberhasilan 100%. Evaluasi ECAPA-TDNN pada *threshold* 0,45 menghasilkan FAR 0,0154 dan FRR 0,0000. Sementara itu, evaluasi Nes2Net-X pada *threshold* 4,5 menghasilkan FAR 0,2353 dan FRR 0,2778. Berdasarkan hasil tersebut, DokuSafe berhasil dibangun sebagai aplikasi penyimpanan dokumen pribadi yang menerapkan perlindungan berlapis melalui verifikasi suara, deteksi *anti-spoofing*, dan enkripsi dokumen.

Kata Kunci : Android, ECAPA-TDNN, Nes2Net-X, AES-256, Biometrik Suara

ABSTRACT

This research designs and builds DokuSafe as an Android-based personal document storage application with voice biometric and document encryption. The system is built using client-server architecture, where Android Application is used as document management, while FastAPI backend is used to process the voice authentication. ECAPA-TDNN model is used to verify the speaker based on the speaker embedding, while Nes2Net-X is used for Anti-spoofing layer to detect a faked audio before the verification process ran. The stored documents is secured by using AES-256, while the user data, document metadatas, and activity history saved locally in Room Database. Development method that is used in this research is Rapid Application Development (RAD) and the testing involving unit testing, integration testing, system testing, performance testing, also model evaluation. The result of system testing shows that all the 35 testing scenarios is successfully executed with a 100% success rate. ECAPA-TDNN evaluation in 0,45 threshold delivered FAR 0,0154 and FRR 0,0000. Meanwhile, Nes2Net-X in 4,5 threshold delivered FAR 0,2353 and FRR 0,2778. Based on the result, DokuSafe is built successfully as a personal document storage application that implements layered protection with voice biometric, anti-spoofing detection, and document encryption.

Keywords: Android, ECAPA-TDNN, Nes2Net-X, AES-256, Voice biometric

LEMBAR PENGESAHAN

Judul : RANCANG BANGUN APLIKASI VERIFIKASI PENGGUNA BERBASIS
VOICE BIOMETRIC MENGGUNAKAN ECAPA-TDNN PADA
PENYIMPANAN DOKUMEN PRIBADI

Nama : Aqilah Qathrunnada Mumtaz

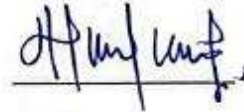
NIM : 2210511155

Program Studi : Informatika Program Sarjana

Disetujui oleh:

Penguji 1:

Dr. Ridwan Raafi'udin, S.Kom, M.Kom.



Penguji 2:

Anis Fitri Nur Masruriyah, S.Kom., M.Kom.



Pembimbing 1:

Neny Rosmawarni, M.Kom.



Pembimbing 2:

Muhammad Panji Muslim, S.Pd., M.Kom.



Diketahui oleh:

Koordinator Program Studi:

Dr. Ridwan Raafi'udin, S.Kom, M.Kom.

NIP. 198805022021211001

Dekan Fakultas Ilmu Komputer:

Prof. Dr. Ir. Supriyanto, S.T., M.Sc., IPM.

NIP. 197605082003121002




Tanggal Ujian Tugas Akhir:

15 Juli 2026

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iii
ABSTRAK	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian	4
1.5. Sistematika Penulisan	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Dokumen Digital Pribadi	7
2.2. Aplikasi <i>Mobile</i>	7
2.3. Autentikasi Biometrik Suara	7
2.3.1. Model Verifikasi Suara: ECAPA-TDNN	8
2.3.2. Model <i>Anti-spoofing</i> : Nes2Net-X	12
2.4. Kriptografi.....	14
2.4.1. <i>Advanced Encryption Standard</i> (AES)	15
2.4.2. AES-256 untuk Keamanan Dokumen.....	15
2.5. Kotlin	16
2.6. Android	16
2.7. Android Studio.....	17
2.8. <i>Room Database</i>	17
2.9. <i>Unit Testing</i>	18
2.10. <i>Integration Testing</i>	19
2.11. <i>System Testing</i>	19
2.12. <i>Performance Testing</i>	20
2.13. <i>Rapid Application Development</i>	20
2.14. Penelitian Terdahulu.....	22
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	27
3.1. Tahapan Penelitian	27
3.1.1. Identifikasi Masalah	27
3.1.2. Studi Literatur	28
3.1.3. <i>Rapid Application Development</i>	28
3.1.4. Dokumentasi	33
3.2. Arsitektur Sistem.....	34

3.3.	<i>Use Case Diagram</i>	36
3.4.	<i>Activity Diagram</i>	37
3.4.1.	Registrasi Akun	37
3.4.2.	Login	38
3.4.3.	Unggah Dokumen	39
3.4.4.	Lihat dan Unduh Dokumen	40
3.4.5.	Hapus Dokumen.....	41
3.4.6.	Logout	42
3.5.	<i>Sequence Diagram</i>	42
3.5.1.	Registrasi dan <i>Enrollment</i> Suara	43
3.5.2.	Login dan Verifikasi Suara	44
3.5.3.	Unggah dan Enkripsi Dokumen	46
3.6.	<i>Class Diagram</i>	47
3.7.	<i>Wireframe</i>	48
3.8.	Konfigurasi <i>Pre-trained Model</i>	50
3.8.1.	Model Verifikasi Pembicara (ECAPA-TDNN)	50
3.8.2.	Model <i>Anti-spoofing</i> (Nes2Net-X).....	54
3.9.	Perancangan <i>Backend</i> FastAPI	58
3.9.1.	Endpoint <i>Enrollment</i>	59
3.9.2.	Endpoint <i>Verification</i>	60
3.9.3.	<i>Anti-spoofing Pipeline</i>	61
3.9.4.	Penyimpanan <i>Speaker Embedding</i>	61
3.9.5.	Validasi Kualitas Audio.....	63
3.9.6.	Keputusan Autentikasi	64
3.10.	Perancangan <i>Mobile Client</i>	65
3.10.1.	Struktur Aplikasi Android	65
3.10.2.	Mekanisme Perekaman Audio.....	66
3.10.3.	Autentikasi Suara pada Aplikasi	69
3.10.4.	<i>Room Database</i> Untuk Penyimpanan Dokumen.....	70
3.10.5.	Enkripsi Dokumen	72
3.11.	Perancangan Keamanan Dokumen	73
3.11.1.	Rancangan Enkripsi Dokumen.....	73
3.11.2.	Rancangan Penyimpanan Dokumen Terenkripsi	75
3.11.3.	Rancangan Akses dan Dekripsi Dokumen	76
3.12.	Kerangka Evaluasi <i>Pipeline</i> Autentikasi <i>End-to-End</i>	78
3.12.1.	<i>Pipeline</i> Autentikasi <i>End-to-End</i>	78
3.12.2.	Parameter Evaluasi <i>Pipeline</i>	79
3.12.3.	Skenario Evaluasi <i>Pipeline</i>	80
3.13.	Alat dan Bahan Penelitian.....	81
3.13.1.	Spesifikasi Perangkat Keras.....	81
3.13.2.	Spesifikasi Perangkat Lunak (<i>Software</i>) Sisi <i>Backend</i>	82
3.13.3.	Spesifikasi Perangkat Lunak (<i>Software</i>) Sisi <i>Mobile client</i>	83

3.14.	Waktu dan Tempat Penelitian.....	84
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	85
4.1.	Hasil Analisis dan Perencanaan Kebutuhan.....	85
4.1.1.	Kebutuhan Fungsional	85
4.1.2.	Kebutuhan Non-Fungsional	88
4.1.3.	Hasil Perencanaan Arsitektur Sistem	89
4.2.	Hasil <i>User Design</i>	91
4.2.1.	Iterasi 1: Wireframe.....	91
4.2.2.	Iterasi 2: UI Figma	92
4.2.3.	Iterasi 3: Implementasi XML	93
4.3.	Implementasi Sistem	94
4.3.1.	Implementasi Antarmuka Pengguna	94
4.3.2.	Implementasi Keamanan Dokumen	103
4.3.3.	Integrasi Sistem Autentikasi Berlapis	105
4.4.	Pengujian dan Evaluasi Sistem	110
4.4.1.	<i>Unit Testing</i>	110
4.4.2.	<i>Integration Testing</i>	126
4.4.3.	<i>System Testing</i>	141
4.4.4.	<i>Performance Testing</i>	147
4.4.5.	Evaluasi <i>Pipeline</i> Autentikasi <i>End-to-End</i>	159
4.4.6.	Evaluasi Model <i>Speaker Verification</i> ECAPA-TDNN.....	163
4.4.7.	Evaluasi Model <i>Anti-spoofing</i> Nes2Net-X.....	169
BAB 5.	PENUTUP.....	175
5.1.	Kesimpulan	175
5.2.	Saran.....	176
DAFTAR PUSTAKA.....		179
LAMPIRAN.....		184

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Model ECAPA-TDNN (Guo <i>et al.</i> 2024).....	9
Gambar 2.2 Struktur Model Nes2Net (Liu <i>et al.</i> 2025b)	13
Gambar 2.3 Komponen <i>Room Database</i> (Rasyid dan Goenawan 2022).....	17
Gambar 2.4 Tahapan Metode <i>Rapid Application Development</i> (Wibisono <i>et al.</i> 2025)	21
Gambar 3.1 Tahapan penelitian dengan metodologi RAD	27
Gambar 3.2 Rancangan arsitektur sistem aplikasi	34
Gambar 3.3 <i>Use case diagram</i>	36
Gambar 3.4 <i>Activity Diagram</i> Registrasi Akun	37
Gambar 3.5 <i>Activity Diagram Login</i>	38
Gambar 3.6 <i>Activity Diagram</i> Unggah Dokumen.....	39
Gambar 3.7 <i>Activity Diagram</i> Lihat dan Unduh Dokumen	40
Gambar 3.8 <i>Activity Diagram</i> Hapus Dokumen	41
Gambar 3.9 <i>Activity Diagram Logout</i>	42
Gambar 3.10 <i>Sequence Diagram</i> Proses Registrasi <i>Enrollment</i> Suara.....	43
Gambar 3.11 <i>Sequence Diagram</i> Proses <i>Login</i> dan Verifikasi Suara	45
Gambar 3.12 <i>Sequence Diagram</i> Proses Unggah dan Enkripsi Dokumen	46
Gambar 3.13 <i>Class Diagram</i>	48
Gambar 3.14 Rancangan <i>wireframe</i> aplikasi	49
Gambar 3.15. Diagram Alur <i>Voice Enrollment</i>	52
Gambar 3.16. Diagram Alur <i>Voice Verification</i>	53
Gambar 3.17 Diagram Alur <i>Anti-spoofing</i>	57
Gambar 3.18 Diagram Arsitektur <i>Backend</i> FastAPI	58
Gambar 3.19 Diagram Penyimpanan <i>Speaker Embedding</i>	62
Gambar 3.20 Diagram Alur <i>Output</i> Keputusan Autentikasi	64
Gambar 3.21 Diagram Alur Perekaman Audio Android	68
Gambar 3.22 Diagram Mekanisme Penyimpanan Berkas DokuSafe	71
Gambar 3.23 Diagram Alur Mekanisme Enkripsi Dokumen.....	74
Gambar 3.24 Diagram Arsitektur Penyimpanan Dokumen Terenkripsi	76
Gambar 3.25 Diagram Alur Akses dan Dekripsi Dokumen	77
Gambar 3.26 Diagram <i>Pipeline</i> Autentikasi <i>End-to-End</i>	79
Gambar 4.1 Desain UI Aplikasi DokuSafe pada Figma	93
Gambar 4.2 Tampilan Antarmuka Halaman <i>Welcome</i> DokuSafe	95
Gambar 4.3 Tampilan Halaman <i>Welcome</i> Saat Verifikasi Berhasil	95
Gambar 4.4 Tampilan Halaman <i>Welcome</i> Saat Verifikasi Gagal.....	96
Gambar 4.5 Tampilan Antarmuka Halaman Registrasi DokuSafe	97
Gambar 4.6 Tampilan Antarmuka Halaman Beranda DokuSafe	99
Gambar 4.7 Tampilan Antarmuka Halaman Riwayat Aktivitas Verifikasi Suara	102
Gambar 4.8 Lokasi Penyimpanan Dokumen Terenkripsi	103

Gambar 4.9 Metadata Dokumen pada <i>Room Database</i>	103
Gambar 4.10 Hasil Implementasi Dekripsi Dokumen	104
Gambar 4.11 Hasil Unduh Dokumen	105
Gambar 4.12 Tampilan <i>Login</i> Gagal karena Kredensial Tidak Valid.....	106
Gambar 4.13 Respons <i>Backend</i> Ketika Audio Terdeteksi <i>Spoof</i>	108
Gambar 4.14 Penolakan Akses Dokumen Saat Sesi Tidak Valid.....	109
Gambar 4.15 Hasil <i>Response</i> Skenario IT-BT-01	127
Gambar 4.16 Hasil <i>Response</i> Skenario IT-BF-02	127
Gambar 4.17 Hasil <i>Response</i> Skenario IT-BF-03	128
Gambar 4.18 Hasil <i>Response</i> Skenario IT-BF-04	128
Gambar 4.19 Hasil <i>Response</i> Skenario IT-BF-05	129
Gambar 4.20 Hasil <i>Response</i> Skenario IT-BF-06	129
Gambar 4.21 Hasil <i>Response</i> Skenario IT-BF-07	130
Gambar 4.22 Hasil <i>Response</i> Skenario IT-BF-08	130
Gambar 4.23 Hasil Pengujian <i>Latency Login</i> dan Verifikasi Suara	147
Gambar 4.24 Hasil <i>Memory Profiler</i> pada Skenario <i>Login</i> dan Verifikasi Suara	148
Gambar 4.25 Hasil CPU <i>Recording</i> pada Skenario <i>Login</i> dan Verifikasi Suara.	148
Gambar 4.26 Hasil Pengujian <i>Latency Enrollment</i> Suara.....	149
Gambar 4.27 Hasil <i>Memory Profiler</i> pada Skenario Enrollment Suara.....	150
Gambar 4.28 Hasil CPU <i>Recording</i> pada Skenario Enrollment Suara	150
Gambar 4.29 Hasil Pengujian <i>Latency</i> Unggah dan Enkripsi Dokumen	151
Gambar 4.30 Hasil <i>Memory Profiler</i> pada Skenario Unggah dan Enkripsi Dokumen	152
Gambar 4.31 Hasil CPU <i>Recording</i> pada Skenario Unggah dan Enkripsi Dokumen	153
Gambar 4.32 Hasil Pengujian <i>Latency</i> Pembukaan Dokumen Sebelum Optimasi	154
Gambar 4.33 Hasil Pengujian <i>Latency</i> Pembukaan Dokumen Setelah Optimasi Buffer	154
Gambar 4.34 Hasil Pengujian <i>Latency</i> Pembukaan Dokumen Setelah Envelope Encryption.....	154
Gambar 4.35 Hasil <i>Memory Profiler</i> pada Skenario Pembukaan Dokumen Terenkripsi.....	155
Gambar 4.36 Hasil CPU <i>Recording</i> pada Skenario Pembukaan Dokumen Terenkripsi.....	156
Gambar 4.37 Statistik <i>Raw Similarity</i> ECAPA-TDNN.....	166
Gambar 4.38 <i>Threshold Sweep</i> Model ECAPA-TDNN	167
Gambar 4.39 <i>Confusion Matrix</i> ECAPA-TDNN	168
Gambar 4.40 <i>Threshold Sweep</i> Model Nes2Net-X.....	172
Gambar 4.41 <i>Confusion Matrix</i> Evaluasi Nes2Net-X.....	173

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ringkasan penelitian terdahulu	22
Tabel 3.1 Kebutuhan fungsional	29
Tabel 3.2 Kebutuhan non-fungsional	30
Tabel 3.3. Konfigurasi Model ECAPA-TDNN	51
Tabel 3.4. Konfigurasi Model Nes2Net	55
Tabel 3.5 Parameter Validasi Kualitas Audio.....	63
Tabel 3.6 <i>Package</i> pada Aplikasi Android DokuSafe	65
Tabel 3.7 Konfigurasi Perekaman Audio Android	66
Tabel 3.8 Komponen Autentikasi Suara pada Mobile Client.....	70
Tabel 3.9 Konfigurasi Enkripsi	72
Tabel 3.10 Parameter Evaluasi <i>Pipeline</i> Autentikasi <i>End-to-End</i>	80
Tabel 3.11 Skenario Evaluasi Pipeline Autentikasi End-to-End	81
Tabel 3.12 Spesifikasi Perangkat Keras	82
Tabel 3.13 Spesifikasi Perangkat Lunak Sisi <i>Backend</i>	82
Tabel 3.14. Spesifikasi Perangkat Lunak Sisi <i>Client</i>	84
Tabel 4.1 Hasil Kebutuhan Fungsional	85
Tabel 4.2 Hasil Kebutuhan Non-Fungsional	88
Tabel 4.3 Hasil Arsitektur Sistem.....	90
Tabel 4.4 Skenario Pengujian Modul Validasi dan Pencarian.....	111
Tabel 4.5 Skenario Pengujian Modul Autentikasi dan Sesi Pengguna.....	115
Tabel 4.6 Skenario Pengujian Modul Penyimpanan dan Keamanan Dokumen...	117
Tabel 4.7 Skenario Pengujian Modul Perekaman dan File Audio	120
Tabel 4.8 Skenario Pengujian Modul Basis Data Lokal	122
Tabel 4.9 Ringkasan Hasil <i>Unit Testing</i> Berdasarkan Modul	125
Tabel 4.10 Skenario Pengujian Integrasi FastAPI.....	131
Tabel 4.11 Skenario Pengujian Integrasi Autentikasi.....	132
Tabel 4.12 Skenario Pengujian Integrasi Pengelolaan Dokumen	134
Tabel 4.13 Skenario Pengujian Integrasi Riwayat Verifikasi Suara.....	136
Tabel 4.14 Skenario Pengujian Integrasi <i>Backend</i> API.....	137
Tabel 4.15 Ringkasan Hasil <i>Integration Testing</i>	139
Tabel 4.16 Pengujian Sistem Registrasi dan <i>Enrollment</i> Suara	141
Tabel 4.17 Pengujian Sistem <i>Login</i> dan Verifikasi Suara	142
Tabel 4.18 Pengujian Pengelolaan Dokumen.....	143
Tabel 4.19 Pengujian Riwayat Aktivitas Verifikasi Suara.....	144
Tabel 4.20 Pengujian Pengaturan dan Penghapusan Akun	145
Tabel 4.21 Rekapitulasi Hasil <i>System Testing</i>	146
Tabel 4.22 Rata-rata Waktu Respons <i>Login</i> dan Verifikasi Suara.....	148
Tabel 4.23 Rata-rata Durasi <i>Enrollment</i> Suara.....	150
Tabel 4.24 Rata-rata Waktu Respons Unggah dan Enkripsi Dokumen.....	152

Tabel 4.25 Perbandingan Latency Pembukaan Dokumen Terenkripsi	155
Tabel 4.26 Rekapitulasi Hasil <i>Performance Testing</i>	157
Tabel 4.27 Pengujian Autentikasi Berlapis pada Kondisi Lingkungan Nyata	159
Tabel 4.28 Ringkasan Hasil Testing Verifikasi Suara	162
Tabel 4.29 <i>Dataset</i> Evaluasi Model ECAPA-TDNN	164
Tabel 4.30 Hasil Penentuan <i>Best Threshold</i> ECAPA-TDNN.....	167
Tabel 4.31 <i>Dataset</i> Evaluasi Model Nes2Net-X.....	169
Tabel 4.32 Tahapan Proses Inferensi dan Perhitungan <i>Score</i> Nes2Net-X.....	171
Tabel 4.33 Hasil Penentuan <i>Best Threshold</i> Nes2Net-X.....	172

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi <i>System Testing</i>	184
Lampiran 2. Dokumentasi Testing Pipeline Autentikasi	194
Lampiran 3. Hasil Implementasi <i>Layout XML</i> Aplikasi DokuSafe.....	196
Lampiran 4. Hasil Turnitin Dokumen	197