DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR ii
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING iii
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI iv
SURAT PERNYATAAN KARYA ASLI TUGAS AKHIR v
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI vi
ABSTRAK vii
ABSTRACT viii
KATA PENGANTAR ix
DAFTAR ISI x
DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR GAMBAR xiv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang Masalah 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 5
1.5 Manfaat Penelitian 5
1.6 Tahapan Penelitian 6
1.7 Sistematika Penulisan 8
BAB II TINJAUAN LITERATUR 9
2.1 Pembelajaran Bacaan Al-Qur'an dan Metode DIROSA 9
2.2 Penilaian Bacaan Al-Qur'an Berbantuan Komputer 11
2.3 Penilaian Kemiripan dan Pronunciation Assessment Berbasis Audio 12
2.4 Pra-pemrosesan Sinyal Audio 13
2.5 Representasi Audio dalam Penilaian Ucapan 15
2.5.1 Fitur Akustik Tradisional 15
2.5.2 Representasi Audio Self-supervised 16
2.5.3 WavLM untuk Penilaian Bacaan Al-Qur'an 17
2.5.4 Representasi Multi-Layer WavLM 18
2.6 Pengukuran Kemiripan Berbasis Cosine distance 23
2.7 Dynamic Time Warping (DTW) untuk Penyelarasan Audio 25
2.8 Pengukuran Kemiripan Audio Berbasis Embedding 31
2.9 Analisis Korelasi untuk Evaluasi Metode 31
2.10 Penelitian Terdahulu 34
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 38
3.1 Desain dan Pendekatan Penelitian 38

3.2 Data Penelitian 39
3.2.1 Sumber dan Karakteristik Data 41
3.2.2 Unit Bacaan dan Segmentasi Frasa 42
3.2.3 Protokol Perekaman dan Standarisasi Data 42
3.2.4 Definisi Operasional Skor Penilaian Ustadz 43
3.2.5 Pertimbangan Etika dan Pengelolaan Data 44
3.3 Pra-Pemrosesan Data Audio 44
3.4 Ekstraksi Representasi Audio 47
3.4.1 Model Representasi Audio (WavLM) 48
3.4.2 Ekstraksi Embedding Frame-level Multi-Layer 49
3.4.3 Contoh Perhitungan Dimensi Ekstraksi Embedding WavLM 50
3.5 Pemodelan Kemiripan Bacaan 54
3.5.1 Perhitungan Jarak Antar-Frame 55
3.5.2 Penyelarasan Temporal Menggunakan DTW 58
3.5.3 Normalisasi Jarak dan Skor Kemiripan Global 63
3.5.4 Contoh Perhitungan Skor Kemiripan 64
3.6 Konfigurasi Implementasi Metode 68
3.7 Verifikasi Implementasi Metode 69
3.8 Desain Evaluasi dan Analisis Statistik 71
3.8.1 Definisi Variabel Operasional 72
3.8.2 Formulasi Hipotesis 73
3.8.3 Metode Analisis Statistik 73
3.8.4 Pemilihan Layer Representasi Terbaik 76
BAB IV HASIL EVALUASI DAN PEMBAHASAN 78
4.1 Implementasi 78
4.1.1 Implementasi Lingkungan Pengujian 78
4.1.2 Implementasi Dataset Pengujian 79
4.1.3 Implementasi Pra-pemrosesan Audio 80
4.1.4 Implementasi Ekstraksi Representasi WavLM 81
4.1.5 Implementasi Pemodelan Kemiripan WavLM-DTW 82
4.1.6 Implementasi Antarmuka dan Pengujian Batch 85
4.2 Hasil 86
4.2.1 Hasil Verifikasi Fungsional Implementasi Metode 86
4.2.2 Hasil Skor Kemiripan Multi-Layer WavLM 87

4.2.3 Hasil Analisis Korelasi Spearman dan Pearson 87
4.2.4 Hasil Penentuan Layer Representasi Terbaik 89
4.2.5 Visualisasi Hasil Korelasi 89
4.3 Pembahasan 91
4.3.1 Analisis Kesesuaian Skor Metode terhadap Penilaian Ustadz 91
4.3.2 Analisis Distribusi Penilaian Ustadz per Frasa 92
4.3.3 Analisis Perbedaan Kinerja Antar-Layer WavLM 93
4.3.4 Relevansi WavLM-DTW dalam Evaluasi Formatif DIROSA 93
4.3.5 Keterbatasan Penelitian 94
BAB V PENUTUP 96
5.1 Kesimpulan 96
5.2 Saran 97
DAFTAR PUSTAKA 98

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Interpretasi Koefisien Korelasi (Evans, 1996) 33
Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu 34
Tabel 3.1 Format Dataset Penelitian 40
Tabel 3.2 Skala Penilaian Bacaan oleh Ustadz 43
Tabel 3.3 Contoh Nilai Amplitudo Kanal Kiri dan Kanan untuk Konversi *Mono* 46
Tabel 3.4 Perhitungan Panjang Sekuens Setelah *Convolutional feature encoder* WavLM . 51
Tabel 3.5 Potongan Nilai *Cost matrix* Berbasis *Cosine distance* 57
Tabel 3.6 Potongan Nilai Awal Matriks Akumulasi DTW dengan *Padding* 59
Tabel 3.7 Potongan *Warping path* Hasil DTW 62
Tabel 3.8 Ringkasan Contoh Perhitungan Skor Kemiripan 67
Tabel 3.9 Konfigurasi Implementasi Metode 68
Tabel 3.10 Skenario Verifikasi Fungsional Implementasi Metode Penilaian Kemiripan 70
Tabel 3.11 Struktur Data untuk Analisis Korelasi 72
Tabel 3.12 Contoh Pasangan Data Skor Metode dan Skor Ustadz 74
Tabel 3.13 Hasil Pemeringkatan Data untuk Korelasi Spearman 74
Tabel 3.14 Deviasi Peringkat dan Hasil Kali Deviasi untuk Korelasi Spearman 75
Tabel 3.15 Deviasi Nilai Asli dan Hasil Kali Deviasi untuk Korelasi Pearson 75
Tabel 3.16 Contoh Prosedural Pemilihan *Layer* Berdasarkan Korelasi Spearman 77
Tabel 4.1 Spesifikasi Lingkungan Pengujian 78
Tabel 4.2 Distribusi Skor Penilaian Ustadz 79
Tabel 4.3 Konfigurasi Parameter Eksperimen Utama 84
Tabel 4.4 Hasil Verifikasi Fungsional Implementasi Metode 86
Tabel 4.5 Statistik Deskriptif Skor Kemiripan Metode per *Layer* 87
Tabel 4.6 Hasil Korelasi Skor Metode terhadap Skor penilaian ustadz 88
Tabel 4.7 Perbandingan *Layer* dengan Korelasi Tertinggi 89
Tabel 4.8 Rata-rata *Score* L10 Berdasarkan Skor penilaian ustadz 92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Arsitektur WavLM (Chen et al., 2022) 17
Gambar 2.2 Ilustrasi DTW (Sakoe & Chiba, 1978) 26
Gambar 3.1 Alur Metodologi Penelitian 39
Gambar 3.2 Alur Pengumpulan dan Pembentukan Dataset..... 40
Gambar 3.3 Alur Pra-Pemrosesan Sinyal Audio 45
Gambar 3.4 Alur Ekstraksi Representasi Audio *Multi-Layer* Menggunakan WavLM..... 48
Gambar 3.5 Alur Pemodelan Kemiripan Bacaan Berbasis *Cosine distance* dan DTW 54
Gambar 3.6 Alur Desain Evaluasi dan Analisis Statistik (Korelasi Spearman & Pearson) 71
Gambar 4.1 Contoh *Waveform* Sebelum dan Sesudah Pra-pemrosesan Audio..... 81
Gambar 4.2 Visualisasi Matriks Biaya dan *Warping Path* DTW 83
Gambar 4.3 Tampilan Antarmuka Aplikasi Streamlit..... 85
Gambar 4.4 Grafik Batang Korelasi Spearman per *Layer*..... 90
Gambar 4.5 *Scatter Plot Score* L10 terhadap Skor penilaian ustadz..... 90
Gambar 4.6 *Heatmap* Korelasi Spearman dan Pearson per *Layer* 91