UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prediksi Mobilitas Manusia Menggunakan Algoritma Viterbi Termodifikasi Berbasis Interpolasi Aditif Point of Interest dan Konteks Temporal
RAGIL SAPUTRA, Prof. Dr. Suprapto, M.I.Kom.; Dr. Agus Sihabuddin, S.Si., M.Kom.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ii
HALAMAN PENGESAHAN iii
PERNYATAAN iv
PRAKATA v
DAFTAR ISI vii
DAFTAR TABEL xi
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR SIMBOL xiii
INTISARI xv
ABSTRACT xvi
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Batasan Penelitian 4
1.4 Tujuan Penelitian 5
1.5 Manfaat Penelitian 5
1.6 Kontribusi Penelitian 6
1.7 Sistematika Penulisan 6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 8
2.1. Konsep Mobilitas Manusia 8
2.2. Prediksi Mobilitas Manusia 8
2.3. Konsep Dasar Algoritma Viterbi 9
2.4. Model Berbasis Markov dan *Hidden Markov Model* (HMM) 10
2.5. Model Berbasis *Deep Learning* 11
2.6. Integrasi *Point of Interest* dalam Prediksi Mobilitas 12
2.7. Penelitian Menggunakan *Dataset* YJMob100K 13
2.8. Konteks *Temporal* dalam Prediksi Mobilitas 14
2.9. Identifikasi Gap Riset 15
2.10. Tabel Perbandingan Penelitian Terkait 16
2.11. Posisi Penelitian 18
BAB III LANDASAN TEORI 20
3.1 Mobilitas Manusia 20
3.1.1 Teori Dasar Mobilitas Manusia 20
3.1.2 Mobilitas Spasiotemporal 20
3.1.3 Teori *Exploration* dan *Preferential Return* 21
3.1.4 Model *Gravity* 22
3.2 *Hidden Markov Model* 23
3.2.1 Definisi Formal 24

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prediksi Mobilitas Manusia Menggunakan Algoritma Viterbi Termodifikasi Berbasis Interpolasi Aditif Point of Interest dan Konteks Temporal
RAGIL SAPUTRA, Prof. Dr. Suprapto, M.I.Kom.; Dr. Agus Sihabuddin, S.Si., M.Kom.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.2.2 Tiga Masalah Dasar HMM 24
3.2.3 Keterbatasan HMM Standar 25
3.3 Algoritma Viterbi 26
3.3.1 Formulasi Rekursi 26
3.3.2 Implementasi dalam Log-Domain 27
3.3.3 Estimasi Parameter dari Data 27
3.4 Algoritma Clustering untuk Konstruksi *State Space* 28
3.4.1 *K*-Means *Clustering* 28
3.4.2 DBSCAN 29
3.4.3 Penentuan Klaster Optimal 29
3.5 *Point of Interest* dan Formulasi Interpolasi Aditif 30
3.5.1 *Cosine Similarity* 30
3.5.2 Normalisasi Bobot dan Formulasi Interpolasi Aditif 31
3.6 *Shannon Entropy* untuk Analisis Temporal 32
3.7 Metrik Evaluasi Trajektori 32
3.7.1 *GEO_BLEU* 32
3.7.2 *Dynamic Time Warping* (DTW) 33
3.7.3 Metrik Tambahan 33
3.8 Konstruksi *State Space* dan Penanganan Data Tidak Lengkap 34
3.8.1. *State Space* Berbasis Sel *Grid* vs Klaster 34
3.8.2. Penanganan *Slot* Tidak Terekam 34
3.9 Uji *Wilcoxon Signed-Rank* dan *Effect Size* 35
3.9.1 *Wilcoxon Signed-Rank Test* 35
3.9.2 *Effect Size* 36

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN 38
4.1 Gambaran Umum Metodologi 38
4.2 *Dataset* dan Pra-pemrosesan 40
4.2.1 Deskripsi *Dataset* 40
4.2.2 Pra-pemrosesan Data Mobilitas 44
4.2.3 Pra-pemrosesan Data POI 44
4.3 Pengelompokan Individu 46
4.3.1 Densitas Rekaman 47
4.3.2 Pembagian Tiga Kelompok Berbasis *Tertile* 47
4.4 Konstruksi *State Space* 48
4.4.1 Skenario A: Sel *Grid* 48
4.4.2 Skenario B: Klaster *K*-Means 49
4.5 Penentuan Kategori Waktu 50
4.5.1 Skenario *Temporal*-1 *Shannon Entropy* 50
4.5.2 Skenario *Temporal*-2 *Weekday/Weekend* 51
4.5.3 Perbandingan kuantitatif data per kategori temporal 52
4.6 Formulasi Empat Model Viterbi 52
4.6.1 Model 1 (M1) - Viterbi Standar (*Baseline*) 57
4.6.2 Model 2 (M2) - Viterbi + *Temporal* 57

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prediksi Mobilitas Manusia Menggunakan Algoritma Viterbi Termodifikasi Berbasis Interpolasi Aditif Point of Interest dan Konteks Temporal
RAGIL SAPUTRA, Prof. Dr. Suprapto, M.I.Kom.; Dr. Agus Sihabuddin, S.Si., M.Kom.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.6.3 Model 3 (M3) - Viterbi + POI 58
4.6.4 Model 4 (M4) - Viterbi + *Temporal* + POI 60
4.6.5 *Alpha Tuning Individu* 61
4.7 Penanganan Slot Tidak Terekam 63
4.8 Desain Eksperimen 64
4.8.1 Matriks Konfigurasi Eksperimen 64
4.8.2 Prosedur Eksperimen Per Individu 64
4.8.3 Perbandingan dengan *Benchmark* HuMob Challenge 2023 65
4.8.4 Definisi *Baseline* Perbandingan Eksternal 66
4.9 Metrik Evaluasi 67
4.9.1 *GEO_BLEU* dan DTW (*Dynamic Time Warping*) 67
4.9.2 Acc@1, Acc@3, dan MDE (*Mean Distance Error*) 67
4.9.3 Uji *Wilcoxon Signed-Rank* dan *r (Rank Biserial)* 68
4.10 Ringkasan Desain Metodologi 69
4.11 Klarifikasi Konteks POI dalam *Dataset* YJMob100K 70
4.11.1 Struktur Data POI dalam YJMob100K 70
4.11.2 Implikasi terhadap Penggunaan *Cosine Similarity* 71
4.11.3 Klarifikasi Status Tersembunyi *State* dalam Dua Skenario 72
4.11.4 Keterbatasan dan Cara Mengatasinya 73
4.12 Contoh Numerik Ilustratif 74
4.12.1 Skenario Contoh: Individu-X 74
4.12.2 Estimasi Matriks Transisi $a(i,j)$ - Model M1 75
4.12.3 Estimasi Matriks Transisi $a(i,j,\tau)$ - Model M2 75
4.12.4 Penghitungan Bobot POI $\varphi(i,j)$ - Model M3 76
4.12.5 Probabilitas Emisi dan Distribusi Awal 78
4.12.6 Rekursi Viterbi - Keempat Model 78
4.12.7 Contoh Perhitungan *GEO_BLEU* 79
4.12.8 Contoh Perhitungan DTW 80
4.12.9 Contoh Acc@1 dan MDE Slot Transisi 80

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 82
5.1 Karakteristik Data Eksperimen 82
5.1.1 Statistik Deskriptif per Kelompok 82
5.1.2 Analisis *State Space* dan *Slot* Transisi 82
5.2 Hasil Klasterisasi *K-Means K*=50 83
5.2.1 Penentuan *K* Optimal 83
5.2.2 Distribusi Spasial Klaster 84
5.2.3 Karakteristik *State Space* Klaster per Individu 85
5.3 Analisis Skenario *Temporal*: *Shannon Entropy* vs *Weekday/Weekend* 86
5.4 Distribusi Alpha Optimal per Individu 87
5.5 Hasil Eksperimen EXP-1: Sel *Grid* + *Shannon Entropy* 89
5.5.1 Perbandingan M1 vs M2 (Kontribusi *Temporal*) 89
5.5.2 Perbandingan M1 vs M3 (Kontribusi POI Interpolasi Aditif) 91

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prediksi Mobilitas Manusia Menggunakan Algoritma Viterbi Termodifikasi Berbasis Interpolasi Aditif Point of Interest dan Konteks Temporal
RAGIL SAPUTRA, Prof. Dr. Suprapto, M.I.Kom.; Dr. Agus Sihabuddin, S.Si., M.Kom.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.5.3 Perbandingan M1 vs M4 (Gabungan *Temporal* + POI) 92
5.5.4 Ringkasan EXP-1 93
5.6 Hasil Eksperimen EXP-2: Sel *Grid* + *Weekday/Weekend* 93
5.7 Hasil Eksperimen EXP-3: Klaster *K*=50 + *Shannon entropy* 94
5.8 Hasil Eksperimen EXP-4: Klaster *K*=50 + *Weekday/Weekend* 95
5.9 Ringkasan Hasil Visual: Perbandingan Semua Eksperimen 96
5.10 Analisis Kontribusi Komponen Modifikasi 99
5.11 Analisis Per Kelompok Densitas Rekaman 100
5.11.1 Pola Delta M3-M1 100
5.11.2 Hubungan M2 dengan Kelompok Densitas 101
5.12 Nilai Informatif Acc@1, Acc@3 dan *Mean Distance Error* 102
5.12.1 Acc@1 dan Acc@3 - Peran Fungsi Emisi 102
5.12.2 *Mean Distance Error* - Skenario Sel *Grid* 103
5.13 Uji Signifikansi Statistik Lengkap 104
5.14 Perbandingan dengan Penelitian Terkait 107
5.14.1 Posisi terhadap HuMob Challenge 2023 108
5.14.2 Perbandingan dengan Pendekatan HMM Sejenis 109
5.14.3 Kontribusi vs Penelitian *Deep Learning* 109
5.15 Diskusi Temuan Kritis 110
5.15.1 Mengapa Formulasi Aditif Berhasil 110
5.15.2 Makna $\alpha = 0{,}05$ sebagai Optimal 111
5.15.3 Paradoks M4 dan Implikasinya 111
5.16 Rangkuman Temuan dan Status Hipotesis 112
5.17 Keterbatasan Penelitian 113
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 115
6.1. Kesimpulan 115
6.2. Saran 117
DAFTAR PUSTAKA 118