UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pemodelan Keterbacaan Kode Program Sebagai Parameter Kualitas Dalam Perangkingan Pencarian Kode Program
Budi Susanto, Prof. Dr. Ir. Ridi Ferdiana, S.T., M.T., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
HALAMAN PENGESAHAN iii
HALAMAN PERSETUJUAN TIM PROMOTOR iv
HALAMAN PERSETUJUAN TIM PENGUJI v
PERNYATAAN PROMOVENDUS vi
PRAKATA vii
DAFTAR ISI viii
DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR GAMBAR xiv
ABSTRAK xv
ABSTRACT xvi
Bab I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 7
1.3 Pertanyaan Penelitian 7
1.4 Tujuan Penelitian 8
1.5 Batasan Penelitian 8
1.6 Manfaat Penelitian 10
1.7 Asumsi Penelitian 10
Bab II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI 12
2.1 Tinjauan Pustaka 12
2.1.1 Keterbacaan Kode Program 12
2.1.2 Keterbacaan Kode Program dari LLM 14
2.1.3 Model Keterbacaan Kode Program 16
2.1.4 Korpus Cuplikan Kode *Multi-Class* 20
2.1.5 *Code Search* 22
2.1.5.1 *Aggregator Processing* 23
2.1.5.2 Analisis Kode Program 24
2.1.5.3 Pengindeks (*Indexer*) 24
2.1.5.4 Teknik Tambahan (*Auxiliary Techniques*) 25
2.1.5.5 Pemodelan Pengambilan Kembali (*Retrieval Modeling*) . 25
2.1.5.6 *Query* 26
2.1.5.7 Perankingan *Code Search* 27
2.1.6 Sintesis Pustaka 28
2.1.7 Analisis Perbandingan 30
2.2 Landasan Teori 31
2.2.1 Teori Ambiguitas Informasi 31

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pemodelan Keterbacaan Kode Program Sebagai Parameter Kualitas Dalam Perangkingan Pencarian Kode Program
Budi Susanto, Prof. Dr. Ir. Ridi Ferdiana, S.T., M.T., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.2.2 Konstruk Laten 33
2.2.3 Validitas Ketidakseimbangan Dataset 34
2.2.3.1 Partisi Dataset 35
2.2.3.2 Algoritma Klasifikasi 36
2.2.4 Teori Beban Kognitif (*Cognitive Load Theory*) 38
2.2.5 Pengukuran Keterbacaan Kode Program 41
2.2.5.1 Fitur Keterbacaan Kode 41
2.2.6 Model *Information Retrieval* 42
2.2.6.1 *Information Retrieval* Tradisional 43
2.2.6.2 *Neural Search* 44
2.2.6.3 *Ranking* dalam *Information Retrieval* 45
2.2.6.4 Evaluasi *Information Retrieval* 47
Bab III METODE PENELITIAN 51
3.1 Pendahuluan Metodologi 51
3.2 Alur Proses Penelitian 52
3.3 Metodologi 54
3.3.1 Persiapan dan Pemrosesan Data Awal 54
3.3.2 Pengembangan Korpus dan Pelabelan Keterbacaan Kode 57
3.3.3 Pengembangan Metrik Keterbacaan Kode Program 63
3.3.3.1 Klasifikasi *Multi-class* terhadap Korpus Scalabrino 63
3.3.3.2 Analisis Kesalahan Klasifikasi *Multi-class* terhadap Korpus Scalabrino 67
3.3.3.3 Analisis Fitur Keterbacaan berdasar *Importance Score* ... 69
3.3.3.4 Tahapan Pendefinisian Fitur Kerta 70
3.3.3.5 Rancangan Dimensi Keterbacaan Kerta 72
3.3.3.6 Tahapan Pendefinisian Skor Keterbacaan Kerta 81
3.3.4 Pengujian Metrik Keterbacaan Kerta berdasar Klasifikasi *Multi-class* 85
3.3.4.1 Metode Klasifikasi *Multi Layer Perceptron* untuk *Multi-Class* Keterbacaan 87
3.3.4.2 Metode Klasifikasi *Random Forest* untuk *Multi-Class* Keterbacaan 87
3.3.4.3 Metode Klasifikasi XGBoost untuk *Multi-Class* Keterbacaan 88
3.3.4.4 Metode Klasifikasi Berbasis Citra Pola Blok *Highlight* Warna Kode 89
3.3.5 *Code Search* 91
3.4 Indikator Pencapaian 93
Bab IV HASIL DAN PEMBAHASAN 96
4.1 Klasifikasi *Multi-Class* Keterbacaan berdasar Korpus Scalabrino (RQ1) 96
4.1.1 Metode Klasifikasi Keterbacaan Kode Program 98

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pemodelan Keterbacaan Kode Program Sebagai Parameter Kualitas Dalam Perangkingan Pencarian Kode Program
Budi Susanto, Prof. Dr. Ir. Ridi Ferdiana, S.T., M.T., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.1.2 Hasil Klasifikasi *Multi-Class* berdasar Fitur Metrik Scalabrino, Buse dan Weimer, serta Posnett 100
4.1.2.1 Uji Statistik Signifikansi Hasil Klasifikasi *Multi-Class* ... 101
4.1.2.2 Analisis Kesalahan Klasifikasi per Kelas 103
4.1.3 Analisis Peran Fitur Metrik berdasar *Importance score* 107
4.1.4 Interpretasi Fitur Penting per Kelas 108
4.1.4.1 Pemilihan Fitur Berdasar D_{corr} 111
4.1.5 Pembangunan Korpus Kerta..... 111
4.1.6 Korpus Citra Pola *Highlight* Warna Kode..... 116
4.1.7 Rangkuman Hasil dari RQ1 117
4.2 Pengembangan Model Kerta (RQ2)..... 118
4.2.1 Penilaian Terhadap Karakteristik Keterbacaan Kode..... 118
4.2.2 Kerangka Konseptual Keterbacaan Kode 122
4.2.2.1 Penilaian Fitur Buse-Weimer dan Posnett pada Dimensi *Visual Clarity* 123
4.2.2.2 Penilaian Fitur Scalabrino, Buse-Weimer, dan Posnett pada Dimensi *Structural Simplicity* 124
4.2.2.3 Penilaian Fitur Scalabrino pada Dimensi *Documentation Support* 124
4.2.2.4 Penilaian Fitur Scalabrino, Buse-Weimer pada Dimensi *Naming Transparency* 124
4.2.2.5 Penilaian Fitur Scalabrino dan Posnett pada Dimensi *Cognitive Load* 125
4.2.3 Fitur Keterbacaan Kode Kerta 125
4.2.3.1 Kepadatan Baris Kosong..... 126
4.2.3.2 Baris Pemisah Kosong 126
4.2.3.3 Kepadatan Spasi-Operator..... 127
4.2.3.4 Panjang Pernyataan (*Statement*) 129
4.2.3.5 Kepadatan Komentar 133
4.2.3.6 Median Bobot Readability Komentar..... 134
4.2.3.7 Kompleksitas Nama *Identifier*..... 135
4.2.3.8 Kompleksitas Deklarasi *Identifier* 140
4.2.3.9 Kepadatan Notasi Array 142
4.2.3.10 Kompleksitas Difficult Halstead 144
4.2.3.11 Rasio Baris Pernyataan..... 144
4.2.3.12 Rasio Pemanggilan *Method* 147
4.2.3.13 Rasio Konsistensi Indentasi pada Blok Kode 148
4.2.3.14 Kompleksitas Linguistik *Identifier* 149
4.2.3.15 *Perplexity* 151
4.2.3.16 Blok Perintah 152
4.2.3.17 Proses Pembentukan Metrik Kerta 153
4.2.4 Bobot Keterbacaan Kerta 158

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pemodelan Keterbacaan Kode Program Sebagai Parameter Kualitas Dalam Perangkingan Pencarian Kode Program
Budi Susanto, Prof. Dr. Ir. Ridi Ferdiana, S.T., M.T., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.2.5 Dataset Metrik Kerta 162
4.2.6 Analisis Efisiensi Komputasi Pelatihan dan Inferensi Model Skor Keterbacaan 163
4.2.6.1 Analisis Komputasi Pelatihan 163
4.2.6.2 Analisis Komputasi Inferensi 165
4.2.7 Analisis Skor Keterbacaan Kerta 168
4.2.7.1 Statistik Deskriptif Skor Keterbacaan per Kelas 168
4.2.7.2 Perbedaan Skor Antar Kelas 170
4.2.7.3 Hasil Uji Inferensial Global Antar Kelas 170
4.2.7.4 Validitas Prediktif Berbasis *Threshold* dengan *Cross-Validation* 171
4.2.7.5 Contoh Pengukuran Model Metrik Keterbacaan Kerta 174
4.2.8 Validasi Model Kerta berdasar PLS-SEM 177
4.2.9 Uji Klasifikasi *Multi-Class* Keterbacaan dengan Korpus Kerta..... 184
4.2.9.1 Pembagian Dataset untuk Klasifikasi *Multi-class* 185
4.2.9.2 Hasil Klasifikasi *Multi-class* terhadap Korpus Kerta 185
4.2.9.3 Hasil Uji Klasifikasi Berbasis Citra Pola Blok *Highlight* Warna Kode 189
4.2.10 Rangkuman Hasil dari RQ2 192
4.3 Penerapan Model *Code Search* (RQ3) 194
4.3.1 Dataset CodeSearchNet 194
4.3.2 *Ingestion* dan Pra-pemrosesan 196
4.3.3 Uji Coba *Code Search* 198
4.3.3.1 *Code Search* berbasis Leksikal 198
4.3.3.2 *Hybrid Search* (*Dense vector* dan BM25 *Re-scoring*) 204
4.3.3.3 Analisis Perubahan *Ranking* Akibat *Re-scoring* Keterbacaan 206
4.3.4 Rangkuman Hasil untuk RQ3 209
4.4 Penegasan Orisinalitas Berdasarkan Hasil Penelitian..... 211
4.5 Kontribusi Kebaruan Hasil Penelitian 212
Bab V KESIMPULAN DAN SARAN..... 215
5.1 Kesimpulan 215
5.1.1 Kesimpulan untuk RQ1..... 215
5.1.2 Kesimpulan untuk RQ2..... 215
5.1.3 Kesimpulan untuk RQ3..... 216
5.2 Saran..... 216
DAFTAR PUSTAKA 220
Lampiran 1. Tabel Model dan Atribut dari Alat Bantu Scalabrino 248
Lampiran 2. Korelasi 46 atribut Scalabrino, BW, dan Posnett 250
Lampiran 3. Daftar Atribut Terpilih berdasar Korelasi antar Atribut Scalabrino, BW, dan Posnett..... 256

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pemodelan Keterbacaan Kode Program Sebagai Parameter Kualitas Dalam Perangkingan Pencarian Kode Program
Budi Susanto, Prof. Dr. Ir. Ridi Ferdiana, S.T., M.T., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 4. Analisis Karakter Fitur Scalabrino dan Buse&Weimer berdasar Linear atau Polynomial 257
Lampiran 5. Metode Klasifikasi Keterbacaan Kode Program dan Parameter *RandomizedSearch* 258
Lampiran 6. Rata-rata Akurasi dan *Weighted-F1* dari 30 iterasi *RandomizedSearch* terhadap 5 algoritma klasifikasi dengan 4 model dataset keterbacaan 259
Lampiran 7: Pairwise Wilcoxon Signed-Rank Test terhadap Konfigurasi Klasifikasi Dataset Scalabrino 260
Lampiran 8. Prosentasi kondisi *overfitting* dari 30 kali uji coba 268
Lampiran 9. Rata-rata `importance_score` dari model klasifikasi *RandomForest* terhadap D_{corr} dengan pengskalaan *Robust* 269
Lampiran 10. Rata-rata Akurasi dan wF1 dari dataset berdasar *Importance Score* 273
Lampiran 11. Pemetaan seleksi fitur metrik hasil ds_1, ds_{1_5}, dan ds_2 274
Lampiran 12. Analisis deskriptif untuk fitur metrik keterbacaan terpilih berdasar ds_{1_5} 276
Lampiran 13. Kumpulan *Prompt* terkait Pembangunan Korpus Kerta 279
Lampiran 14. *Prompt* untuk Pelabelan Kelas Keterbacaan Kode 281
Lampiran 15. Daftar Pertanyaan Survey Keterbacaan Kode 282
Lampiran 16. Pemetaan Metrik Scalabrino, Buse-Weimer, dan Posnett ke Dimensi Keterbacaan Kode 287
Lampiran 17. Pemetaan Metrik Importance, Survey, dan $Kerta_{v0}$ 288
Lampiran 18. Definisi Fitur Metrik Kerta 289
Lampiran 19. Ketentuan Highlight Blok Warna untuk Cuplikan Kode 293
Lampiran 20. Karakteristik Fitur Metrik Kerta 295
Lampiran 21. Deklarasi Hyperparameter untuk MLP, RF, XGBoost 301
Lampiran 22. Rekapitulasi Uji Coba Klasifikasi Multi-Class Keterbacan terhadap Korpus Kerta 303
Lampiran 23. Definisi Configurasi SOLR 307
Lampiran 24. Hasil Uji Statistik Sebelum dan Sesudah Pelibatan Skor Keterbacaan 314

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pemodelan Keterbacaan Kode Program Sebagai Parameter Kualitas Dalam Perangkingan Pencarian Kode Program
Budi Susanto, Prof. Dr. Ir. Ridi Ferdiana, S.T., M.T., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Model Keterbacaan Kode 18
Tabel 2.2 Sintesis komparatif literatur *code search* dan keterbacaan kode..... 30
Tabel 3.1 Metode Penelitian dan Indikator Pencapaian 93
Tabel 3.2 Rencana dataset yang digunakan dan dihasilkan..... 95
Tabel 4.1 Kinerja Akurasi Terbaik dari Hasil Klasifikasi 3 Kelas Keterbacaan .. 100
Tabel 4.2 Perbandingan Tingkat Kesulitan Klasifikasi Antar Kelas Readability . 103
Tabel 4.3 Statistik Performa Per Kelas pada Konfigurasi Terbaik *Random Forest* 104
Tabel 4.4 Kinerja Akurasi Terbaik dari Hasil Klasifikasi 3 Kelas Keterbacaan .. 114
Tabel 4.5 Pemetaan Variabel Survei ke Dimensi..... 122
Tabel 4.6 Hasil Regresi per Dimensi dari Survei..... 122
Tabel 4.7 Pemetaan Metrik Buse-Weimer, dan Posnett ke Dimensi *Visual Clarity* 123
Tabel 4.8 Pemetaan Metrik Scalabrino, Buse-Weimer ke Dimensi *Structural Simplicity* 124
Tabel 4.9 Pemetaan Metrik Scalabrino/BW ke Dimensi *Documentation Support* 124
Tabel 4.10 Pemetaan Metrik Scalabrino, Buse-Weimer ke Dimensi *Naming Transparency*..... 125
Tabel 4.11 Pemetaan Metrik Scalabrino dan Posnett ke Dimensi *Cognitive Load* 125
Tabel 4.12 Waktu pelatihan dan kinerja validasi pada setiap fold 163
Tabel 4.13 Waktu inferensi model Kerta pada setiap fold 166
Tabel 4.14 Nilai Fitur Metrik Kerta untuk Listing IV.8 175
Tabel 4.15 Hasil Pengujian Jalur Struktural 179
Tabel 4.16 Covariance Dimensi dan Label Kerta..... 179
Tabel 4.17 Indikator dengan *Outer* VIF Bermasalah 183
Tabel 4.18 Ringkasan Signifikansi *Outer Weight*..... 184
Tabel 4.19 Distribusi Dataset Uji Klasifikasi 185
Tabel 4.20 Hasil Terbaik Uji Klasifikasi Tiap Dataset (Mean $\pm$ SD)..... 186
Tabel 4.21 Hasil ART-ANOVA terhadap Hasil Klasifikasi..... 186
Tabel 4.22 Mean $\pm$ SD per algorithm (global, *across* dataset dan scaler)..... 187
Tabel 4.23 Uji Friedman terhadap Algoritma 188
Tabel 4.24 Konfigurasi Augmentasi terhadap Korpus Citra Blok Warna Kode 191
Tabel 4.25 Hasil Klasifikasi *Multi-class* Keterbacaan berbasis CNN..... 192
Tabel 4.26 Hasil Uji *Code Search* Berbasis BM25..... 201
Tabel 4.27 Hasil Uji *Function-based Boosting* terhadap *Baseline* 202
Tabel 4.28 Hasil Uji *Re-scoring* terhadap *Baseline* 203
Tabel 4.29 Hasil Uji *Re-ranking* terhadap *Baseline*..... 204
Tabel 4.30 Kinerja *Code Search* Mode *Hybrid* 205
Tabel 4.31 Rangkuman Analisis Hasil BM25 *Re-Scoring* Kerta dan *Hybrid*..... 206
Tabel 4.32 Perbandingan *Preserve Rate* antara BM25 dan Hibrida dengan *Additive Re-scoring* 207
Tabel 4.33 Pemetaan Kesenjangan Penelitian, Respons Kerta, dan Bukti Empiris 212

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Pemodelan Keterbacaan Kode Program Sebagai Parameter Kualitas Dalam Perangkingan Pencarian Kode Program
Budi Susanto, Prof. Dr. Ir. Ridi Ferdiana, S.T., M.T., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Komponen *code search* 23
Gambar 2.2 Grafik *precision* dan *recall* (Sumber: *Figure 8.2* [175, p. 158])..... 48
Gambar 3.1 Alur Proses Penelitian 52
Gambar 3.2 Blok Diagram Tahap Persiapan data 55
Gambar 3.3 Tahapan Pendefinisian Korpus Deklarasi *Method* Java..... 58
Gambar 3.4 Proses Validasi Label dari LLM 60
Gambar 3.5 Proses Validasi Manual oleh *Programmer* 62
Gambar 3.6 Alur proses uji coba klasifikasi 3 kelas keterbacaan 65
Gambar 3.7 Alur proses tahap klasifikasi 66
Gambar 3.8 Metode Pengembangan Fitur Model Kerta 71
Gambar 3.9 Ilustrasi mekanisme klasifikasi *Stacking* 72
Gambar 3.10 Mekanisme Uji Klasifikasi *Multi-Class* dengan Dataset Kerta 85
Gambar 3.11 Proses Pembentukan Model Arsitektur `HyperModel` CNN 90
Gambar 3.12 Rancangan Arsitektur *Code Search* 92
Gambar 4.1 Heatmap dari p-value *paired-test* untuk D_{corr} dengan `Robust` 102
Gambar 4.2 Visualisasi struktur lokal data D_{corr} dalam proyeksi 2D..... 105
Gambar 4.3 Visualisasi Proyeksi PCA Data D_{corr} dalam proyeksi 2D 106
Gambar 4.4 Contoh citra blok warna berdasar kode Java Listing IV.8..... 116
Gambar 4.5 Heatmap Korelasi antar Pertanyaan Survei Keterbacaan..... 121
Gambar 4.6 Ilustrasi Kuva Utilitas Identifier..... 136
Gambar 4.7 Ilustrasi Kurva $u_{words}(k)$ terhadap γ 137
Gambar 4.8 Visualisasi Jumlah Digit $u_{digit}(d)$ berbasis fungsi *piecewise* dan *saturasi*..... 138
Gambar 4.9 Hierarki Bobot Kategori Baris dalam ratioStatementLines 145
Gambar 4.10 Ilustrasi kurva *inverted-U*..... 150
Gambar 4.11 Diagram Kerangka Penerapan Model DNN untuk Bobot Kerta..... 159
Gambar 4.12 Box Plot Skor Keterbacaan Kerta..... 168
Gambar 4.13 Plot ECDF Skor Keterbacaan Kerta..... 169
Gambar 4.14 Histogram distribusi *scoring* Kerta berdasar korpus Kerta 172
Gambar 4.15 Grafik histogram scoring Scalabrino dan Buse-Weimer 172
Gambar 4.16 Grafik Boxplot *Scoring* Scalabrino dan Buse-Weimer 173
Gambar 4.17 Grafik radar dan *divergence bar chart* untuk prediksi porsi skor setiap Kategori Konseptual Keterbacaan terhadap Contoh Kode IV.8..... 177
Gambar 4.18 Model Konstruk Laten Kerta..... 178
Gambar 4.19 Grafik *training* dan *loss* dari `HyperModel` CNN 190
Gambar 4.20 Kinerja Uji Klasifikasi *Multi-Class* berbasis `HyperModel` CNN untuk Korpus Kerta..... 192