

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
HALAMAN MOTTO	v
PRAKATA	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
INTISARI	xv
ABSTRACT	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Pembatasan Masalah	3
1.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
1.4.1. Tujuan Penelitian	3
1.4.2. Manfaat Penelitian	4
1.5. Tinjauan Pustaka	4
1.6. Metodologi Penelitian	6
1.7. Sistematika Penulisan	7
BAB II LANDASAN TEORI	9
2.1. Matriks	9
2.1.1. Bentuk Kuadratik dan Kedefinitan Matriks	9
2.1.2. Gradien dan Matriks Hessian	11
2.2. Dasar-Dasar Teori Probabilitas	12
2.2.1. Variabel Acak	12

2.2.2. Distribusi Probabilitas	12
2.2.3. Ekspektasi dan Variansi	13
2.2.4. Kovariansi	14
2.2.5. Distribusi Probabilitas Join	14
2.2.6. Distribusi Marginal	15
2.2.7. Distribusi Kondisional	15
2.3. Model Klasifikasi	16
2.4. Kalibrasi pada Model Klasifikasi	16
2.4.1. Model Terkalibrasi Sempurna	17
2.4.2. Metrik Kalibrasi <i>Expected Calibration Error (ECE)</i> dan Diagram Reliabilitas	17
2.4.3. Fenomena Mis-kalibrasi pada Model <i>Machine Learning Modern</i>	19
2.4.4. Konsep <i>Over-confidence</i> dan <i>Under-confidence</i>	19
2.4.5. Metode Kalibrasi	21
2.5. Proses Gaussian	22
2.5.1. Proses Stokastik	22
2.5.2. Definisi Proses Gaussian	23
2.5.3. Proses Gaussian sebagai Distribusi atas Fungsi	23
2.5.4. Fungsi Rerata dan Fungsi Kernel	23
2.6. Metode Numerik Pendukung	24
2.6.1. Aproksimasi Fungsi dengan Ekspansi Taylor	24
2.6.2. Metode Optimisasi Berbasis Gradien	25
2.6.3. Integrasi Monte Carlo	27
2.6.4. Algoritma Klustering K-Means	28
BAB III PENERAPAN PROSES GAUSSIAN UNTUK KALIBRASI NON-PARAMETRIK PADA MODEL KLASIFIKASI	30
3.1. Kalibrasi <i>Post-Hoc</i>	30
3.2. Formulasi Model <i>Gaussian Process Latent</i>	31
3.2.1. Kerangka Dasar Model Kalibrasi Proses Gaussian	33
3.2.2. Penentuan Prior Proses Gaussian	34
3.2.3. Fungsi Likelihood untuk Inferensi Model	37
3.3. Proses Inferensi Parameter	38
3.3.1. Distribusi Join	39

3.3.2. Tantangan Inferensi pada Proses Gaussian.	40
3.3.3. Skalabilitas Model dengan Variabel Pemicu (<i>Inducing Variables</i>)	40
3.3.4. Inferensi Variasional (<i>Variational Inference</i>) sebagai Pendekatan Posterior	42
3.3.5. Maksimisasi <i>Evidence Lower Bound</i> (ELBO).	47
3.3.6. Optimisasi Parameter Model	52
3.4. Kalibrasi Prediksi Baru	52
3.4.1. Perhitungan Posterior Prediktif	53
3.4.2. Marginalisasi untuk Prediksi Kelas Akhir	54
BAB IV STUDI KASUS	55
4.1. Simulasi Alur GP-Calib pada Data Kecil	55
4.1.1. Alur Kerja GP-Calib.	55
4.1.2. Data Sintetis (<i>Input Awal</i>)	58
4.1.3. Tahap 1: Inisialisasi Komponen GP	58
4.1.4. Tahap 2: Inisialisasi <i>Inducing Points</i>	59
4.1.5. Tahap 3: Konstruksi Model Proses Gaussian.	59
4.1.6. Tahap 4: <i>Variational Inference</i> (Optimasi ELBO).	60
4.1.7. Tahap 5: Prediksi dengan <i>Monte Carlo Sampling</i>	62
4.1.8. Tahap 6: <i>Output</i> Final dan Analisis	65
4.2. Percobaan Pada Berbagai Dataset <i>Benchmark</i> dan Model <i>Machine Learning</i>	65
4.2.1. Karakteristik Dataset	66
4.2.2. Distribusi Kelas	67
4.3. Pra-Pemrosesan Data.	67
4.3.1. Penanganan Nilai Hilang	68
4.3.2. <i>Encoding</i> Variabel Kategorik	69
4.3.3. Normalisasi Fitur Numerik	69
4.4. Pembagian Data	70
4.5. Pelatihan Model Klasifikasi	71
4.5.1. Pemilihan Model	72
4.5.2. Evaluasi Model Dasar	73
4.6. Metode Kalibrasi	73
4.6.1. <i>Uncalibrated (Baseline)</i>	74

4.6.2. <i>Platt Scaling</i>	74
4.6.3. <i>Isotonic Regression</i>	74
4.6.4. GP-Calib dengan Berbagai Kernel	74
4.7. Hasil Eksperimen.....	75
4.7.1. Perbandingan Kernel GP-Calib.....	75
4.7.2. Performa per Dataset	76
4.7.3. Performa per <i>Classifier</i>	77
4.7.4. Perbandingan dengan Metode Kalibrasi Lain	78
4.7.5. Penurunan ECE dalam Persentase	79
4.7.6. Analisis Detail per Kombinasi Dataset- <i>Classifier</i>	79
4.7.7. Frekuensi Penggunaan Kernel.....	83
4.7.8. Analisis Waktu Komputasi	84
4.8. Pembahasan Percobaan <i>Gaussian Process Calibration</i>	84
4.8.1. Efektivitas GP-Calib	85
4.8.2. Pentingnya Pemilihan Kernel	86
4.8.3. Limitasi dan Tantangan	86
BAB V PENUTUP	88
5.1. Kesimpulan.....	88
5.2. Saran.....	90
DAFTAR PUSTAKA	91
BAB A Kode Program Python	95