UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Peramalan Probabilistik Return Saham Sektor Keuangan Menggunakan Sequential Mixture Density Network
Berbasis Distribusi Gaussian dan Student-t dengan Aplikasi pada Strategi Investasi
Hanan Naufal Indratma, Prof. Dr. Drs. Gunardi, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN . . . . . **ii**
HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI . . . . . **iii**
HALAMAN PERSEMBAHAN . . . . . **iv**
HALAMAN MOTTO . . . . . **v**
PRAKATA . . . . . **vi**
DAFTAR ISI . . . . . **viii**
DAFTAR TABEL . . . . . **xii**
DAFTAR GAMBAR . . . . . **xiii**
INTISARI . . . . . **xiv**
ABSTRACT . . . . . **xv**
I PENDAHULUAN **1**
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 3
1.3. Pembatasan Masalah 4
1.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian 4
1.5. Tinjauan Pustaka 6
1.6. Metodologi Penelitian 8
1.7. Sistematika Penulisan 10
II LANDASAN TEORI **12**
2.1. Saham 12
2.1.1. *Return* Saham 12
2.1.2. Karakteristik *Return* Saham 13
2.2. Variabel Random 14
2.2.1. Variabel Random Diskrit 14
2.2.2. Variabel Random Kontinu 14
2.2.3. Variabel Random Terkait Waktu (Proses Stokastik) 15
2.2.4. Nilai Harapan (*Expected Value*) 16
2.3. Distribusi Probabilitas 16
2.3.1. Distribusi Gaussian 16
2.3.2. Distribusi Student-*t* 17
2.3.3. Normalitas Data 18
2.4. Peramalan 19
2.4.1. *Point Forecasting* 20

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Peramalan Probabilistik Return Saham Sektor Keuangan Menggunakan Sequential Mixture Density Network
Berbasis Distribusi Gaussian dan Student-t dengan Aplikasi pada Strategi Investasi
Hanan Naufal Indratma, Prof. Dr. Drs. Gunardi, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.4.2. Keterbatasan *Point Forecasting* pada Data Keuangan Volatil 20
2.5. *Probabilistic Forecasting* . . . 21
2.5.1. Prinsip *Probabilistic Forecasting* . . . 23
2.5.2. Distribusi Prediktif . . . 23
2.5.3. Relevansi untuk Manajemen Risiko . . . 24
2.6. Data *Time Series* . . . 24
2.6.1. Jenis Data . . . 24
2.6.2. Definisi Data *Time Series* . . . 25
2.6.3. Karakteristik *Time Series* Keuangan . . . 26
2.6.4. Keterbatasan Model Linier . . . 26
2.7. *Mixture Density Network* (MDN) . . . 27
2.7.1. Konsep Dasar *Mixture Model* . . . 27
2.7.2. Definisi *Mixture Density Network* (MDN) . . . 28
2.7.3. Parameter pada MDN . . . 28
2.7.4. *Expected Return Mixture Distribution* . . . 29
2.7.5. *Mixture Standard Deviation* . . . 29
2.7.6. Keunggulan MDN . . . 30
2.8. Jaringan Saraf Tiruan (*Neural Network*) . . . 30
2.8.1. Konsep Dasar *Neural Network* . . . 31
2.8.2. Fungsi Aktivasi . . . 31
2.8.3. *Loss Function* . . . 32
2.9. Model *Sequential Deep Learning* . . . 32
2.10. Integrasi *Sequential Model* dengan *Probabilistic Output* . . . 34
2.10.1. Konsep *Hybrid Sequential Model* . . . 34
2.10.2. Perbedaan dengan Model Deterministik . . . 34
2.10.3. Dependensi Temporal dan Kuantifikasi Ketidakpastian . . . 35
2.11. Model AR-GARCH . . . 35
2.11.1. Model Autoregressive (AR) . . . 35
2.11.2. Model ARCH dan GARCH . . . 36
2.11.3. Integrasi AR-GARCH . . . 36
2.12. Evaluasi Model Probabilistik . . . 37
2.12.1. *Likelihood* dan *Log-Likelihood* . . . 37
2.12.2. *Negative Log-Likelihood* (NLL) . . . 37
2.12.3. *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) . . . 38
2.13. Metrik Evaluasi untuk Strategi Investasi . . . 38
2.13.1. *Return* Portofolio . . . 38

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Peramalan Probabilistik Return Saham Sektor Keuangan Menggunakan Sequential Mixture Density Network
Berbasis Distribusi Gaussian dan Student-t dengan Aplikasi pada Strategi Investasi
Hanan Naufal Indratma, Prof. Dr. Drs. Gunardi, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.13.2. *Sharpe Ratio* 39
2.13.3. *Maximum Drawdown* 39
III BASELINE MODEL DAN PERAMALAN MENGGUNAKAN *SEQUENTIAL MIXTURE DENSITY NETWORK* 41
3.1. *Baseline* Model Probabilistik 41
3.1.1. Konsep *Baseline* Distribusi Tunggal 41
3.1.2. *Baseline* Distribusi Gaussian 42
3.1.3. *Baseline* Distribusi Student-*t* 42
3.1.4. *Baseline* AR-GARCH dengan Distribusi Tunggal 43
3.2. Peramalan *Mixture Density Network* dengan Arsitektur *Sequential* . 43
3.2.1. Konsep Integrasi *Sequential*–MDN 44
3.2.2. Penggunaan Distribusi Gaussian dan Student-*t* dalam MDN 45
3.2.3. *Recurrent Neural Network* (RNN)–MDN 46
3.2.4. *Long Short-Term Memory* (LSTM)–MDN 47
3.2.5. *Gated Recurrent Unit* (GRU)–MDN 48
3.3. Optimasi *Hyperparameter* 50
3.3.1. Konsep *Bayesian Optimization* dengan Optuna 50
3.3.2. Proses *Trial* dan *Objective Function* 51
3.3.3. Kriteria Pemilihan Model Terbaik 52
3.4. Diagram Alir Penelitian 52
IV STUDI KASUS 57
4.1. Deskripsi Data 57
4.2. Sistem Pemrograman 58
4.3. *Preprocessing Data* 58
4.3.1. Transformasi Data 59
4.3.2. Penghapusan Nilai Hilang (*Missing Value*) 60
4.3.3. Pembagian Data 61
4.3.4. Standarisasi Data 62
4.4. Analisis Deskriptif dan Eksplorasi Data 63
4.4.1. Plot *Time Series* 63
4.4.2. Statistik Deskriptif 66
4.4.3. Analisis Distribusi Data 67
4.5. Implementasi Model *Baseline* 70
4.5.1. Spesifikasi Model *Baseline* 71
4.5.2. Metode Estimasi *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) . 72
4.5.3. Metrik Evaluasi *Negative Log-Likelihood* 73

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Peramalan Probabilistik Return Saham Sektor Keuangan Menggunakan Sequential Mixture Density Network
Berbasis Distribusi Gaussian dan Student-t dengan Aplikasi pada Strategi Investasi
Hanan Naufal Indratma, Prof. Dr. Drs. Gunardi, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.5.4. Hasil Pemodelan 73
4.6. Implementasi Model *Sequential-MDN* 74
4.6.1. Arsitektur Model *Sequential-MDN* 75
4.6.2. *Tuning Hyperparameter* dengan Optuna 76
4.6.3. Optimasi Derajat Kebebasan 77
4.6.4. Hasil Pelatihan Model 78
4.6.5. Evaluasi Model Sequential-MDN 79
4.6.6. Pemilihan Model Terbaik 81
4.6.7. Hasil Peramalan Model 82
4.7. Aplikasi Strategi Investasi 84
4.7.1. Metrik Evaluasi 86
4.7.2. Analisis Hasil Strategi 87
4.7.3. Implikasi dan Keterbatasan 91
V PENUTUP 92
5.1. Kesimpulan 92
5.2. Saran 93
DAFTAR PUSTAKA 95
LAMPIRAN 100
Lampiran 1. Visualisasi Hasil Peramalan 100
Lampiran 2. Komputasi: *Import Data* dan Pembuatan Direktori 102
Lampiran 3. Komputasi: Pembagian Data 104
Lampiran 4. Komputasi: Mendefinisikan *Datasets Class* 105
Lampiran 5. Komputasi: *Mixture Density Network* (MDN) *Framework* . . 109
Lampiran 6. Komputasi: *NLL Loss Function* 113
Lampiran 7. Komputasi: Mendefinisikan *Custom Trainer* 115
Lampiran 8. Komputasi: *Tuning Parameters Model* 121
Lampiran 9. Komputasi: *Training Gaussian Model* 125
Lampiran 10. Komputasi: *Training Student-t Model* 134
Lampiran 11. Komputasi: AR-GARCH 142