UNIVERSITAS
GADJAH MADA
FINE-TUNING FEED-FORWARD NETWORK PADA PATCHTST UNTUK PERAMALAN DERET WAKTU FINANSIAL JANGKA PANJANG
Alif Rafi Tulusena, Faizal Makhrus, S.Kom., M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL iii

DAFTAR GAMBAR iv

DAFTAR PERSAMAAN v

DAFTAR ALGORITMA vii

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 5

1.3 Batasan Penelitian 6

1.4 Tujuan Penelitian 7

1.5 Manfaat Penelitian 9

1.6 Sistematika Penulisan 9

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 11

2.1 Problematika Peramalan Deret Waktu Jangka Panjang (LTSF) pada Domain Umum 11

2.2 Peramalan Deret Waktu Jangka Panjang (LTSF) pada Domain Finansial 12

2.3 Model-model Modifikasi PatchTST dan Arah Penelitian Sejenis . . 14

2.4 Rangkuman Penelitian Terkait dan Identifikasi Celah Penelitian . . 17

BAB III METODOLOGI PENELITIAN 25

3.1 Deskripsi Penelitian 25

3.2 Landasan Metodologis Model 29

3.2.1 Struktur Transformer dan Mekanisme *Attention* 29

3.2.2 Evolusi Model *Transformer* untuk Peramalan Deret Waktu Finansial 35

3.2.3 Mekanisme *Patching* dan Pemrosesan Kanal-Independen pada PatchTST 43

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
FINE-TUNING FEED-FORWARD NETWORK PADA PATCHTST UNTUK PERAMALAN DERET WAKTU FINANSIAL JANGKA PANJANG
Alif Rafi Tulusena, Faizal Makhrus, S.Kom., M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.2.4 Signifikansi PatchTST pada Peramalan Deret Waktu Domain Finansial 46
3.2.5 LSTM sebagai Model Pembanding 48
3.2.6 Normalisasi Deret Waktu, *Min-Max Scaling*, dan RevIN . 49
3.2.7 Fungsi *Objective* Huber–MAE–*error* Relatif 51
3.2.8 Stabilitas Pelatihan, *Checkpointing*, dan Pengendalian Gradien 52
3.2.9 Metrik Evaluasi Terkait 52
3.3 Akuisisi Data 54
3.4 Pemisahan Data 55
3.5 Pra-pemrosesan Data 56
3.5.1 Transformasi *Log-Return* 57
3.5.2 Normalisasi Z-*Score* 57
3.6 Pembangunan Model dan Percobaan Hyperparameter 58
3.6.1 Arsitektur Model PatchTST 58
3.6.2 Strategi *Fine-Tuning* Parsial FFN 60
3.7 Evaluasi Model 64
BAB IV IMPLEMENTASI 66
4.1 Lingkungan Implementasi 66
4.2 Akuisisi Data dan Konfigurasi Eksperimen 66
4.2.1 Akuisisi Data 66
4.2.2 Konfigurasi Eksperimen 67
4.3 Implementasi *Pipeline* Pelatihan dan Evaluasi 72
4.3.1 Pembacaan CSV dan Seleksi Kolom Numerik 72
4.3.2 *split* Kronologis dan Tahap *Warm-start* 74
4.3.3 *Sliding Window* dan RevIN *per-window* 78
4.4 Implementasi Model PatchTST 80
4.4.1 Konstruktor, *Patch Extraction*, *Update*, dan Penghitungan Parameter 80
4.4.2 *Multi-Head Attention* 85
4.4.3 *Feed-Forward Network* dan *Encoder Block* 87

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
FINE-TUNING FEED-FORWARD NETWORK PADA PATCHTST UNTUK PERAMALAN DERET WAKTU FINANSIAL JANGKA PANJANG
Alif Rafi Tulusena, Faizal Makhrus, S.Kom., M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.4.4 *Positional Encoding* Sinusoidal 91
4.5 Implementasi *Baseline* LSTM 92
4.5.1 Konfigurasi Dasar dan Varian Aktivasi 92
4.5.2 *Loader* CSV *Baseline* LSTM 94
4.5.3 Satu Langkah Inferensi LSTM 96
4.5.4 *Training Loop* LSTM 97
4.5.5 Orkestrasi Eksperimen LSTM 99
4.6 Pelatihan, Validasi, dan Evaluasi 102
4.6.1 Komposisi *Objective* PatchTST 102
4.6.2 *Batch Loop* dan Validasi MAPE 103
4.6.3 *Scheduler, Checkpointing,* dan *Early Stopping* 106
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 109
5.1 Karakteristik Data dan Implikasi Evaluasi 109
5.2 Hasil Utama PatchTST 111
5.3 Analisis FFN-*Only* terhadap *Frozen* 113
5.4 Perbandingan dengan *Full Fine-Tuning* 114
5.5 Perbandingan dengan *Baseline* LSTM 116
5.6 Analisis Efisiensi 118
5.7 Analisis Per Kanal 120
5.7.1 MAPE Per Kanal pada Model Terbaik 120
5.7.2 Kontributor Dominan terhadap *Raw* MSE 122
5.8 Keterbatasan Penelitian 125
BAB VI PENUTUP 127
6.1 Kesimpulan 127
6.2 Saran Penelitian Lanjutan 129
Daftar Pustaka 131

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
FINE-TUNING FEED-FORWARD NETWORK PADA PATCHTST UNTUK PERAMALAN DERET WAKTU FINANSIAL JANGKA PANJANG
Alif Rafi Tulusena, Faizal Makhrus, S.Kom., M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

5.1 Ringkasan data dan konfigurasi evaluasi 110
5.2 Ringkasan hasil PatchTST pada data validasi dan data uji 111
5.3 Perubahan kinerja `FFN_ONLY` terhadap `FROZEN` pada data uji 113
5.4 Perbedaan kinerja `FULL_FT` terhadap `FFN_ONLY` pada data uji 115
5.5 Ringkasan hasil *baseline* LSTM untuk seluruh varian aktivasi dan nilai P pada data uji 116
5.6 Perbandingan PatchTST dengan *baseline* LSTM terbaik 117
5.7 Jumlah parameter terlatih dan waktu eksekusi PatchTST 118
5.8 Pemetaan kode kanal terhadap kurs valuta asing yang digunakan . . 120
5.9 MAPE per kanal kurs pada data uji untuk mode `FULL_FT` 121
5.10 Kanal penyumbang *raw* MSE terbesar pada data uji 123

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
FINE-TUNING FEED-FORWARD NETWORK PADA PATCHTST UNTUK PERAMALAN DERET WAKTU FINANSIAL JANGKA PANJANG
Alif Rafi Tulusena, Faizal Makhrus, S.Kom., M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

3.1 Diagram Alir Penelitian Berdasarkan Alur Implementasi dan Modifikasi FFN-*Only* 28
3.2 Arsitektur *Transformer* (Vaswani *et al.*, 2017) 30
3.3 Mekanisme *Scaled Dot-Product Attention* (Vaswani *et al.*, 2017) . . 31
3.4 Mekanisme *Multi-Head Attention* (Vaswani *et al.*, 2017) 32
3.5 Mekanisme *ProbSparse Self-Attention* (Zhou *et al.*, 2021) 37
3.6 Arsitektur Autoformer (Wu *et al.*, 2021) 39
3.7 Ilustrasi *two-stage attention* (Zhang *et al.*, 2023) 40
3.8 Arsitektur HED pada Crossformer (Zhang *et al.*, 2023) 42
3.9 Kanal-independen (*channel-independence*) pada PatchTST (Nie *et al.*, 2023) 46

4.1 Konfigurasi eksperimen model PatchTST 68
4.2 Fungsi pembacaan kolom numerik pada PatchTST 73
4.3 Pembentukan *split* Kronologis dan Tahap *Warm-start* pada PatchTST 76
4.4 Pembentukan *sliding window* dan normalisasi pada PatchTST . . . 79
4.5 Implementasi inti dari model PatchTST 81
4.6 Implementasi mekanisme *multi-head attention* pada PatchTST . . . 86
4.7 Implementasi *Feed-Forward Network* dan *Encoder Block* pada PatchTST 89
4.8 Implementasi *positional encoding* sinusoidal pada PatchTST 91
4.9 Konfigurasi dasar *baseline* dan varian fungsi aktivasi pada LSTM . 93
4.10 *loader* CSV *baseline* LSTM 95
4.11 Konfigurasi satu langkah inferensi pada *baseline* LSTM 96
4.12 *training loop* pada *baseline* LSTM 98
4.13 Orkestrasi eksperimen LSTM untuk setiap mode aktivasi 100
4.14 Komposisi *objective* pada PatchTST 102
4.15 Implementasi *batch loop* dan validasi MAPE pada PatchTST 104

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
FINE-TUNING FEED-FORWARD NETWORK PADA PATCHTST UNTUK PERAMALAN DERET WAKTU FINANSIAL JANGKA PANJANG
Alif Rafi Tulusena, Faizal Makhrus, S.Kom., M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.16 Implementasi *scheduler*, *checkpointing*, dan *early stopping* pada PatchTST 107

5.1 Alur evaluasi hasil eksperimen 110
5.2 Perbandingan MAPE data uji antara mode-mode utama PatchTST dan *baseline* LSTM terbaik. 112
5.3 Perbandingan MSE data uji antara mode-mode utama PatchTST dan *baseline* LSTM terbaik. 112
5.4 Perbandingan waktu pelatihan antarmode PatchTST. 119
5.5 MAPE per kanal pada data uji untuk mode `FULL_FT`. Garis putus-putus menunjukkan ambang 1%. 122
5.6 Perbandingan kontribusi *raw* MSE pada kanal-kanal dominan di data uji 124

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
FINE-TUNING FEED-FORWARD NETWORK PADA PATCHTST UNTUK PERAMALAN DERET WAKTU FINANSIAL JANGKA PANJANG
Alif Rafi Tulusena, Faizal Makhrus, S.Kom., M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 3.1 30
Persamaan 3.2 30
Persamaan 3.3 30
Persamaan 3.4 31
Persamaan 3.5 32
Persamaan 3.6 32
Persamaan 3.7 32
Persamaan 3.8 32
Persamaan 3.9 32
Persamaan 3.10 33
Persamaan 3.11 33
Persamaan 3.12 33
Persamaan 3.13 33
Persamaan 3.14 33
Persamaan 3.15 34
Persamaan 3.16 34
Persamaan 3.17 34
Persamaan 3.18 38
Persamaan 3.19 39
Persamaan 3.20 40
Persamaan 3.21 41
Persamaan 3.22 41
Persamaan 3.23 41
Persamaan 3.24 41
Persamaan 3.25 48
Persamaan 3.26 48
Persamaan 3.27 48
Persamaan 3.28 48

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
FINE-TUNING FEED-FORWARD NETWORK PADA PATCHTST UNTUK PERAMALAN DERET WAKTU FINANSIAL JANGKA PANJANG
Alif Rafi Tulusena, Faizal Makhrus, S.Kom., M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Persamaan 3.29 48
Persamaan 3.30 48
Persamaan 3.31 49
Persamaan 3.32 49
Persamaan 3.33 49
Persamaan 3.34 49
Persamaan 3.35 50
Persamaan 3.36 50
Persamaan 3.37 50
Persamaan 3.38 50
Persamaan 3.39 51
Persamaan 3.40 51
Persamaan 3.41 51
Persamaan 3.42 51
Persamaan 3.43 52
Persamaan 3.44 52
Persamaan 3.45 53
Persamaan 3.46 54
Persamaan 3.47 54
Persamaan 3.48 54
Persamaan 3.49 57
Persamaan 3.50 57

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
FINE-TUNING FEED-FORWARD NETWORK PADA PATCHTST UNTUK PERAMALAN DERET WAKTU FINANSIAL JANGKA PANJANG
Alif Rafi Tulusena, Faizal Makhrus, S.Kom., M.Sc., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ALGORITMA

1 FFN-only *fine-tuning* for PatchTST 62