



SKRIPSI

**IMPLEMENTASI *TEMPORAL FUSION*
TRANSFORMER (TFT) UNTUK PREDIKSI
PENJUALAN JANGKA PENDEK PAKET DATA
TELKOMSEL DI JAWA TIMUR**

MUHAMMAD AZKIYA AKMAL
NPM 22083010084

DOSEN PEMBIMBING
Trimono, S.Si., M.Si.
Alfan Rizaldy Pratama, S.Tr.T., M.Tr.Kom.

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAWA TIMUR
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
PROGRAM STUDI SAINS DATA
SURABAYA
2026**

LEMBAR PENGESAHAN

**IMPLEMENTASI *TEMPORAL FUSION TRANSFORMER* (TFT) UNTUK
PREDIKSI PENJUALAN JANGKA PENDEK PAKET DATA
TELKOMSEL DI JAWA TIMUR**

Oleh:
MUHAMMAD AZKIYA AKMAL
NPM. 22083010084

Telah dipertahankan dihadapan dan diterima oleh Tim Penguji Sidang Skripsi Program Studi Sains Data Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur pada tanggal 20 April 2026:

Menyetujui,

Trimono, S.Si., M.Si.

NIP. 19950908 202203 1 003



..... (Pembimbing I)

Alfan Rizaldy Pratama, S.Tr.T., M.Tr.Kom.

NIP. 19990606 202406 1 001



..... (Pembimbing II)

Dr. Eng. Ir. Dwi Arman Prasetya, S.T., M.T., IPU., ASEAN Eng.

NIP. 19801205 200501 1 002



..... (Ketua Penguji)

Wahyu Syaifullah J. S, S.Kom., M.Kom.

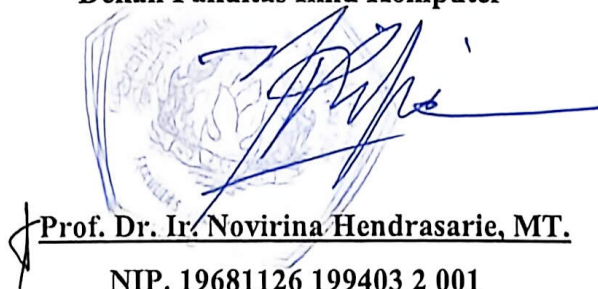
NIP. 19860825 202121 1 003



..... (Penguji I)

Mengetahui,

Dekan Fakultas Ilmu Komputer



Prof. Dr. Ir. Novirina Hendrasarie, MT.
NIP. 19681126 199403 2 001

LEMBAR PERSETUJUAN

IMPLEMENTASI *TEMPORAL FUSION TRANSFORMER* (TFT) UNTUK PREDIKSI PENJUALAN JANGKA PENDEK PAKET DATA TELKOMSEL DI JAWA TIMUR

Oleh:
MUHAMMAD AZKIYA AKMAL
NPM. 22083010084

Telah disetujui untuk mengikuti Ujian Skripsi

Menyetujui,

**Koordinator Program Studi Sains Data
Fakultas Ilmu Komputer**



Dr. Eng. Ir. Dwi Arman Prasetya, S.T., M.T., IPU., ASEAN Eng.
NIP. 19801205 200501 1 002

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Muhammad Azkiya Akmal
NPM : 22083010084
Program : Sarjana (S1)
Program Studi : Sains Data
Fakultas : Fakultas Ilmu Komputer

Menyatakan bahwa dalam dokumen ilmiah Skripsi ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah lain yang telah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu lembaga Pendidikan Tinggi, dan juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang/lembaga lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam dokumen ini dan disebutkan secara lengkap dalam daftar pustaka.

Dan saya menyatakan bahwa dokumen ilmiah ini bebas dari unsur-unsur plagiasi. Apabila di kemudian hari ditemukan indikasi plagiat pada Skripsi ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun juga dan untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Surabaya, 20 April 2026
Yang Membuat Pernyataan,



MUHAMMAD AZKIYA AKMAL
NPM. 22083010084

ABSTRAK

Nama Mahasiswa / NPM : Muhammad Azkiya Akmal / 22083010084
Judul Proposal Skripsi : Implementasi *Temporal Fusion Transformer* (TFT) untuk Prediksi Penjualan Jangka Pendek Paket Data Telkomsel di Jawa Timur

Prediksi penjualan paket data jangka pendek yang akurat sangat krusial bagi penyedia layanan telekomunikasi untuk mengoptimalkan ketersediaan stok dan efisiensi operasional. Namun, kompleksitas pola transaksi yang dipengaruhi fluktuasi waktu dan kondisi demografis antar wilayah seringkali menjadi tantangan dalam pemodelan. Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan arsitektur *Temporal Fusion Transformer* (TFT) untuk memprediksi penjualan jangka pendek paket data Telkomsel di wilayah Jawa Timur yang mencakup 15 klaster kota. Inovasi yang diajukan dalam penelitian ini adalah integrasi metode *Seasonal-Trend Decomposition using Loess* (STL) pada tahap pra-pemrosesan. Komponen tren, musiman, dan residu hasil dekomposisi digunakan sebagai variabel *observed past inputs* untuk memperkaya informasi model. Variabel lain yang melibatkan mencakup variabel statis (klaster dan jenis paket) serta variabel dinamis (jam, hari, dan hari libur nasional). Model dievaluasi menggunakan pendekatan *quantile regression* untuk menghasilkan rentang interval prediksi. Hasil penelitian menunjukkan performa model yang sangat baik dengan nilai *Mean Absolute Error* (MAE) sebesar 3,69 dan q-Risk (P50) sebesar 0,12. Analisis *Variable Selection Network* (VSN) mengungkapkan bahwa variabel Klaster (14,21%) dan Tren STL (8,45%) merupakan faktor paling dominan, sementara *mekanisme attention* memvalidasi adanya pola siklus harian dan mingguan yang kuat. Sebagai kontribusi praktis, model ini diimplementasikan ke dalam sistem dasbor interaktif berbasis web untuk mendukung pengambilan keputusan strategis manajemen secara *real-time*.

Kata kunci : *Temporal Fusion Transformer, Time Series Forecasting, STL Decomposition, Penjualan Paket Data, Telkomsel, Jawa Timur.*

ABSTRACT

Student Name / NPM : Muhammad Azkiya Akmal / 22083010084
Title : Implementation of Temporal Fusion Transformer (TFT) for Short-Term Sales Prediction of Telkomsel Data Packages in East Java

Accurate short-term sales forecasting for data packages is crucial for telecommunications providers to optimize inventory availability and operational efficiency. However, the complexity of transaction patterns, influenced by temporal fluctuations and regional demographic conditions, poses significant challenges in modeling. This research implements the Temporal Fusion Transformer (TFT) architecture to predict short-term sales of Telkomsel data packages across 15 city clusters in East Java. The innovation proposed in this study is the integration of the Seasonal-Trend Decomposition using Loess (STL) method during the preprocessing stage. The decomposed trend, seasonal, and residual components are utilized as observed past inputs to enrich the model's information, alongside static variables (cluster and package type) and dynamic variables (hour, day, and national holidays). The model is evaluated using a quantile regression approach to generate prediction intervals. Results indicate superior model performance, achieving a Mean Absolute Error (MAE) of 3.69 and a q-Risk (P50) of 0.12. Variable Selection Network (VSN) analysis reveals that Cluster (14.21%) and STL Trend (8.45%) are the most dominant factors influencing sales, while the attention mechanism validates strong daily (24-hour) and weekly (7-day) cyclical patterns. As a practical contribution, this predictive model is implemented into a web-based interactive dashboard system to support management in real-time strategic decision-making.

Keywords: *Temporal Fusion Transformer, Time Series Forecasting, STL Decomposition, Data Package Sales, Telkomsel, East Java.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, hidayah dan karunia-Nya kepada penulis sehingga skripsi dengan judul **“Implementasi *Temporal Fusion Transformer* (TFT) untuk Prediksi Penjualan Jangka Pendek Paket Data Telkomsel di Jawa Timur”** dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Trimono, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing utama yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, nasehat serta motivasi kepada penulis. Dan penulis juga banyak menerima bantuan dari berbagai pihak, baik itu berupa moril, spiritual maupun materiil. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua dan keluarga tercinta yang senantiasa memberikan dukungan moril, materiil, serta iringan doa yang tiada henti, sehingga penulis tetap kuat dan bersemangat dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Ibu Prof. Dr. Ir. Novirina Hendrasarie, MT., selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
3. Bapak Dr. I Gede Susrama Mas Diyasa, S.T., M.T., selaku Wadep Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
4. Bapak Dr. Eng. Ir. Dwi Arman Prasetya, S.T., M.T., IPU., selaku Koordinator Program Studi Sains Data UPN “Veteran” Jawa Timur.
5. Bapak Alfanz Rizaldy Pratama, S.Tr.T., M.Tr.Kom., selaku dosen pembimbing kedua penulis selama penelitian ini dilakukan.
6. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Sains Data Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur yang telah mendidik dan memberikan bekal ilmu yang sangat bermanfaat kepada penulis selama masa perkuliahan.
7. Dina Novia Candrawati, yang senantiasa menjadi *support system* terbaik, menemani, memberikan semangat, serta paling sabar mendengarkan segala keluh kesah penulis dalam menghadapi berbagai tantangan selama pengerjaan skripsi ini.

8. Teman seperjuangan dan semua pihak yang turut memberikan dukungan kepada penulis selama proses penelitian ini berlangsung.

Penulis menyadari bahwa di dalam penyusunan skripsi ini banyak terdapat kekurangan. Untuk itu kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sangat diharapkan demi kesempurnaan penulisan skripsi ini. Akhirnya, dengan segala keterbatasan yang penulis miliki semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak umumnya dan penulis pada khususnya.

Surabaya, 20 April 2026

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	6
1.3. Batasan Masalah.....	6
1.4. Tujuan Penelitian	7
1.5. Manfaat Penelitian	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1. Penelitian Terdahulu	9
2.2. Dasar Teori.....	16
2.2.1. Karakteristik Kanal Distribusi Penjualan Telkomsel.....	16
2.2.2. Faktor Eksogen dalam Prediksi Penjualan.....	17
2.2.3. Uji Volatilitas Penjualan Paket Data Telkomsel.....	18
2.2.4. <i>Seasonal-Trend Decomposition using Loess (STL)</i>	20
2.2.5. <i>Temporal Fusion Transformer (TFT)</i>	22
2.2.6. Dasbor Interaktif untuk <i>Business Intelligence Forecasting</i>	29
2.2.7. Metrik Evaluasi	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	33

3.1.	Variabel Penelitian dan Sumber Data.....	33
3.1.1.	Sumber Data	33
3.1.2.	Variabel Penelitian	35
3.1.3.	Kategorisasi Variabel dalam Arsitektur TFT	37
3.2.	Langkah Analisis	38
3.2.1.	Dekomposisi STL.....	40
3.2.2.	Transformasi Input	41
3.2.3.	<i>Variable Selection Network (VSN)</i>	42
3.2.4.	<i>Static Encoder (Get Static Encoders)</i>	42
3.2.5.	<i>Temporal Selection (Historical Inputs)</i>	42
3.2.6.	<i>Temporal Selection (Future Inputs)</i>	43
3.2.7.	<i>Sequential Processing (LSTM Encoder–Decoder)</i>	44
3.2.8.	<i>Static Enrichment</i>	45
3.2.9.	<i>Self-Attention Mechanism</i>	46
3.2.10.	<i>Post Attention Processing and Quantile Output Layer</i>	47
3.2.11.	Implementasi <i>Graphical User Interface (GUI)</i>	49
3.3.	Desain Sistem	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		51
4.1.	Hasil Penelitian.....	51
4.1.1.	Deskripsi Data Penelitian	51
4.1.2.	Analisis Deskriptif Data Penjualan.....	53
4.1.3.	Analisis Volatilitas Data.....	55
4.1.4.	Hasil Dekomposisi <i>Time Series</i> Menggunakan STL.....	57
4.1.5.	Hasil Pemodelan Prediksi Menggunakan <i>Temporal Fusion Transformer</i>	62
4.1.6.	Evaluasi Kinerja Model	67
4.1.7.	Analisis Perbandingan Performa Model.....	69
4.1.8.	Analisis Interpretabilitas Model	70
4.2.	Implementasi Sistem dan Antarmuka Grafis (GUI).....	75
4.2.1.	Arsitektur Penyimpanan Data.....	75
4.2.2.	Implementasi <i>Backend Services</i> dan API	77

4.2.3.	Antarmuka Monitoring Strategis.....	79
4.2.4.	Antarmuka Analisis Teknis.....	82
BAB V PENUTUP		87
5.1.	Kesimpulan	87
5.2.	Saran Pengembangan	89
DAFTAR PUSTAKA		91
LAMPIRAN.....		97

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Perbandingan <i>Mytelkomsel App</i> dengan <i>Digipos Aja!</i>	16
Gambar 2. 2. Arsitektur Temporal Fusion Transformer	22
Gambar 3. 1. Diagram Alir <i>Temporal Fusion Transformers</i>	39
Gambar 3. 2. <i>Design System</i>	49
Gambar 4. 1. Distribusi Penjualan pada Wilayah Ponorogo Trenggalek	54
Gambar 4. 2. Tren Total Penjualan Harian Paket Data Telkomsel.....	55
Gambar 4. 3. Ilustrasi Proses <i>STL Decomposition</i>	59
Gambar 4. 4. Komponen <i>Trend STL</i>	60
Gambar 4. 5. Komponen Musiman <i>STL</i>	60
Gambar 4. 6. Komponen Residual <i>STL</i>	61
Gambar 4. 7. Ringkasan Arsitektur dan Jumlah Parameter Model <i>TFT</i>	66
Gambar 4. 8. Perbandingan Prediksi dan Aktual Penjualan	68
Gambar 4. 9. Grafik <i>Feature Importance</i> (VSN)	72
Gambar 4. 10. Visualisasi <i>Attention Mechanism</i> Model <i>TFT</i>	74
Gambar 4. 11. Daftar Tabel Basis Data pada <i>phpMyAdmin</i>	76
Gambar 4. 12. Tabel <i>History</i> dan <i>Future Buffer</i>	76
Gambar 4. 13. API Status Sistem.....	77
Gambar 4. 14. API Opsi Filter	78
Gambar 4. 15. API Inisialiasai Data	78
Gambar 4. 16. Log Proses Simulasi.....	79
Gambar 4. 17. Halaman Utama Dashboard	79
Gambar 4. 18. Mekanisme Pemilihan Cluster dan Filter Jenis Paket	80
Gambar 4. 19. Grafik Tren Penjualan Historis pada Cluster Terpilih	81
Gambar 4. 20. Statistik Deskriptif Hasil Peramalan	82
Gambar 4. 21. Praproses dan upload data.....	82
Gambar 4. 22. Visualisasi <i>STL</i>	83
Gambar 4. 23. Konfigurasi parameter.....	83
Gambar 4. 24. Simulasi pelatihan model	84
Gambar 4. 25. Evaluasi Perfoma Model	84

Gambar 4. 26. Tampilan hasil prediksi dan variabel.....	84
Gambar 4. 27. Tampilan ekspor laporan	85

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Penelitian Terdahulu	9
Tabel 3. 1. Data Log Transaksi Penjualan Paket Data Telkomsel.....	33
Tabel 3. 2. Struktur Data Penjualan Per Jam	34
Tabel 3. 3. Kategorisasi Variabel dalam Arsitektur TFT.....	37
Tabel 3. 4. Hasil Dekomposisi STL.....	40
Tabel 3. 5. Input utama sebelum masuk tahap (VSN)	41
Tabel 4. 1. Data Transaksi Outlet	51
Tabel 4. 2. Data setelah di agregasi	52
Tabel 4. 3. Statistik Deskriptif Penjualan Paket Data per Cluster Wilayah.....	53
Tabel 4. 4. Rata-rata dan Standar Deviasi untuk Setiap Produk.....	56
Tabel 4. 5. Hasil Perhitungan <i>Coefficient of Variation (CV)</i>	56
Tabel 4. 6. Klasifikasi Tingkat Volatilitas Penjualan Produk.....	57
Tabel 4. 7. Data <i>time series</i> sebagai input dekomposisi STL	58
Tabel 4. 8. Hasil dekomposisi STL.....	58
Tabel 4. 9. Statistik Komponen STL	60
Tabel 4. 10. Struktur Dataset Setelah Integrasi Komponen STL.....	62
Tabel 4. 11. Pembagian Fitur Input Model TFT	63
Tabel 4. 12. Konfigurasi <i>Hyperparameter</i> Model TFT	64
Tabel 4. 13. Contoh Hasil Prediksi Penjualan	66
Tabel 4. 14. Hasil Evaluasi Kinerja Model Temporal Fusion Transformer	68
Tabel 4. 15. Metrix evaluasi TFT dan pembandingnya	70
Tabel 4. 16. <i>Feature Importance Model Temporal Fusion Transformer</i>	71
Tabel 4. 17. Kontribusi Komponen STL terhadap Prediksi.....	72

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Sampel Dataset	97
Lampiran 2. Kode training dan model.....	98
Lampiran 3. Kode program - GUI.....	99
Lampiran 4. LoA publikasi ilmiah	100

DAFTAR NOTASI

a	:	Input primer dalam GRN
c	:	<i>Context vector opsional</i>
c_s	:	<i>Context vector</i> untuk seleksi variabel temporal
c_e	:	<i>Context vector</i> untuk <i>enriching</i> fitur temporal
c^c, c_h	:	<i>Context vector</i> untuk pemrosesan lokal fitur temporal
d_{model}	:	Ukuran <i>hidden state</i> dalam TFT
d_v	:	Dimensi <i>values</i> dalam <i>attention mechanism</i>
d_{attn}	:	Dimensi <i>attention</i>
ELU	:	<i>Exponential Linear Unit activation function</i>
GRN	:	<i>Gated Residual Network</i>
GLU	:	<i>Gated Linear Unit</i>
H_h	:	<i>Output attention head</i> ke-h
K	:	<i>Key matrix</i> dalam <i>attention mechanism</i>
$L_{ayernorm}$:	<i>Layer normalization</i>
L_e	:	<i>Quantile loss</i> untuk kuantil q
m_h	:	Jumlah <i>attention heads</i>
m_χ	:	Jumlah <i>past inputs</i>
n	:	Position index / jumlah observasi
N	:	Jumlah total observasi
Q	:	<i>Query matrix</i> dalam <i>attention mechanism</i>
q	:	Kuantil (<i>percentile</i>)
QL	:	<i>Quantile Loss</i>
t	:	Indeks waktu
V	:	<i>Value matrix</i> dalam <i>attention mechanism</i>
W	:	<i>Weight matrix</i>
b	:	Bias vector
η_1, η_2	:	Layer perantara dalam GRN

ζ	:	Output dari <i>static variable selection network</i>
$\xi_t^{(j)}$:	Input yang ditransformasi dari variabel j pada waktu t
\bar{E}_t	:	Vektor gabungan dari semua past <i>inputs</i> pada waktu t
$\varphi(t, n)$:	Output dari LSTM <i>encoder-decoder</i>
$\theta(t, n)$:	Output setelah <i>static enrichment</i>
$\Theta(t)$:	Matriks fitur temporal
$\delta(t, n)$:	Output setelah <i>decoder masking</i>
$\psi(t, \tau)$:	Output dari <i>temporal fusion decoder</i>
y_t	:	Nilai aktual pada waktu t
\hat{y}_t	:	Nilai prediksi pada waktu t
\hat{y}_t^q	:	Nilai prediksi pada kuantil q
τ	:	Horizon prediksi
τ_{\max}	:	Horizon maksimum prediksi
σ	:	Fungsi aktivasi sigmoid
\odot	:	Perkalian <i>element-wise</i> Hadamard
Ω	:	Domain data <i>training</i>
<i>MAE</i>	:	<i>Mean Absolute Error</i>
<i>MAPE</i>	:	<i>Mean Absolute Percentage Error</i>
<i>MSE</i>	:	<i>Mean Square Error</i>