

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam era transformasi digital, internet telah berevolusi dari sekadar sarana komunikasi menjadi infrastruktur fundamental yang menopang aktivitas ekonomi, sosial, dan pemerintahan di seluruh dunia. Pertumbuhan akses internet global terus meningkat, dengan lebih dari 5,35 miliar pengguna (66,2% populasi dunia) yang kini terhubung ke internet. Penggunaan data seluler menjadi kontributor utama terhadap pertumbuhan trafik digital [1]. Kondisi ini menegaskan bahwa industri telekomunikasi memegang peran sentral dalam menopang ekonomi digital global, sekaligus menghadapi tantangan untuk memastikan layanan yang adaptif terhadap lonjakan permintaan data yang sangat dinamis.

Fenomena serupa juga terjadi di Indonesia, di mana penetrasi internet telah mencapai 79,5 % dari total populasi dengan lebih dari 213 juta pengguna aktif pada tahun 2023 [2]. Pertumbuhan ini disertai peningkatan signifikan dalam konsumsi data seluler, yang didorong oleh popularitas *mobile gaming*, *e-commerce*, serta layanan *video streaming* [3]. Tingginya penetrasi tersebut menciptakan kebutuhan strategis bagi operator seluler untuk memprediksi volume penjualan paket internet secara akurat, sehingga strategi penjualan dan alokasi sumber daya promosi dapat dikelola secara efisien di tengah kompetisi pasar yang ketat.

Kebutuhan strategis ini menjadi semakin mendesak bagi Telkomsel sebagai studi kasus utama penelitian ini. Urgensi ini terlihat jelas melihat kondisi kinerja Telkomsel yang mengalami tekanan signifikan dalam tiga tahun terakhir. Laporan keuangan Induk Perusahaan (Telkom Indonesia) mencatat bahwa pendapatan Telkomsel turun drastis dari Rp10,7 triliun pada 2022 menjadi Rp8,4 triliun pada 2024, sementara pangsa pasar tergerus dari 56,2% pada 2021 menjadi hanya 48,9% pada 2023 [4]. Situasi ini semakin menantang karena rata-rata pendapatan per pengguna (ARPU) juga stagnan sejak 2020 dan kembali turun ke level Rp44 ribu pada akhir 2024 [5].

Fokus penelitian ini diarahkan pada paket data, yang merupakan kontributor utama pendapatan industri telekomunikasi Indonesia, mencapai lebih dari 60% total

pendapatan operator [4]. Penjualan ini dianalisis melalui kanal *Digipos Aja!*, yang meskipun saat ini menjadi tulang punggung penjualan ritel dengan 670 ribu outlet di seluruh Indonesia [6], kini menghadapi tekanan kompetitif hebat dari aplikasi digital seperti *MyTelkomsel*. Studi kasus difokuskan di Wilayah Jawa Timur karena provinsi ini menunjukkan penetrasi internet tertinggi di Indonesia sekitar 82,19% [7] dan memiliki karakteristik penjualan yang sangat fluktuatif [8]. Volume transaksi harian pada bulan Januari 2024 rata-rata hanya berkisar di angka 510 transaksi, namun melonjak drastis hingga mencapai puncak 960 transaksi per hari pada bulan April. Fluktuasi data penjualan ini juga sangat dipengaruhi oleh faktor eksternal, seperti siklus mingguan (*weekends*) dan periode hari libur. Hal ini didukung melalui berita yang mencatat bahwa periode libur panjang seperti Ramadan dan Idul Fitri secara signifikan mengubah pola konsumsi dan berkontribusi pada lonjakan trafik data masyarakat [9]. Fluktuasi perilaku konsumsi seperti ini, menciptakan dinamika permintaan yang tidak stabil pada pasar ritel layanan seluler.

Dalam menghadapi dinamika tersebut, analisis terhadap seluruh varian paket data menjadi tidak efektif karena adanya ketimpangan distribusi penjualan yang signifikan. Fenomena ini sejalan dengan Prinsip Pareto dalam literatur pemasaran, yang menunjukkan bahwa sebagian kecil produk sering kali menyumbang mayoritas volume penjualan (70–80%) dalam suatu kategori [10]. Oleh karena itu, penelitian ini memfokuskan prediksi pada lima jenis paket data teratas (*Top-5 Products*) di setiap wilayah. Pembatasan ini dilakukan untuk mengatasi tantangan *sparse count processes* pada produk bervolume rendah, yang kerap memiliki nilai nol di banyak interval waktu sehingga menyulitkan model dalam mempelajari pola permintaan [11], [12].

Tingginya dinamika permintaan tersebut, ditambah dengan persaingan harga di kanal ritel Jawa Timur semakin terlihat dari tekanan kompetitif terhadap pendapatan rata-rata per pengguna (ARPU). Data terbaru menunjukkan bahwa ARPU Telkomsel menurun dari Rp42.400 pada Kuartal I 2025 menjadi Rp41.800 pada Semester I 2025 [13]. Penurunan ini mengindikasikan bahwa pelanggan cenderung beralih ke paket yang lebih murah atau bahkan berpindah ke kompetitor.

Sebaliknya, Indosat justru mencatat kenaikan ARPU dari Rp38.000 pada tahun 2024 menjadi Rp39.200 pada Kuartal I 2025 [13], menunjukkan bahwa kompetitor lebih mampu menyesuaikan penawaran dan waktu promosi dengan kebutuhan pelanggan. Kondisi tersebut menuntut kemampuan prediksi permintaan yang lebih akurat agar keputusan terkait harga, promosi, dan distribusi dapat dilakukan secara cepat dan tepat.

Model-model statistik klasik yang selama ini banyak digunakan untuk peramalan jangka pendek dalam industri telekomunikasi dan retail sering kali mengalami keterbatasan dalam menangkap pola data yang sangat fluktuatif dan dipengaruhi banyak faktor musiman. Penelitian yang dilakukan oleh [14] pada sektor penjualan ritel mengevaluasi performa beberapa metode statistik seperti ARIMA, *Vector Auto Regression* (VAR), dan SARIMA dalam memprediksi permintaan harian. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa ARIMA menghasilkan tingkat kesalahan *Root Mean Squared Error* (RMSE) sebesar 35%, sementara VAR mencatat standard error hingga 45%. Meskipun SARIMA memberikan performa lebih baik dengan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) 12,2%, tingkat kesalahan tersebut masih tergolong tinggi untuk kebutuhan operasional yang menuntut respons cepat [15], [16]. Keterbatasan ini menunjukkan perlunya pendekatan peramalan yang lebih adaptif dan mampu menangkap dinamika data yang kompleks.

Kinerja model statistik yang terbatas tersebut menunjukkan perlunya pendekatan yang dapat menangkap pola data yang berubah secara dinamis. Pendekatan *deep learning* seperti *Long Short-Term Memory* (LSTM) menawarkan kemampuan pemodelan yang lebih fleksibel untuk mengatasi karakteristik tersebut. Penelitian oleh [17] pada bidang analisis profit bisnis berbasis data deret waktu membandingkan performa ARIMA, SARIMA, dan LSTM. Pada studi tersebut, data historis profit perusahaan digunakan sebagai dasar peramalan, dimana ARIMA dan SARIMA dibangun pada dataset yang telah distasionerkan, sedangkan LSTM diterapkan langsung pada data asli tanpa proses stasionerisasi. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa LSTM mencapai akurasi 97,01% dengan RMSE 3,91, melampaui ARIMA yang mencatat akurasi 93,84% (RMSE 8,68) dan SARIMA

dengan akurasi 94,38% (RMSE 7,27). Temuan ini menunjukkan bahwa model *deep learning* mampu mempelajari dinamika data yang lebih kompleks dibandingkan metode statistik tradisional. Namun, keunggulan akurasi tersebut diimbangi dengan keterbatasan dari sisi interpretabilitas, karena proses pengambilan keputusan dalam LSTM melibatkan interaksi jutaan parameter melalui mekanisme gerbang (gates) dan status tersembunyi (hidden states), sehingga sulit dipahami secara intuitif [18].

Permasalahan interpretabilitas yang terdapat pada LSTM memunculkan kebutuhan akan model *deep learning* yang tidak hanya akurat namun juga dapat dijelaskan dengan baik. *Temporal Fusion Transformer* (TFT) merupakan arsitektur *deep learning* yang diperkenalkan untuk menggabungkan akurasi tinggi dengan interpretabilitas model. Penelitian oleh [19] yang menggunakan dataset penjualan ritel berskala besar (*Favorita Grocery Sales*) menunjukkan bahwa TFT mampu mencapai nilai P50 *Quantile Loss* terendah sebesar 0,354. Kinerja ini mengungguli model probabilistik berbasis LSTM seperti DeepAR yang mencatat loss 0,574 (62 persen lebih tinggi) serta model *Sequence-to-Sequence* (Seq2Seq) dengan loss 0,411 (16 persen lebih tinggi). Hasil tersebut menunjukkan bahwa TFT lebih efektif dalam mempelajari pola temporal yang kompleks pada data penjualan ritel.

Selain keunggulan akurasi, TFT juga menawarkan interpretabilitas yang tidak dimiliki oleh model *deep learning* tradisional. Arsitektur TFT memiliki dua komponen utama yang berperan penting dalam menghasilkan prediksi yang *interpretable*. Komponen pertama adalah *Variable Selection Networks* (VSN) [19] yang berfungsi memilih dan memberi peringkat variabel eksogen maupun historis berdasarkan tingkat pengaruhnya terhadap hasil prediksi. Komponen kedua adalah *Interpretable Multi-Head Attention* [19] yang memungkinkan model menyoroti timestep historis tertentu yang memiliki kontribusi paling besar selama proses peramalan. Kedua mekanisme ini membuat TFT mampu memberikan gambaran yang jelas mengenai faktor-faktor yang mendasari prediksi, sehingga lebih mudah dipahami dibandingkan model seperti LSTM yang bersifat *black box*.

Temporal Fusion Transformers (TFT) memiliki akurasi dan interpretabilitas yang baik, performa model ini tetap sangat dipengaruhi oleh kualitas pola deret waktu yang menjadi *input* [20]. Data penjualan ritel umumnya memiliki

karakteristik berupa tren jangka panjang, pola musiman, serta fluktuasi acak yang dapat mengaburkan pola utama apabila tidak ditangani secara tepat [19]. Penelitian ini akan menggunakan metode *Seasonal-Trend Decomposition using Loess* (STL) pada tahap pra pemrosesan data yang bertujuan untuk meningkatkan akurasi prediksi dengan memisahkan pola utama deret waktu sebelum diproses oleh model. Penelitian yang dilakukan oleh [21] menunjukkan bahwa integrasi STL pada model hibrida seperti STL-PCA-BiLSTM mampu menurunkan nilai *Mean Absolute Error* (MAE) hingga 83,6 persen dibandingkan model yang bekerja pada data mentah. Peningkatan performa serupa juga dilaporkan pada [22], dimana dekomposisi STL meningkatkan akurasi model LSTM sebesar 12 persen bahkan ketika dibandingkan dengan arsitektur *Attention-LSTM*. Sinyal deret waktu kemudian diuraikan menjadi tiga komponen yaitu tren, musiman, dan residual sehingga struktur data menjadi lebih jelas untuk dipelajari oleh model TFT.

Kebutuhan akan sistem peramalan yang akurat sekaligus dapat dijelaskan dengan baik menjadi semakin penting di tengah kondisi pasar yang sangat kompetitif. Celah performa pada metode statistik klasik serta keterbatasan interpretabilitas pada model *deep learning* konvensional menunjukkan bahwa pendekatan yang ada saat ini belum sepenuhnya mampu menjawab kebutuhan operasional perusahaan. Kombinasi antara kemampuan interpretabilitas pada *Temporal Fusion Transformer* (TFT) dan proses pemurnian pola deret waktu melalui dekomposisi *Seasonal-Trend Decomposition using Loess* (STL) menawarkan solusi yang lebih komprehensif. Pendekatan hibrida ini diharapkan mampu menghasilkan prediksi yang lebih akurat sekaligus menyediakan pemahaman yang jelas mengenai faktor-faktor yang memengaruhi hasil peramalan.

Sebagai luaran penelitian, hasil prediksi dan informasi interpretabilitas akan diwujudkan dalam bentuk dasbor *Graphical User Interface* (GUI). Kehadiran dasbor ini diharapkan dapat menjembatani hasil teknis peramalan agar menjadi lebih transparan dan mudah dimanfaatkan oleh manajemen Telkomsel Regional Jawa Timur dalam pengambilan keputusan operasional.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, penelitian ini difokuskan untuk menjawab empat pertanyaan penelitian utama:

- 1) Bagaimana penerapan *Seasonal-Trend Decomposition using Loess* (STL) untuk memisahkan komponen tren, musiman, dan residual sebagai *input feature* bagi model prediksi?
- 2) Bagaimana implementasi arsitektur *Temporal Fusion Transformer* (TFT) yang memanfaatkan komponen hasil dekomposisi STL untuk memodelkan pola penjualan 5 paket data dengan volume tertinggi di setiap wilayah?
- 3) Bagaimana performa prediktif dan mekanisme interpretabilitasnya (*variable selection, attention*) dalam menganalisis faktor-faktor temporal yang dominan?
- 4) Bagaimana merancang dasbor interaktif yang dapat menyajikan hasil prediksi TFT secara intuitif dan *actionable* untuk mendukung pengambilan keputusan operasional?

1.3. Batasan Masalah

Untuk menjaga fokus dan kedalaman penelitian, maka ditetapkan batasan masalah agar tidak melebar dari topik utama yang dikaji. Adapun batasan-batasan tersebut adalah sebagai berikut:

- 1) Penelitian ini berfokus pada data penjualan paket data Telkomsel dengan studi kasus spesifik di wilayah Jawa Timur. Data yang digunakan merupakan transaksi penjualan paket data melalui aplikasi *Digipos Aja!* yang merupakan *channel* distribusi resmi Telkomsel untuk ritel *outlet*. Penelitian tidak akan mencakup data dari wilayah lain atau operator telekomunikasi lainnya.
- 2) Penelitian difokuskan pada 5 jenis paket data (*Top 5 Products*) yang memiliki kontribusi penjualan terbesar di masing-masing cluster. Paket data di luar kategori 5 besar ini tidak diikutsertakan dalam pemodelan.
- 3) Variabel dalam penelitian ini dibatasi pada dua kategori. Kategori pertama meliputi variabel turunan (*derived*) yang dihasilkan dari proses dekomposisi

STL. Kategori kedua mencakup variabel eksogen yang terdiri dari indikator temporal (seperti *hour*, *day_of_week*, *weekend*) dan faktor eksternal (libur nasional kalender Masehi). Penelitian tidak akan menggunakan faktor eksternal lainnya seperti data promosi khusus per produk, kondisi cuaca, harga paket individual, atau peristiwa lokal yang tidak tercakup dalam variabel yang telah ditentukan.

- 4) Model yang digunakan untuk prediksi (*forecasting*) terbatas pada *Temporal Fusion Transformer (TFT)*. Penelitian tidak akan membandingkan model *TFT* dengan model *machine learning* atau statistik lain seperti *LSTM*, *ARIMA*, *Random Forest*, atau model-model lainnya.
- 5) Luaran penelitian adalah dasbor yang menyajikan hasil prediksi secara visual. Implementasi sistem akan terbatas pada pembuatan prototipe dan validasi fungsional, tidak mencakup implementasi skala penuh atau integrasi ke dalam sistem operasional Telkomsel.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan model *Temporal Fusion Transformer (TFT)* dalam melakukan prediksi penjualan jangka pendek paket data Telkomsel di wilayah Jawa Timur. Secara khusus, tujuan penelitian ini meliputi:

- 1) Menerapkan metode *Seasonal-Trend Decomposition using Loess (STL)* untuk memisahkan komponen tren, musiman, dan residual dari data penjualan, yang akan digunakan sebagai *input feature* bagi model prediksi.
- 2) Merancang dan mengimplementasikan arsitektur *Temporal Fusion Transformer (TFT)* dengan memanfaatkan komponen hasil dekomposisi STL untuk memodelkan pola penjualan paket data Telkomsel di Jawa Timur.
- 3) Mengevaluasi performa prediktif model hibrida *TFT-STL* dalam memodelkan penjualan data Telkomsel, serta menganalisis faktor-faktor temporal yang dominan melalui interpretasi mekanisme *variable selection* dan *attention*.

- 4) Mengembangkan dasbor interaktif yang mampu menampilkan hasil prediksi dan wawasan interpretabilitas dari model hibrida TFT-STL secara visual untuk mendukung pengambilan keputusan operasional.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki dua manfaat penelitian, yaitu manfaat teoritis dan manfaat praktis:

- 1) Manfaat Teoritis
 - a. Memberikan kontribusi ilmiah terhadap pengembangan literatur mengenai penerapan *Temporal Fusion Transformer (TFT)* dalam domain prediksi penjualan di industri telekomunikasi, khususnya pada *granular level* (per jam dan per kota) yang masih jarang dieksplorasi.
- 2) Manfaat Praktis
 - a. Bagi Telkomsel, hasil penelitian ini dapat digunakan untuk memprediksi fluktuasi total penjualan paket data secara jangka pendek, sehingga membantu optimalisasi strategi promosi, serta efisiensi operasional outlet.
 - b. Bagi peneliti dan praktisi data, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar pengembangan sistem prediksi serupa untuk domain lain.