

EVALUASI KINERJA MODEL *TABTRANSFORMER*, *TEMPORAL FUSION TRANSFORMER*, DAN *HYBRID TABTRANSFORMER-TFT* PADA KLASIFIKASI KETERLAMBATAN PENERBANGAN

PANJI LOKAJAYA ARIFA



**PROGRAM STUDI MAGISTER STATISTIKA DAN SAINS DATA
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa proposal tesis dengan judul “Evaluasi Kinerja Model *TabTransformer*, *Temporal Fusion Transformer (TFT)*, dan *Hybrid TabTransformer-TFT* pada Klasifikasi Keterlambatan Penerbangan” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2026

Panji Lokajaya Arifa
M0501241036

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



RINGKASAN

PANJI LOKAJAYA ARIFA. Evaluasi Kinerja Model *TabTransformer*, *Temporal Fusion Transformer (TFT)*, dan *Hybrid TabTransformer-TFT* pada Klasifikasi Keterlambatan Penerbangan. Dibimbing oleh AGUS MOHAMAD SOLEH dan AJI HAMIM WIGENA.

Keterlambatan penerbangan merupakan permasalahan operasional yang dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti karakteristik penerbangan, kondisi cuaca, kepadatan operasional, serta hubungan antar peristiwa penerbangan berdasarkan waktu. Data penerbangan memiliki struktur tabular yang tersusun atas peubah kategorik dan numerik, sekaligus memiliki pola temporal karena pengamatan terjadi secara berurutan. Model klasifikasi konvensional belum mampu mempelajari interaksi kompleks antar fitur tabular dan ketergantungan temporal secara bersamaan. *TabTransformer* dapat membentuk representasi kontekstual dari fitur kategorik, sedangkan *Temporal Fusion Transformer (TFT)* dirancang untuk mempelajari hubungan temporal melalui pemilihan peubah, *Long Short-Term Memory (LSTM)*, mekanisme *attention*, dan jaringan residual dengan gerbang. Penelitian ini mengembangkan *Hybrid TabTransformer-TFT* untuk menggabungkan kemampuan pemodelan fitur tabular dan pola temporal dalam klasifikasi keterlambatan penerbangan.

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi dan membandingkan kinerja *TabTransformer*, *TFT*, dan *Hybrid TabTransformer-TFT* pada data simulasi serta menerapkan ketiga model tersebut pada data empiris klasifikasi keterlambatan penerbangan. Data simulasi dibangkitkan dengan pola hubungan linear dan nonlinear menggunakan 20 peubah penjelas yang terdiri atas enam peubah numerik, sembilan peubah kategorik, dan lima peubah temporal. Simulasi mencakup variasi tingkat pengaruh peubah, tingkat error, serta distribusi kelas. Kombinasi faktor tersebut menghasilkan 12 skenario untuk setiap pola hubungan linear dan nonlinear dengan 15.000 pengamatan pada setiap skenario.

Data empiris merupakan gabungan data penerbangan domestik dan data cuaca di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta selama periode tahun 2024, dengan jumlah pengamatan sebesar 257.442 baris penerbangan. Peubah respon berupa kelas keterlambatan yang dibentuk menjadi tiga Skema klasifikasi, yaitu enam kelas, tiga kelas, dan dua kelas. Peubah penjelas mencakup informasi maskapai, rute, jenis pesawat, terminal, gerbang, lokasi parkir, jumlah penumpang, jarak dan durasi penerbangan, serta kondisi cuaca. Data empiris juga dibagi secara kronologis menjadi 80% data pelatihan dan 20% data pengujian. Evaluasi kinerja model dilakukan menggunakan metrik evaluasi *Accuracy*, *Balanced Accuracy*, dan *F1-score*. Ketiga model dilatih dan dievaluasi secara berulang dengan 10 kali pengulangan untuk memperoleh gambaran variasi dan kestabilan kinerja. Uji statistik ANOVA diterapkan untuk menilai setiap faktor simulasi beserta interaksinya kemudian dilakukan uji lanjut Tukey HSD.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa kinerja model dipengaruhi oleh karakteristik skenario yang digunakan. Pada pola linear, *Hybrid TabTransformer-TFT* cenderung menghasilkan *Accuracy* dan *F1-score* yang lebih tinggi pada sebagian besar skenario. *TabTransformer* dan *TFT* masih menunjukkan kinerja yang kompetitif pada beberapa kombinasi tingkat pengaruh peubah, tingkat error,

dan distribusi kelas. Pada pola nonlinear, keunggulan *Hybrid* terlihat lebih konsisten, terutama dalam menghasilkan *Accuracy* dan *F1-score* yang lebih tinggi. Namun, pada beberapa skenario tertentu, model tunggal masih dapat menghasilkan nilai evaluasi yang sebanding atau lebih tinggi pada metrik tertentu. Hasil ini menunjukkan bahwa representasi konteks tabular dan temporal memberikan peningkatan kinerja yang lebih baik ketika hubungan antar fitur semakin kompleks, tetapi tingkat keunggulannya tetap bergantung pada karakteristik data. Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa tingkat pengaruh peubah, tingkat error, distribusi kelas, dan model memberikan pengaruh terhadap kinerja klasifikasi. Tingkat error menghasilkan nilai *F-statistics* paling besar pada ketiga metrik baik pada pola linear maupun nonlinear, sehingga menjadi faktor yang paling kuat berkaitan dengan perubahan kinerja model. Sejumlah interaksi yang melibatkan model juga signifikan, yang menunjukkan bahwa perbedaan kinerja antara *TabTransformer*, TFT, dan *Hybrid* tidak bersifat tetap, tetapi bergantung pada tingkat pengaruh peubah, tingkat error, dan distribusi kelas. Hasil uji Tukey memperlihatkan bahwa *Hybrid* lebih sering menghasilkan rata-rata kinerja yang lebih tinggi dibandingkan model tunggal, khususnya pada pola nonlinear. Namun, tidak seluruh perbandingan antar model menunjukkan perbedaan yang signifikan pada setiap skenario dan metrik.

Pada data empiris, distribusi kelas menjadi semakin seimbang ketika jumlah kelas dikurangi dari enam menjadi tiga dan dua kelas. Pola keterlambatan juga berubah sepanjang tahun, dengan proporsi penerbangan terlambat yang cenderung lebih tinggi mulai April dan mencapai nilai tertinggi pada periode akhir tahun. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa *Hybrid TabTransformer-TFT* memiliki median nilai evaluasi tertinggi pada seluruh Skema klasifikasi. Pada Skema enam kelas, median *Accuracy*, *Balanced Accuracy*, dan *F1-score Hybrid* masing-masing berada di sekitar 0,66, 0,54, dan 0,57. Pada Skema tiga kelas, nilainya meningkat menjadi sekitar 0,74, 0,74, dan 0,74, sedangkan pada Skema dua kelas mencapai sekitar 0,80 untuk ketiga metrik. *Hybrid* juga menunjukkan sebaran hasil yang relatif sempit sehingga kinerjanya cenderung lebih stabil dibandingkan dua model tunggal. Uji nonparametrik dengan *Kruskal-Wallis* menunjukkan adanya perbedaan kinerja yang signifikan antara ketiga model pada seluruh Skema dan metrik, dengan *Hybrid* memperoleh peringkat rata-rata tertinggi, diikuti *TabTransformer* dan TFT.

Temuan ini menunjukkan bahwa *Hybrid TabTransformer-TFT* mampu memanfaatkan hubungan kontekstual antar fitur tabular sekaligus ketergantungan temporal dalam data penerbangan. Keunggulan *Hybrid* terlihat lebih baik pada pola nonlinear dan tetap konsisten pada data empiris dengan tingkat kompleksitas kelas yang berbeda. Namun, hasil simulasi juga menunjukkan bahwa *Hybrid* tidak selalu unggul pada setiap skenario dan metrik sehingga pemilihan model tetap perlu mempertimbangkan struktur data, tingkat gangguan, dan distribusi kelas. Penelitian ini berpotensi memperluas kajian pengembangan model klasifikasi berbasis *deep learning* dengan arsitektur *Transformer* pada data yang memiliki karakteristik tabular dan temporal secara bersamaan.

Kata kunci: *Deep Learning*, klasifikasi keterlambatan penerbangan, *Hybrid TabTransformer-Tft*, *TabTransformer*, *Temporal Fusion Transformer*



SUMMARY

PANJI LOKAJAYA ARIFA. Performance Evaluation of *TabTransformer*, *Temporal Fusion Transformer*, and *Hybrid TabTransformer-TFT* Models on Flight Delay Classification Data. Supervised by AGUS MOHAMAD SOLEH and AJI HAMIM WIGENA

Flight delays are an operational problem influenced by flight characteristics, weather conditions, operational congestion, and temporal relationships among flight events. Flight data combine tabular features, including categorical and numerical variables, with temporal patterns formed by sequential observations. Conventional classification models are generally not designed to learn complex tabular interactions and temporal dependencies simultaneously. *TabTransformer* produces contextual representations of categorical features, whereas the Temporal Fusion Transformer (TFT) captures temporal relationships through variable selection, Long Short-Term Memory (LSTM), attention mechanisms, and gated residual networks. This study develops a *Hybrid TabTransformer-TFT* model to integrate tabular and temporal information for flight delay classification.

This study aims to evaluate and compare *TabTransformer*, TFT, and *Hybrid TabTransformer-TFT* using simulated data and to apply the three models to empirical flight delay data. The simulated data were generated under linear and nonlinear relationships using 20 explanatory variables consisting of six numerical, nine categorical, and five temporal variables. Variations in variable effects, error levels, and class distributions produced 12 scenarios for each relationship pattern, with 15,000 observations per scenario.

The empirical data combined domestic flight and weather records from Soekarno-Hatta International Airport during 2024, comprising 257,442 observations. Flight delays were classified using three schemes containing six, three, and two classes. The explanatory variables included airline, route, aircraft type, terminal, gate, parking stand, passenger volume, flight distance and duration, and weather conditions. The data were chronologically divided into 80% training and 20% testing sets. Model performance was evaluated using *Accuracy*, *Balanced Accuracy*, and *F1-score*. Each model was trained and evaluated over 10 repetitions to assess performance variation and stability. Analysis of variance was used to examine the simulation factors and their interactions, followed by the Tukey Honestly Significant Difference test.

The simulation results show that model performance depended on the characteristics of each scenario. Under linear relationships, *Hybrid TabTransformer-TFT* tended to produce higher *Accuracy* and *F1-score* values in most scenarios, although *TabTransformer* and TFT remained competitive under several combinations of variable effects, error levels, and class distributions. Under nonlinear relationships, the *Hybrid* model showed a more consistent advantage, particularly in *Accuracy* and *F1-score*. However, the individual models still produced comparable or higher values for certain metrics in several scenarios. These results indicate that integrating contextual tabular representations with temporal information provides greater benefits as relationships among features become more complex, although the magnitude of improvement remains data-dependent. The analysis of variance showed that variable effects, error levels, class

distributions, and model choice influenced classification performance. Error level produced the largest F-statistic for all three metrics under both linear and nonlinear relationships, indicating the strongest association with changes in model performance. Several interactions involving the model were also significant, showing that performance differences among *TabTransformer*, TFT, and the *Hybrid* model depended on variable effects, error levels, and class distributions. The Tukey test showed that the *Hybrid* model more frequently achieved higher mean performance than the individual models, particularly under nonlinear relationships. Nevertheless, not all pairwise comparisons were significant across all scenarios and metrics.

In the empirical data, the class distribution became more balanced as the number of classes decreased from six to three and two. The proportion of delayed flights also tended to increase from April and reached its highest level toward the end of the year. *Hybrid TabTransformer-TFT* achieved the highest median evaluation values across all classification schemes. Under the six-class scheme, its median *Accuracy*, *Balanced Accuracy*, and *F1-score* were approximately 0.66, 0.54, and 0.57. Under the three-class scheme, the values were approximately 0.74 for all three metrics, while under the two-class scheme they reached approximately 0.80. The *Hybrid* model also showed a relatively narrow distribution, indicating more stable performance than the individual models. The Kruskal–Wallis test identified significant performance differences among the three models across all classification schemes and metrics, with the *Hybrid* model obtaining the highest mean rank, followed by *TabTransformer* and TFT.

The findings indicate that *Hybrid TabTransformer-TFT* can jointly utilize contextual relationships among tabular features and temporal dependencies in flight data. Its advantage was more evident under nonlinear relationships and remained consistent across empirical classification schemes with different levels of complexity. However, the *Hybrid* model did not outperform the individual models in every simulation scenario and metric. Model selection should therefore consider data structure, error level, and class distribution. This study extends the development of deep learning classification models based on Transformer architectures for data containing both tabular and temporal characteristics.

Keywords: Deep Learning, flight delay classification, *Hybrid TabTransformer-TFT*, *TabTransformer*, Temporal Fusion Transformer



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

EVALUASI KINERJA MODEL *TABTRANSFORMER*, *TEMPORAL FUSION TRANSFORMER*, DAN *HYBRID TABTRANSFORMER-TFT* PADA KLASIFIKASI KETERLAMBATAN PENERBANGAN

PANJI LOKAJAYA ARIFA

Tesis

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Pogram Studi Statistika dan Sains Data

**PROGRAM STUDI MAGISTER STATISTIKA DAN SAINS DATA
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tesis:
Dr. Farit Mochamad Afendi, S.Si., M.Si.



IPB University
— Bogor Indonesia —

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Judul Tesis : Evaluasi Kinerja Model *TabTransformer*, *Temporal Fusion Transformer (TFT)*, dan *Hybrid TabTransformer-TFT* pada Klasifikasi Keterlambatan Penerbangan

Nama : Panji Lokajaya Arifa
NIM : M0501241036

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Dr. Agus Mohamad Soleh, S.Si., M.T.

Pembimbing 2:

Prof. Dr. Ir. Aji Hamim Wigena, M.Sc.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Dr. Agus Mohamad Soleh, S.Si., M.T

NIP 197503151999031004

Dekan Sekolah Sains Data, Matematika dan Informatika

Prof. Dr. Ir. Agus Buono, M.Si., M.Kom.

NIP 196607021993021001

Tanggal Ujian: 23 Juli 2026

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah dengan judul: “Evaluasi Kinerja Model *TabTransformer*, *Temporal Fusion Transformer (TFT)*, dan *Hybrid TabTransformer-TFT* pada Klasifikasi Keterlambatan Penerbangan” berhasil diselesaikan. Karya ilmiah ini penulis susun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi Magister Sains pada Program Studi Statistika dan Sains Data.

Penulisan Karya ilmiah ini dapat terselesaikan tidak terlepas dari dukungan, bimbingan, dan bantuan dari berbagai pihak sehingga penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada dan penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Dr. Agus Mohamad Soleh, S.Si., M.T, dan Bapak Prof. Dr. Ir. Aji Hamim Wigena, M.Sc. selaku pembimbing yang senantiasa bersedia telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, arahan, motivasi dan masukan yang sangat berharga selama proses penyusunan tesis ini.
2. Bapak Dr. Farit Mochamad Afendi, S.Si., M.Si, dan Ibu Dr. Yenni Angraini, M.Si selaku penguji ujian tesis dan pimpinan sidang yang telah memberikan banyak arahan, saran dan masukan dalam penyempurnaan tesis ini.
3. Seluruh dosen, tenaga pendidik dan kependidikan pada Prodi Magister Statistika dan Sain Data IPB University atas ilmu, dorongan dan pelayanan akademik yang membantu penulis menyempurnakan penelitian ini.
4. Angkasa Pura Indonesia dan Stasiun Meteorologi Soekarno Hatta atas izin, dukungan, serta penyediaan data penelitian yang sangat membantu dan menunjang pelaksanaan penelitian ini.
5. Terima kasih kepada Ayah, Ibu, Adik serta Keluarga atas segala doa, motivasi dan dukungan moral yang tidak terhingga selama proses akademik dan penyusunan tesis ini.
6. Terima kasih kepada JRS yang telah kebersamai serta dukungan dan motivasi selama proses akademik dan penyusunan tesis ini.
7. Rekan-rekan mahasiswa Pascasarjana Program Studi Statistika dan Sains Data angkatan 2024 yang telah memberikan semangat dan bantuan serta semua pihak yang telah banyak membantu dan tak sempat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa karya ilmiah ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, penulis membuka diri terhadap saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan karya ini di masa mendatang.

Akhir kata, Semoga karya ilmiah ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan dan berkontribusi nyata bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan perumusan kebijakan berbasis data di Indonesia.

Bogor, Juli 2026

Panji Lokajaya Arifa



DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Klasifikasi	5
2.2 Keterlambatan Penerbangan	5
2.3 <i>TabTransformer</i>	6
2.4 <i>Temporal Fusion Transformer</i> (TFT)	9
2.5 <i>Hybrid TabTransformer-TFT</i>	13
2.6 Evaluasi Model	14
2.7 Analisis Ragam	16
2.8 Uji Lanjut Tukey	17
III METODE PENELITIAN	18
3.1 Data	18
3.2 Model Penelitian	22
3.3 Prosedur Penelitian Data	23
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Kajian Kinerja Model pada Data Simulasi	27
4.2 Kajian Kinerja Model pada Data Empiris	46
V SIMPULAN DAN SARAN	55
5.1 Simpulan	55
5.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN	61
RIWAYAT HIDUP	74



DAFTAR TABEL

1	<i>Confusion Matrix</i>	15
2	Tabel Analisis ragam dengan desain empat faktor	17
3	Tingkat Pengaruh β	19
4	Tingkat error	19
5	Skenario simulasi	20
6	Data Empiris	21
7	Pembagian Kelas	25
8	Perbandingan Hasil Evaluasi Kinerja Model pada Pola Hubungan Linear (Rata-rata dan Standar Deviasi)	30
9	Perbandingan Hasil Evaluasi Kinerja Model pada Pola Hubungan nonlinear (Rata-rata dan Standar Deviasi)	33
10	Hasil Nilai <i>F-statistics</i> dengan koreksi <i>Robust HC3</i> untuk Setiap Faktor, Interaksi, dan Metrik Evaluasi untuk pola hubungan linear	40
11	Hasil uji lanjut perbedaan rata-rata nilai <i>Accuracy</i> pada pola hubungan linear	42
12	Hasil Nilai <i>F-statistics</i> dengan koreksi <i>Robust HC3</i> untuk Setiap Faktor, Interaksi, dan Metrik Evaluasi untuk pola hubungan nonlinear	43
13	Hasil uji lanjut perbedaan rata-rata nilai <i>Accuracy</i> pada pola hubungan nonlinear	45
14	Perbandingan Hasil Evaluasi Kinerja Model Empiris pada setiap Skema (Rata-rata dan Standar Deviasi)	52
15	Hasil Uji <i>Kruskall-Wallis</i> pada Skema 1	52
16	Hasil Uji <i>Kruskall-Wallis</i> pada Skema 2	53
17	Hasil Uji <i>Kruskall-Wallis</i> pada Skema 3	53

DAFTAR GAMBAR

1	Arsitektur <i>TabTransformer</i>	6
2	Arsitektur umum TFT	9
3	Struktur <i>Variable Selection Networks</i>	10
4	Struktur <i>Gated Residual Network (GRN)</i>	11
5	Arsitektur Integrasi <i>TabTransformer-TFT</i>	14
6	Diagram Alir Data Simulasi	23
7	Diagram Alir Data Empiris	25
8	Distribusi kelas seimbang pada data simulasi	27
9	Distribusi kelas tidak seimbang pada data simulasi	27
10	Sebaran metrik <i>Accuracy</i> pada pola hubungan linear	28
11	Sebaran metrik <i>Balanced Accuracy</i> pada pola hubungan linear	28
12	Sebaran metrik <i>F1-score</i> pada pola hubungan linear	29
13	Sebaran metrik <i>Accuracy</i> pada pola hubungan nonlinear	31
14	Sebaran metrik <i>Balanced Accuracy</i> pada pola hubungan nonlinear	31
15	Sebaran metrik <i>F1-score</i> pada pola hubungan nonlinear	32



16	Kinerja model klasifikasi berdasarkan tingkat pengaruh beta pada pola hubungan linear	34
17	Kinerja model klasifikasi berdasarkan tingkat pengaruh beta pada pola hubungan nonlinear	35
18	Kinerja model klasifikasi berdasarkan tingkat error pada pola hubungan linear	36
19	Kinerja model klasifikasi berdasarkan tingkat error pada pola hubungan nonlinear	37
20	Kinerja model klasifikasi berdasarkan distribusi kelas pada pola hubungan linear	38
21	Kinerja model klasifikasi berdasarkan distribusi pada pola hubungan nonlinear	39
22	Sebaran kelas keterlambatan pada Skema 1	47
23	Sebaran kelas keterlambatan pada Skema 2	47
24	Sebaran kelas keterlambatan pada Skema 3	47
25	Proporsi Keterlambatan penerbangan bulanan	48
26	Sebaran Metrik evaluasi pada Skema 1	49
27	Sebaran Metrik evaluasi pada Skema 2	50
28	Sebaran Metrik evaluasi pada Skema 3	51

DAFTAR LAMPIRAN

1	Model Nonlinear	62
2	Hasil Pengujian Normalitas	63
3	Hasil Pengujian homogenitas	63
4	Tabel Analisis Ragam <i>Accuracy</i> pada pola hubungan linear	64
5	Tabel Analisis Ragam <i>Balanced Accuracy</i> pada pola hubungan linear	65
6	Tabel Analisis Ragam <i>F1-score</i> pada pola hubungan linear	66
7	Tabel Analisis Ragam <i>Accuracy</i> pada pola hubungan nonlinear	67
8	Tabel Analisis Ragam <i>Balanced Accuracy</i> pada pola hubungan nonlinear	68
9	Tabel Analisis Ragam <i>F1-score</i> pada pola hubungan nonlinear	69
10	Hasil uji lanjut perbedaan rata-rata nilai <i>Balanced Accuracy</i> pada pola hubungan linear	70
11	Hasil uji lanjut perbedaan rata-rata nilai <i>F1-score</i> pada pola hubungan linear	71
12	Hasil uji lanjut perbedaan rata-rata nilai <i>Balanced Accuracy</i> pada pola hubungan non linear	72
13	Hasil uji lanjut perbedaan rata-rata nilai <i>F1-score</i> pada pola hubungan nonlinear	73