PERBANDINGAN KINERJA *ISOLATION FOREST* DAN *LOCAL OUTLIER FACTOR* (LOF) UNTUK DETEKSI ANOMALI TRANSAKSI KEUANGAN: STUDI KASUS LHP LKPP

SKRIPSI

OLEH :

NOVIA PUTRI BIMBY

2255201031

TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS LANCANG KUNING
PEKANBARU

2026

HALAMAN PERSETUJUAN

Nama	:	NOVIA PUTRI BIMBY
Nim	:	2255201031
Program Studi	:	TEKNIK INFORMATIKA
Judul	:	PERBANDINGAN KINERJA *ISOLATION FOREST* DAN *LOCAL OUTLIER FACTOR* (LOF) UNTUK DETEKSI ANOMALI TRANSAKSI KEUANGAN: STUDI KASUS LHP LKPP

Pekanbaru, 23 Desember 2025

Disetujui oleh

Pembimbing

Pandu Pratama Putra, M.Kom., MTA., MCF
NIDN: 1003069101

Mengetahui.

Dekan Fakultas Ilmu Komputer

Assoc. Prof. Dr. Yogi Yunefri, M.Kom., MTA., MCE
NIDN : 1022068803

Ketua Prodi Teknik Informatika

Yogi Ersan Fadrial, M.Kom., MTA
NIDN : 1027109202

HALAMAN PENGESAHAN

Nama	:	NOVIA PUTRI BIMBY
Nim	:	2255201031
Program Studi	:	TEKNIK INFORMATIKA
Judul	:	PERBANDINGAN KINERJA *ISOLATION FOREST* DAN *LOCAL OUTLIER FACTOR* (LOF) UNTUK DETEKSI ANOMALI TRANSAKSI KEUANGAN: STUDI KASUS LHP LKPP

Disetujui dan disahkan oleh :
Dewan Penguji,

Ketua

Pandu Pratama Putra, M.Kom., MTA., MCF
NIDN. 1003069101

Penguji I

Assoc. Prof. Dr. Lucky Lhaura Van Fc, M.Kom., MTA
NIDN.1016049001

Penguji II

Dr. Sutejo, M.Kom., MTA
NIDN.1002068801

Mengetahui,

Dekan

Assoc. Prof. Dr. Yogi Yunefri, M.Kom., MTA., MCE
NIDN. 1022068803

Ketua Program Studi
Teknik Informatika

Yogi Ersan Fadhal, M.Kom., MTA
NIDN. 1027109202

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala Puji bagi Allah Subhanahu wa Ta'ala yang telah melimpah rahmat dan hidayahnya dan memberikan kesehatan dan kesempatan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini dengan judul 'Perbandingan Kinerja *Isolation Forest* Dan *Local Outlier Factor* (Lof) Untuk Deteksi Anomali Transaksi Keuangan: Studi Kasus LHP LKPP'. Dengan penuh rasa syukur. Karya ini dipersembahkan kepada:

1. Mama saya Zulhijah Maria yang telah berperan sangat besar dalam perjalanan studi saya, Terima kasih atas doa yang tidak pernah putus, dukungan dalam segala keadaan, serta motivasi yang terus mendorong saya untuk menyelesaikan pendidikan ini, meskipun melalui dinamika dan tantangan yang tidak selalu mudah. Segala kekuatan yang saya miliki hari ini, tumbuh dari perjuangan dan doa Mama.
2. Papa saya Bambang yufritisna yang selalu memberikan doa, dukungan, dan motivasi sejak awal perkuliahan hingga akhirnya saya dapat menyelesaikan skripsi ini, Terima kasih atas kesabaran, perhatian, dan semangat yang Papa tanamkan dalam setiap langkah saya. Keberhasilan ini tidak lepas dari doa dan kerja keras Papa selama ini.
3. Vivien Wanda Rahma & Leony Ratu Aprila, selaku Chief Financial Officers (CFO) dan Motivational Speakers jalur keras. Terima kasih atas kucuran dananya yang selalu cair tepat waktu, dan terima kasih atas motivasi sarkastiknya yang setajam silet. Tanpa transferan dan sindiran pedas kalian,

skripsi ini mungkin hanya jadi wacana abadi. Kalian adalah bukti bahwa 'kasih sayang' bisa berwujud mutasi rekening dan roasting-an setiap hari.

4. Muhammad Fadillah Tanjung, selaku Head of Unnecessary Expenses (Divisi Pengeluaran Tak Terduga). Terima kasih sudah melatih kesabaran Kakak dengan keusilanmu dan proposal perbaikan motormu yang tidak ada habisnya. Ingat, Dil, kalau motor rusak terus, mungkin bukan motornya yang salah, tapi rider-nya.
5. Bapak Pandu Pratama Putra, M.Kom., MTA., selaku dosen pembimbing yang telah membimbing, mengarahkan, dan memberikan masukan berharga selama pelaksanaan Skirpsi hingga penyusunan laporan ini
6. Dosen penguji 1 Ibu Assoc. Prof. Dr. Lucky Lhaura Van Fc, M.Kom., MTA dan penguji 2 Bapak Dr. Sutejo, M.Kom., MTA . yang telah memberikan bimbingan kepada saya, banyak ilmu, kritik dan saran yang membangun untuk dapat menyelesaikan skripsi ini.
7. Muhammad Al Fajar, selaku Head of Quality Control & Document Formatting. Terima kasih sudah menyelamatkan mataku dari revisi dosen masalah spasi dan margin. Tanpa keahlian editing-mu, skripsi ini mungkin isinya berantakan seperti benang kusut. Kamu adalah pahlawan tanpa tanda jasa di balik kerapian dokumen ini.

Novia Putri Bimby (Penulis). Terimakasih banyak sudah berusaha semaksimal mungkin untuk menyelesaikan Skripsi ini dengan penuh semangat dan tidak putus asa. Teruslah menjadi baik dan pantang menyerah.

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis oleh orang lain, kecuali yang secara acu ditulis dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Pustaka.

Apabila ditemukan suatu jiplakan atau plagiat maka saya bersedia menerima akibat berupa sanksi akademis dan saksi lain yang diberikan oleh yang berwenang sesuai ketentuan peraturan dan perundang-undangan yang berlaku.

Pekanbaru,

Yang Membuat Pernyataan

Novia Putri Bimby

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Perbandingan Kinerja *Isolation Forest* dan *Local Outlier Factor* (LOF) untuk Deteksi Anomali Transaksi Keuangan: Studi Kasus LHP LKPP" dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Lancang Kuning.

Skripsi ini dilatarbelakangi oleh pentingnya penerapan teknologi *Machine Learning* dalam mendukung sistem pengawasan serta peningkatan akuntabilitas pengelolaan keuangan negara. Seiring dengan meningkatnya kompleksitas dan volume transaksi keuangan pemerintah, diperlukan metode analisis yang mampu mengidentifikasi pola tidak wajar atau anomali secara efektif. Oleh karena itu, penelitian ini memanfaatkan data dari Laporan Hasil Pemeriksaan atas Laporan Keuangan Pemerintah Pusat (LHP LKPP) yang diterbitkan oleh Badan Pemeriksa Keuangan Republik Indonesia (BPK RI) sebagai objek kajian.

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja dua algoritma *unsupervised anomaly detection*, yaitu *Isolation Forest* dan *Local Outlier Factor* (LOF), dalam mendeteksi indikasi penyimpangan transaksi keuangan. Perbandingan dilakukan berdasarkan hasil evaluasi kinerja model sehingga dapat diketahui algoritma yang lebih efektif dalam konteks data transaksi keuangan pemerintah.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa keberhasilan penyelesaiannya tidak terlepas dari bimbingan, dukungan, serta doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Assoc. Prof. Dr. Yogi Yunefri, M.Kom., MTA., MCE., selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Lancang Kuning.
2. Bapak Afriansyah, M.Kom., MTA., selaku Wakil Dekan I Fakultas Ilmu Komputer Universitas Lancang Kuning.
3. Ibu Assoc. Prof. Dr. Lucky Lhaura Van Fc, M.Kom., MTA., selaku Wakil Dekan II Fakultas Ilmu Komputer Universitas Lancang Kuning.
4. Bapak Dr. Sutejo, M.Kom., MTA., selaku Wakil Dekan III Fakultas Ilmu Komputer Universitas Lancang Kuning.
5. Bapak Yogi Ersan Fadrial, M.Kom., MTA. dan Bapak Pandu Pratama Putra, M.Kom., MTA., selaku Ketua dan Sekretaris Program Studi Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas Lancang Kuning.
6. Bapak Pandu Pratama Putra, M.Kom., MTA., selaku dosen pembimbing yang telah membimbing, mengarahkan, dan memberikan masukan berharga selama pelaksanaan Skripsi hingga penyusunan laporan ini.
7. Seluruh dosen Fakultas Ilmu Komputer Universitas Lancang Kuning, atas ilmu dan bimbingan yang telah diberikan selama masa studi.

8. Segenap staf dan karyawan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Lancang Kuning yang telah memberikan pelayanan, bantuan, dan dukungan teknis demi kelancaran kegiatan akademik penulis

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan dan belum sepenuhnya sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan sebagai bahan evaluasi dan perbaikan bagi penelitian-penelitian selanjutnya.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat, baik bagi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknologi informasi dan *machine learning*, maupun sebagai referensi bagi lembaga pengawasan keuangan dalam upaya meningkatkan akuntabilitas dan transparansi pengelolaan keuangan negara di Indonesia

Pekanbaru, 30 Desember 2025

Novia Putri Bimby

Perbandingan Kinerja *Isolation Forest* Dan *Local Outlier Factor* (Lof) Untuk Deteksi Anomali Transaksi Keuangan: Studi Kasus LHP LKPP

Novia Putri Bimby[1], Pandu Pratama Putra [2]
[1,2]Program Studi Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas Lancang
Jl. Yos Sudarso KM. 8 Rumbai, Pekanbaru, Riau, telp. 08117532015
[1]noviaputribimby@gmail.com, [2]pandupratamaputra@unilak.ac.id

ABSTRAK

Pengelolaan keuangan negara yang transparan dan akuntabel memerlukan mekanisme pengawasan yang efektif, terutama di tengah meningkatnya volume dan kompleksitas transaksi keuangan pemerintah pusat. Kondisi ini mendorong penerapan metode deteksi anomali berbasis *Unsupervised learning*. Penelitian ini membandingkan kinerja algoritma *Isolation Forest* (IF) dan *Local Outlier Factor* (LOF) dalam mendeteksi anomali transaksi keuangan pemerintah pusat menggunakan studi kasus LHP LKPP tahun 2023 dan 2024. Data direkonstruksi dari dokumen LHP LKPP menjadi dataset terstruktur, kemudian melalui tahapan pembersihan data, rekayasa fitur *audit-aware*, *encoding*, normalisasi, dan reduksi dimensi menggunakan *TruncatedSVD*. Evaluasi dilakukan menggunakan metrik *AUC-ROC*, *Recall*, dan efisiensi waktu komputasi. Hasil menunjukkan bahwa *Isolation Forest* lebih unggul dalam efisiensi dan stabilitas pada data berskala besar dan tidak seimbang, sedangkan *Local Outlier Factor* lebih sensitif terhadap anomali lokal namun bergantung pada pemilihan parameter dan memiliki beban komputasi lebih tinggi. Penelitian ini memberikan evaluasi kontekstual penerapan deteksi anomali pada audit keuangan pemerintah Indonesia dan mendukung pengembangan sistem pendukung keputusan audit.

Kata Kunci: deteksi anomali, *Isolation Forest*, *Local Outlier Factor*, audit keuangan pemerintah, LHP LKPP.

Comparative Evaluation of Isolation Forest and Local Outlier Factor (LOF) for Anomaly detection in Government FinancialTransactions: A Case Study of LHP LKPP

Novia Putri Bimby[1], Pandu Pratama Putra [2]
[1,2]*Informatics Engineering Study Program, Faculty of Computer Science,*
Universitas Lancang Kuning
Jl. Yos Sudarso KM. 8 Rumbai, Pekanbaru, Riau, telp. 08117532015
[1]noviaputribimby@gmail.com, [2]pandupratamaputra@unilak.ac.id

ABSTRACT

Transparent and accountable public financial management requires effective oversight mechanisms, particularly amid the increasing volume and complexity of central government financial transactions. This condition encourages the adoption of Unsupervised learning–based anomaly detection methods. This study compares the performance of Isolation Forest (IF) and Local Outlier Factor (LOF) in detecting anomalies in central government financial transactions using the 2023 and 2024 Audit Reports on Central Government Financial Statements (LHP LKPP) as a case study. Transaction data were reconstructed from LHP LKPP documents into a structured dataset, followed by data cleaning, audit-aware Feature Engineering, encoding, normalization, and dimensionality reduction using Truncated Singular Value Decomposition (TruncatedSVD). Model performance was evaluated using Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve (AUC-ROC), Recall, and computational time efficiency. The results indicate that Isolation Forest outperforms in terms of computational efficiency and stability on large and imbalanced datasets, while Local Outlier Factor is more sensitive to local anomalies but highly dependent on parameter selection and incurs higher computational costs. This study provides a contextual evaluation of anomaly detection algorithms in the domain of Indonesian public sector auditing and supports the development of audit decision support systems.

Keywords: *anomaly detection, Isolation Forest, Local Outlier Factor, public financial audit,* LHP LKPP.

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN ..... Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENGESAHAN..... Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERSEMBAHAN vii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.. Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR..... x
ABSTRAK xiii
***ABSTRACT* ..... xiv**
DAFTAR ISI..... xv
DAFTAR GAMBAR..... xvii
DAFTAR TABEL xix
DAFTAR LAMPIRAN xx
BAB I PENDAHULUAN..... 1
A. Latar Belakang.....1
B. Rumusan Masalah.....4
C. Tujuan Penelitian 5
D. Batasan Masalah 6
E. Manfaat Penelitian 7
F. Sistematika Penulisan 8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... 10
A. Penelitian Terdahulu 10
B. Teori Dasar yang Digunakan 36
C. *Tools* yang digunakan 46
BAB III METODE PENELITIAN 50
A. Tahapan-tahapan Penelitian 50
B. Lokasi Penelitian 55
C. Data Yang Digunakan.....56
D. Teknik Pengumpulan Data.....60
E. Metode Yang Digunakan 62
BAB IV GAMBARAN UMUM OBJEK PENELITIAN 69
A. Sejarah Perusahaan 69

B. Struktur Organisasi 70
C. Visi Dan Misi....70
D. Budaya Kerja 71
E. Logo Perusahaan....72
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 73
A. Gambaran Umum Data Audit 73
B. Karakteristik Dataset yang Digunakan....74
C. Pembersihan dan Validasi Data 75
D. Rekayasa Fitur Kontekstual Audit 76
E. Hasil Preprocessing Data 79
F. Reduksi Dimensi Menggunakan *TruncatedSVD* 82
G. Data inti 86
H. Hasil Pemodelan Menggunakan *Isolation Forest* 87
I. Hasil Pemodelan Menggunakan *Local Outlier Factor*....88
J. Perbandingan Kinerja *Isolation Forest* dan Local Outlier Factor....90
K. Analisis Dampak Rekayasa Fitur Dan *Preprocessing*....93
L. Pembahasan dalam Konteks Audit Pemerintah....94
M. Ringkasan Hasil dan Penemuan Data....94
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 96
A. Kesimpulan....96
B. Saran....98
DAFTAR PUSTAKA.... 101
LAMPIRAN.... 106
SURAT KETERANGAN PLAGIAT 126
JURNAL 127

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian 50

Gambar 3. 2 Diagram Kerangka penelitian..... 62

Gambar 4. 1 Struktur Organisasi Badan Pemeriksaan Keuangan..... 70

Gambar 4. 2 Logo Resmi Badan Pemeriksa Keuangan Republik Indonesia..... 72

Gambar 5. 1 Distribusi Kelas Transaksi Normal dan Anomali 73

Gambar 5. 2 Data Transaksi Keuangan Sebelum Proses Pembersihan 74

Gambar 5. 3 Data Transaksi Keuangan Setelah Proses Data Cleaning 75

Gambar 5. 4 Hasil Pembentukan Fitur Temporal Transaksi..... 77

Gambar 5. 5 Hasil Rekayasa Fitur Relasional Antar Instansi..... 78

Gambar 5. 6 Hasil Rekayasa Fitur Nilai dan Rasio Transaksi Keuangan..... 79

Gambar 5. 7 Hasil Imputasi Missing Value pada Fitur Numerik dan Standarisasi Fitur Kategorik..... 80

Gambar 5. 8 Hasil Normalisasi (Scaling) Fitur Numerik 80

Gambar 5. 9 Hasil One-Hot *Encoding* pada Fitur Jenis Belanja..... 81

Gambar 5. 10 Ringkasan Dimensi Data Sebelum dan Sesudah Reduksi Dimensi *TruncatedSVD*..... 83

Gambar 5. 11 Perbandingan Dimensi Data Sebelum dan Sesudah TruncatedSVD 84

Gambar 5. 12 Explained Variance Ratio Setiap Komponen *TruncatedSVD*..... 84

Gambar 5. 13 Kumulatif Explained Variance TruncatedSVD..... 85

Gambar 5. 14 Data Inti Transaksi Setelah Transformasi *TruncatedSVD* 86

Gambar 5. 15 Hasil Evaluasi Kinerja Model *Isolation Forest* (*Audit-aware*)..... 87

Gambar 5. 16 Hasil Evaluasi Kinerja Model *Local Outlier Factor* (*Audit-aware*) 89

Gambar 5. 17 Perbandingan Confusion Matrix *Isolation Forest* dan Local Outlier Factor 92

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel Penelitian Terdahulu 30

Tabel 3. 1 Tabel Ringkasan Dataset..... 57

Tabel 5. 1 Perbandingan Metrik *Isolation Forest* dan Local Outler Factor..... 90

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A 1. Lampiran bukti ss pengambilan data 106

Lampiran A 2. LHP LKPP Tahun 2023..... 107

Lampiran A 3. LHP LKPP Tahun 2024..... 109

Lampiran B 1. Struktur Dataset Sekunder (.CSV)..... 114

Lampiran B 2. Potongan Kode Program Augmentasi Data 114

Lampiran B 3. Potongan Kode Program Pemodelan dan Evaluasi Deteksi 117

Lampiran C 1. *Scan* Kartu Bimbingan..... 124

Lampiran D 1. *Scan* Halaman Persetujuan Ujian Komprehensif..... 125

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Integritas dan akuntabilitas pengelolaan Keuangan Negara adalah cerminan dari tata kelola pemerintahan yang transparan, yang secara langsung memengaruhi kepercayaan publik dan efektivitas pembangunan nasional. Di Indonesia, mekanisme pengelolaan keuangan sangat terpusat; Kementerian Keuangan (Kemenkeu) bertindak sebagai Bendahara Umum Negara, bertanggung jawab atas konsolidasi seluruh Laporan Keuangan Pemerintah Pusat (LKPP) dari berbagai Kementerian/Lembaga. Dokumen komprehensif ini merefleksikan triliunan rupiah transaksi, menjadikannya arena yang sangat rentan terhadap *fraud*, penyalahgunaan, atau anomali transaksi keuangan. Oleh karena itu, pemeriksaan atas Laporan Keuangan ini oleh Badan Pemeriksa Keuangan (BPK), yang hasilnya dirangkum dalam Laporan Hasil Pemeriksaan (LHP), memegang peranan krusial sebagai *early warning system* dan penentu akuntabilitas fiskal negara.

Dalam beberapa tahun terakhir, volume data transaksi keuangan pemerintah mengalami lonjakan eksponensial seiring dengan adopsi sistem digital (misalnya, SPAN, SAKTI). Volume yang masif ini telah melampaui kemampuan metode audit konvensional. Audit yang didasarkan pada *sampling* statistik atau pemeriksaan dokumen manual menjadi tidak efisien dan rawan error karena tidak mampu mencakup populasi transaksi secara keseluruhan. Lebih jauh lagi, anomali modern seperti kolusi atau penipuan terstruktur

cenderung muncul sebagai *local outliers* yang terselubung dalam kelompok data yang tampak normal. Keterbatasan metode *rule*-based juga terlihat: mereka hanya dapat mendeteksi pola yang sudah diketahui, sementara pola *fraud* yang baru *(zero-day fraud)* akan luput dari pengawasan. Hal ini menimbulkan urgensi untuk mengadopsi teknologi yang dapat memindai seluruh data secara cepat, akurat, dan adaptif(Kalid *et al*., 2020).

Kebutuhan akan metode yang adaptif ini mengarah pada penerapan *Machine Learning* (Pembelajaran Mesin), khususnya model *Unsupervised learning* (Pembelajaran Tanpa Pengawasan). Studi empiris di Indonesia menunjukkan bahwa pendekatan *unsupervised anomaly detection* relevan untuk mendukung pengawasan keuangan pemerintah. Salah satu di antaranya (Zulfikar *et al*., 2023) membuktikan bahwa *Isolation Forest* efektif dalam mengidentifikasi transaksi tidak wajar pada belanja barang persediaan pemerintah pusat, meskipun penerapannya masih terbatas pada satu algoritma dan satu jenis akun belanja. Metode *unsupervised* menjadi solusi yang paling realistis karena masalah utama dalam audit adalah keterbatasan data berlabel (labeled data). Sebagian besar transaksi dalam LKPP tidak dilabeli sebagai *fraud,* dan label anomali yang ada hanya terbatas pada temuan spesifik di LHP. Jurnal ilmiah bereputasi, seperti studi (Karnavou *et al*., 2025) yang diterbitkan dalam *Expert Systems With Applications*, telah memvalidasi efektivitas pendekatan ini dalam mengungkap aktivitas ilegal di sektor keuangan komersial, di mana *labeled data* juga merupakan tantangan(Zhang *et al*., 2022).

Efektivitas prinsip *Unsupervised learning* tidak menjamin kinerja algoritma yang optimal, karena hal tersebut sangat bergantung pada karakteristik data. Penelitian ini memfokuskan perbandingan pada dua algoritma paling populer dengan mekanisme kerja yang kontras: *Isolation Forest* (IF), yang unggul dalam kecepatan dan memisahkan anomali berdasarkan fitur, dan *Local Outlier Factor* (LOF), yang sangat sensitif terhadap *local outliers* berdasarkan kepadatan data di lingkungan terdekatnya.

Kontekstualisasi menjadi celah utama dalam penelitian, sebab perbandingan antara IF dan LOF sebagian besar dilakukan pada data dari domain kartu kredit maupun *e-commerce*. Data LHP LKPP memiliki sifat yang unik (dimensi tinggi dari kode akun, sifat kategori transaksi terikat anggaran, dan pola waktu yang terpusat). Oleh karena itu, belum ada kesimpulan definitif mengenai algoritma mana yang paling optimal baik dari sisi akurasi deteksi maupun efisiensi komputasi untuk skema keuangan Pemerintah Pusat di Indonesia.

Penelitian ini bertujuan mengisi celah yang ada dengan tidak hanya membandingkan kinerja IF dan LOF pada data LHP BPK, tetapi juga menguji hipotesis bahwa rekayasa fitur yang kontekstual terhadap data audit seperti fitur temporal dan frekuensi pasangan rekening dapat meningkatkan performa algoritma, khususnya metode berbasis kepadatan seperti LOF. Melalui analisis komparatif yang ketat menggunakan metrik *AUC-ROC* dan *Recall* , penelitian ini bertujuan menyediakan rekomendasi model yang paling handal. Kontribusi ini diharapkan dapat memperkuat fungsi pengawasan BPK dan Kementerian

Keuangan dengan menyediakan alat bantu yang proaktif dan efisien dalam memitigasi risiko keuangan negara.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan pendahuluan di atas, maka perumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana data transaksi keuangan pemerintah pusat dalam LHP LKPP Tahun 2023 dan 2024 dapat direkonstruksi menjadi dataset terstruktur yang siap diolah oleh algoritma *Machine Learning*?
2. Bagaimana proses *Preprocessing* dan Rekayasa Fitur *(Feature Engineering)* yang tepat dapat diterapkan untuk meningkatkan kualitas data serta mengoptimalkan kinerja algoritma deteksi anomali?
3. Bagaimana algoritma *Isolation Forest* (IF) dan *Local Outlier Factor* (LOF) bekerja dalam mendeteksi anomali pada dataset transaksi keuangan hasil rekonstruksi dan rekayasa fitur?
4. Bagaimana perbandingan kinerja kedua algoritma tersebut berdasarkan metrik *AUC-ROC*, *Recall*, *F1-Score*, serta efisiensi waktu komputasi pada konteks audit keuangan pemerintah?
5. Algoritma manakah yang paling optimal dan layak direkomendasikan sebagai model deteksi anomali untuk mendukung analisis audit transaksi keuangan pemerintah pusat?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merekonstruksi data transaksi keuangan dari LHP LKPP Tahun 2023 dan 2024 menjadi dataset terstruktur yang dapat dianalisis oleh algoritma *Machine Learning*
2. Menerapkan tahapan *preprocessing* dan rekayasa fitur (*feature engineering*) yang meliputi pembersihan data, normalisasi, *encoding* fitur kategorikal, transformasi numerik, serta reduksi dimensi menggunakan *Truncated Singular Value Decomposition (TruncatedSVD)* untuk mengoptimalkan proses deteksi anomali.
3. Mengimplementasikan algoritma *Isolation Forest* dan *Local Outlier Factor* pada dataset hasil rekayasa fitur guna menghasilkan skor anomali dan prediksi *outlier*.
4. Mengevaluasi dan membandingkan kinerja kedua algoritma menggunakan metrik *AUC-ROC*, *Recall*, *F1-Score*, serta waktu komputasi untuk menilai efektivitas dan efisiensinya.
5. Menentukan model deteksi anomali yang paling optimal sebagai rekomendasi untuk mendukung analisis audit dan pengawasan keuangan pemerintah pusat.

D. Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan fokus, terdapat beberapa batasan yang diterapkan, yaitu:

1. Data yang digunakan adalah data sekunder resmi yang diambil dari dokumen Laporan Hasil Pemeriksaan atas Laporan Keuangan Pemerintah Pusat Tahun 2023 dan 2024 yang diterbitkan oleh Badan Pemeriksa Keuangan Republik Indonesia (BPK RI), Dokumen tersebut diunduh melalui situs resmi BPK pada tautan: https://www.bpk.go.id/lkpp Data pada dokumen tersebut tidak disajikan dalam bentuk transaksi individual, sehingga penelitian ini melakukan rekonstruksi dataset berdasarkan struktur belanja, pola realisasi anggaran, serta indikasi penyimpangan yang dijelaskan dalam LHP LKPP. Hasil rekonstruksi kemudian dikonversi ke format CSV agar dapat diproses oleh algoritma *Machine Learning.*
2. Penelitian ini hanya menggunakan dua algoritma deteksi anomali berbasis *Unsupervised learning*, yaitu *Isolation Forest* (IF) dan *Local Outlier Factor* (LOF). Pemilihan kedua algoritma ini didasarkan pada karakteristik data audit keuangan yang kompleks, serta perbedaan mekanisme deteksi antara model berbasis pemisahan pohon dan model berbasis kepadatan lokal.
3. Penelitian dilakukan dalam konteks analisis model (offline analysis), sehingga tidak mencakup pengembangan sistem deteksi anomali real-time, integrasi dengan SPAN/SAKTI, ataupun implementasi dalam lingkungan operasional Kementerian Keuangan atau BPK RI.

4. Validasi performa model dilakukan menggunakan label *Is_Anomaly* hasil rekonstruksi berbasis temuan audit dalam LHP LKPP. Label tersebut digunakan sebagai acuan evaluasi melalui metrik *AUC-ROC, Recall, F1-Score,* dan efisiensi waktu komputasi. Label *Is_Anomaly* tidak digunakan dalam proses pelatihan model, melainkan hanya sebagai acuan evaluasi kinerja (post-hoc evaluation).
5. Ruang lingkup *Preprocessing* mencakup pembersihan data (cleaning), *encoding* fitur kategorikal, normalisasi nilai numerik, dan rekayasa fitur kontekstual audit, tetapi tidak mencakup optimasi hiperparameter tingkat lanjut atau penggunaan teknik *ensemble* di luar cakupan IF dan LOF.
6. Penelitian tidak membahas aspek hukum, administratif, ataupun kebijakan fiskal, melainkan berfokus pada pemanfaatan pendekatan *Machine Learning* untuk mengidentifikasi pola anomali dalam data audit keuangan.

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki potensi manfaat yang sangat besar, terutama dalam era informasi yang semakin cepat dan mudah diakses seperti sekarang ini. Berikut adalah beberapa manfaat umum yang dapat diperoleh :

1. Manfaat Teoretis:
    a. Memberikan kontribusi dan referensi dalam bidang *Machine Learning* dan *Data Mining*, khususnya mengenai perbandingan implementasi algoritma *unsupervised* (*Isolation Forest* dan LOF) pada data yang kompleks dan *unbalanced* di sektor publik.

b. Menyajikan kerangka kerja Rekayasa Fitur yang efektif untuk data transaksi keuangan pemerintah, yang dapat digunakan sebagai landasan studi lanjutan oleh peneliti lain

2. Manfaat Praktis:

a. Menyediakan rekomendasi model deteksi anomali yang paling optimal dan efisien bagi Badan Pemeriksa Keuangan (BPK) dan instansi pengawas keuangan (seperti Kementerian Keuangan), sebagai alat bantu canggih untuk mengidentifikasi potensi anomali dengan lebih cepat dan akurat.

b. Meningkatkan efisiensi proses audit dengan mengurangi waktu pemeriksaan dan memungkinkan auditor memfokuskan sumber daya pada transaksi yang memiliki skor anomali tinggi

F. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tesis ini adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat penelitian terdahulu, landasan teori terkait deteksi anomali, audit keuangan pemerintah, serta algoritma *Isolation Forest* dan *Local Outlier Factor*.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tahapan penelitian, sumber dan karakteristik data, teknik pengumpulan data, metode *preprocessing*, rekayasa fitur, reduksi dimensi, serta metode pemodelan dan evaluasi.

BAB IV : GAMBARAN UMUM OBJEK PENELITIAN

Bab ini menjelaskan gambaran umum Badan Pemeriksa Keuangan Republik Indonesia, struktur organisasi, serta konteks data audit yang digunakan dalam penelitian.

BAB V : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil pengolahan data, pemodelan deteksi anomali menggunakan IF dan LOF, evaluasi kinerja model, serta pembahasan hasil dalam konteks audit keuangan pemerintah.

BAB VI : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan penelitian dan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Mengenai "Perbandingan Kinerja *Isolation Forest* dan *Local Outlier Factor* (LOF) untuk Deteksi Anomali Transaksi Keuangan: Studi Kasus LHP LKPP" yang diselesaikan dalam waktu tiga bulan, maka peneliti dapat menarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Rekonstruksi Data Transaksi Keuangan

Data transaksi keuangan pemerintah pusat yang bersumber dari dokumen LHP LKPP Tahun 2023 dan 2024 berhasil direkonstruksi menjadi dataset terstruktur dalam format yang dapat diolah oleh algoritma Machine Learning. Proses rekonstruksi menghasilkan data yang merepresentasikan karakteristik utama transaksi, meliputi nilai transaksi, jenis belanja, instansi terkait, serta dimensi waktu, sehingga layak digunakan sebagai dasar analisis deteksi anomali.

2. Preprocessing dan Rekayasa Fitur (Feature Engineering)

Proses preprocessing yang meliputi pembersihan data, encoding fitur kategorikal, normalisasi nilai numerik, serta rekayasa fitur kontekstual audit terbukti mampu meningkatkan kualitas dan konsistensi data. Tahapan ini menghasilkan representasi data yang lebih informatif dan mendukung kinerja algoritma deteksi anomali dalam mengidentifikasi pola transaksi yang tidak wajar.

3. **Penerapan Algoritma *Isolation Forest* dan Local Outlier Factor**

   Penerapan algoritma *Isolation Forest* (IF) dan *Local Outlier Factor* (LOF) pada dataset hasil rekonstruksi dan rekayasa fitur menunjukkan bahwa kedua algoritma mampu menghasilkan skor anomali dan mengidentifikasi transaksi yang memiliki pola menyimpang. *Isolation Forest* mendeteksi anomali melalui mekanisme pemisahan berbasis pohon secara global, sedangkan *Local Outlier Factor* mendeteksi anomali berdasarkan perbedaan kepadatan data pada lingkungan lokal di sekitarnya.

4. **Perbandingan Kinerja Berdasarkan Metrik Evaluasi**

   Berdasarkan hasil evaluasi menggunakan metrik AUC-ROC, *Recall*, F1-Score, serta efisiensi waktu komputasi, *Local Outlier Factor* menunjukkan tingkat sensitivitas yang lebih tinggi dalam mendeteksi transaksi anomali, yang tercermin dari nilai *Recall* sebesar 0,2778, dibandingkan dengan *Isolation Forest* yang memiliki nilai *Recall* sebesar 0,1222. Sementara itu, *Isolation Forest* menunjukkan tingkat selektivitas dan stabilitas yang lebih tinggi, yang tercermin dari nilai *Accuracy* sebesar 0,8883 dan Precision sebesar 0,0827, dibandingkan dengan *Local Outlier Factor* yang memiliki nilai *Accuracy* sebesar 0,7089 dan Precision sebesar 0,0517.

5. **Model yang Direkomendasikan untuk Analisis Audit**

   Berdasarkan hasil pengujian kinerja, algoritma *Local Outlier Factor* (LOF) memperoleh nilai *AUC-ROC* sebesar 0,5439, *Recall* sebesar 0,2778, dan *F1-Score* sebesar 0,0871, dengan waktu pelatihan rata-rata

0,3421 detik dan waktu inferensi rata-rata 0,3406 detik. Hasil ini menunjukkan bahwa LOF lebih sesuai digunakan sebagai mekanisme penyaringan awal (*early warning system*) dalam konteks audit transaksi keuangan pemerintah karena memiliki sensitivitas yang lebih tinggi serta efisiensi waktu komputasi yang lebih baik. Sementara itu, algoritma *Isolation Forest* (IF) memperoleh nilai AUC-ROC sebesar 0,5341, *Recall* sebesar 0,1222, dan *F1-Score* sebesar 0,0987, dengan waktu pelatihan rata-rata 1,1988 detik dan waktu inferensi rata-rata 0,3505 detik. Hasil ini menunjukkan bahwa *Isolation Forest* lebih relevan digunakan sebagai tahap lanjutan yang bersifat selektif untuk memvalidasi hasil deteksi awal karena memiliki tingkat ketelitian dan stabilitas yang lebih tinggi.

B. Saran

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah diuraikan pada Bab V, penelitian ini memberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. Saran Metodologis

   Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan pendekatan metodologis yang lebih lanjut, seperti optimasi hiperparameter atau penggunaan metode *ensemble anomaly detection*. Pengembangan ini diharapkan dapat meningkatkan keseimbangan antara sensitivitas dan presisi deteksi anomali, khususnya pada data audit keuangan yang bersifat kompleks dan tidak seimbang.

2. Saran Terkait Data

Dataset hasil rekonstruksi yang digunakan dalam penelitian ini dibangun berdasarkan data riil yang tercantum dalam dokumen LHP LKPP Tahun 2023 dan 2024. Namun, karena data transaksi individual tidak disajikan secara langsung dalam dokumen tersebut, proses rekonstruksi masih bergantung pada struktur belanja dan pola temuan audit. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan penggunaan data transaksi individual atau integrasi dengan sistem informasi keuangan pemerintah untuk meningkatkan validitas eksternal dan generalisasi model.

3. Saran Implementasi dan Pengembangan GUI

Model deteksi anomali yang dikembangkan dalam penelitian ini berpotensi diintegrasikan sebagai *early warning system* dalam proses audit keuangan pemerintah, khususnya pada tahap perencanaan audit dan penentuan prioritas pemeriksaan. Untuk meningkatkan kemudahan penggunaan dan adopsi oleh auditor, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan antarmuka pengguna grafis (Graphical User Interface/GUI) yang menampilkan hasil analisis secara interaktif. GUI tersebut dapat dirancang untuk menyajikan informasi seperti daftar transaksi dengan skor anomali tertinggi, visualisasi distribusi anomali dalam bentuk grafik atau *dashboard*, serta fitur penyaringan (*filtering*) berdasarkan instansi, jenis belanja, dan periode waktu. Pengembangan GUI yang terintegrasi dengan sistem informasi keuangan pemerintah, seperti SPAN atau SAKTI, serta disesuaikan dengan alur kerja audit yang berlaku, diharapkan dapat memberikan nilai tambah yang optimal dalam

mendukung pengambilan keputusan audit secara cepat, transparan, dan berbasis data.

DAFTAR PUSTAKA

Adejoh, J., Owoh, N., Ashawa, M., Hosseinzadeh, S., Shahrabi, A., & Mohamed, S. (2025). An Adaptive *Unsupervised learning* Approach for *Credit Card Fraud* Detection. *Big Data and Cognitive Computing*, *9*(9). https://doi.org/10.3390/bdcc9090217

Adesh, A., G, S., Shetty, J., & Xu, L. (2024). *Local Outlier Factor* for *anomaly detection* in HPCC systems. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, *192*. https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2024.104923

Ahmed, K. H., Axelsson, S., Li, Y., & Sagheer, A. M. (2025). A *Credit Card fraud* detection approach based on *ensemble Machine Learning classifier* with *hybrid* data *sampling* . *Machine Learning with Applications*, *20*, 100675. https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2025.100675

Almalki, A. J. (2024). *Unsupervised learning* With *Hybrid* Models for Detecting Electricity Theft in Smart Grids. *IEEE Access*, *12*, 187027–187040. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3498733

Altaf, I., & Chachoo, M. A. (2025). Advances in Density-Based *Outlier* Detection Algorithms: Exploration of LOF with Experimental Analysis. *Procedia Computer Science*, *258*, 1833–1843. https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.04.435

Arcudi, A., Frizzo, D., Masiero, C., & Susto, G. A. (2024). Enhancing interpretability and generalizability in extended *Isolation Forest*s. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, *138*. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.109409

Byrapu Reddy, S. R., Kanagala, P., Ravichandran, P., Pulimamidi, D. R., Sivarambabu, P. V., & Polireddi, N. S. A. (2024). Effective *fraud* detection in e-commerce: Leveraging *Machine Learning* and big data analytics. *Measurement: Sensors*, *33*. https://doi.org/10.1016/j.measen.2024.101138

Cedric, C. A., & Ould-Slimane, H. (2025). Towards effective and robust bank *fraud* detection thanks to *Machine Learning*. *Procedia Computer Science*, *265*, 25–32. https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.07.152

Coil, C., Faber, K., Sniezynski, B., & Corizzo, R. (2025). Distance-based change point detection for novelty detection in concept-agnostic continual *anomaly detection*.

Journal of Intelligent Information Systems. https://doi.org/10.1007/s10844-025-00949-1

El-Enen, M. A. A., Tbaishat, D., Sahlol, A. T., Nazir, A., Almaymun, K., Abdulrazek, M., Muhammad, R., Adlan, F., & Sharma, R. (2024). *Fraud* Detection in Medical Insurance Claims Using Majority *Voting* of Multiple *Unsupervised* Algorithms. *Procedia Computer Science*, *244*, 9–22. https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.10.173

Fu, B., Tong, Y., Li, Y., Tang, Z., Shang, Z., & Li, A. (2025). Financial *Fraud Anomaly detection* of Listed Companies Based on Probabilistic Perspective *Machine Learning* Models. *Procedia Computer Science*, *266*, 979–986. https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.08.121

Gałka, Ł. (2025). Optimized Deep *Isolation Forest*. *Pattern Recognition Letters*, *197*, 88–94. https://doi.org/10.1016/j.patrec.2025.07.014

Horyn, C., & Nowak-Brzezinska, A. (2023). Detecting *outlier*s in *rule*-based knowledge bases using Self-Organizing Map and *Local Outlier Factor* algorithms. *Procedia Computer Science*, *225*, 2116–2125. https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.10.202

Jiang, S., Dong, R., Wang, J., & Xia, M. (2023). *Credit Card Fraud* Detection Based on *Unsupervised* Attentional *Anomaly detection* Network. *Systems*, *11*(6). https://doi.org/10.3390/systems11060305

Jiang, Y., Shu, H., & Zhang, J. (2024). *Local Outlier Factor* based condition monitoring for sub-module capacitors in modular multilevel converters. *Electric Power Systems Research*, *231*. https://doi.org/10.1016/j.epsr.2024.110306

Jindal, K., Sharma, K., Tomar, M., & Reddy, S. R. N. (2024). Harnessing AWS for Transaction Monitoring: A Comprehensive Study on Cloud-Based *Anomaly detection*. *International Journal of Innovative Science and Research Technology (IJISRT)*, 2334–2343. https://doi.org/10.38124/ijisrt/ijisrt24oct1204

Kalid, S. N., Ng, K. H., Tong, G. K., & Khor, K. C. (2020). A Multiple *Classifier*s System for *Anomaly detection* in *Credit Card* Data with Unbalanced and Overlapped Classes. *IEEE Access*, *8*, 28210–28221. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2972009

Karnavou, E., Cascavilla, G., Marcelino, G., & Geradts, Z. (2025). I know you're a *fraud*: Uncovering illicit activity in a Greek bank transactions with *Unsupervised learning*. *Expert Systems with Applications*, *288*. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2025.128148

Kennedy, R. K. L., Salekshahrezaee, Z., Villanustre, F., & Khoshgoftaar, T. M. (2023). Iterative cleaning and learning of big highly-*imbalanced fraud* data using *Unsupervised learning*. *Journal of Big Data*, *10*(1). https://doi.org/10.1186/s40537-023-00750-3

Li, M., Ying, Z., Li, G., Zhou, M., & He, J. (2025). *Unsupervised anomaly detection* with memory bank and contrastive learning. *Array*, *28*, 100548. https://doi.org/10.1016/j.array.2025.100548

Luan, S., Gu, Z., Freidovich, L. B., Jiang, L., & Zhao, Q. (2021a). Out-of-Distribution Detection for *Deep Neural Networks* with *Isolation Forest* and *Local Outlier Factor*. *IEEE Access*, *9*, 132980–132989. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3108451

Luan, S., Gu, Z., Freidovich, L. B., Jiang, L., & Zhao, Q. (2021b). Out-of-Distribution Detection for *Deep Neural Networks* with *Isolation Forest* and *Local Outlier Factor*. *IEEE Access*, *9*, 132980–132989. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3108451

Mattera, G., Mattera, R., Vespoli, S., & Salatiello, E. (2025). *Anomaly detection* in manufacturing systems with temporal networks and *unsupervised Machine Learning*. *Computers and Industrial Engineering*, *203*. https://doi.org/10.1016/j.cie.2025.111023

Nalatissifa, H., Gata, W., Diantika, S., & Nisa, K. (2021). Perbandingan Kinerja Algoritma Klasifikasi Naive Bayes, Support Vector Machine (SVM), dan *Random Forest* untuk Prediksi Ketidakhadiran di Tempat Kerja. *Jurnal Informatika Universitas Pamulang*, *5*(4), 578. https://doi.org/10.32493/informatika.v5i4.7575

Nowak-Brzezinska, A., & Horyn, C. (2021). *Outlier*s in Covid 19 data based on *Rule* representation - The analysis of LOF algorithm. *Procedia Computer Science*, *192*, 3010–3019. https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.09.073

Putra, P. P., Anam, M. K., Chan, A. S., Hadi, A., Hendri, N., & Masnur, A. (2025). Optimizing Sentiment Analysis on *Imbalanced* Hotel Review Data Using SMOTE and *Ensemble Machine Learning* Techniques. *Journal of Applied Data Sciences*, *6*(2), 936–951. https://doi.org/10.47738/jads.v6i2.618

Rakhi, Gupta, B., & Lamba, S. S. (2024). An efficient local *outlier* detection approach using kernel density estimation. *Franklin Open*, *8*. https://doi.org/10.1016/j.fraope.2024.100162

Vijayakumar, V., Divya, N. S., Sarojini, P., & Sonika, K. (n.d.). *Isolation Forest and Local Outlier Factor for Credit Card Fraud Detection System*. https://ssrn.com/abstract=3925017

Wikikamus. (2014). *kinerja — Wikikamus*, . https://id.wiktionary.org/w/index.php?title=kinerja&oldid=729148

Wikipedia. (2025). *Studi kasus — Wikipedia, Ensiklopedia Bebas*. https://id.wikipedia.org/w/index.php?title=Studi_kasus&oldid=28081954

Wikipedia contributors. (2025). *Comparative (disambiguation) — Wikipedia, The Free Encyclopedia*. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Comparative_(disambiguation)&oldid=1281925935

Yang, H., Li, S., Tu, L., Ma, R., & Chen, Y. (2022). *Unsupervised Outlier* Detection Mechanism for Tea Traceability Data. *IEEE Access*, *10*, 94818–94831. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3204760

Zhang, Y. F., Lu, H. L., Lin, H. F., Qiao, X. C., & Zheng, H. (2022). The Optimized *Anomaly detection* Models Based on an Approach of Dealing with *Imbalanced* Dataset for *Credit Card Fraud* Detection. *Mobile Information Systems*, *2022*. https://doi.org/10.1155/2022/8027903

Zheng, J., Hawkin, J., Robertson, C., Howse, A., Chen, Y., Jiang, X., Verafin, ‡, & Labrador, C. (2023). *The 36th Canadian Conference on Artificial Intelligence Unsupervised Financial Fraud Detection Using Low-rank Recovery*. https://donernesto.github.io/blog/*outlier*-detection-mad/

Zulfikar, A., Rahmani, F. A., & Azizah, N. (2023). *Deteksi anomali menggunakan Isolation Forest belanja barang persediaan konsumsi pada satuan kerja Kepolisian Republik Indonesia*. **Jurnal Manajemen Perbendaharaan, 4**(1), 1–15. https://doi.org/10.33105/jmp.v4i1.435