

PREDIKSI KEPATUHAN WAJIB PAJAK PBB-P2 BERBASIS KECERDASAN BUATAN DENGAN ALGORITMA GRADIENT BOOSTING PADA BADAN PENDAPATAN DAERAH KABUPATEN BADUNG

Caca Natasya Sugiana[✉], I Putu Oka Wisnawa, Ni Gusti Ayu Putu Harry Saptarini

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Perangkat Lunak, Jurusan Teknologi Informasi,
Politeknik Negeri Bali, Badung, Indonesia

Email: cacanatasyasu@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.46880/jmika.Vol10No1.pp234-243>

ABSTRACT

Rural and Urban Land and Building Tax (PBB-P2) is one of the main sources of Regional Original Revenue (PAD) and plays an important role in supporting regional development and public services. However, low taxpayer compliance often causes regional tax revenues to fall below the expected targets. Conventional and reactive tax management approaches limit the ability of local governments to identify potential non-compliant taxpayers at an early stage. Therefore, the implementation of data-driven approaches using machine learning has become increasingly relevant in supporting more effective tax administration. This study aims to develop a prediction model for PBB-P2 taxpayer compliance using the Extreme Gradient Boosting (XGBoost) algorithm based on historical tax payment data obtained from the Regional Revenue Agency (BAPENDA) of Badung Regency. The research process included data preprocessing, handling missing values and duplicate data, feature transformation, splitting the dataset into training and testing sets with a ratio of 70:30, hyperparameter tuning, model training, and model evaluation using precision, recall, F1-score, and confusion matrix metrics. The results showed that the best XGBoost model achieved an F1-Macro score of 0.7108 using a learning_rate of 0.2, max_depth of 12, n_estimators of 400, min_child_weight of 1, subsample of 0.8, and gamma of 0. The most influential variables in predicting taxpayer compliance were District Code, Village Code, Block Code, and Principal Payment Amount. These findings indicate that the XGBoost algorithm provides good classification performance in predicting taxpayer compliance and has the potential to support local governments in developing more proactive, targeted, and data-driven tax management strategies.

Keyword: PBB-P2, Taxpayer Compliance, XGBoost, Machine Learning, Artificial Intelligence.

ABSTRAK

Pajak Bumi dan Bangunan Perdesaan dan Perkotaan (PBB-P2) merupakan sumber penting Pendapatan Asli Daerah (PAD), namun kepatuhan wajib pajak belum optimal, sehingga penerimaan pajak daerah tidak selalu mencapai target. Pengelolaan kepatuhan wajib pajak yang masih bersifat konvensional mendorong perlunya pendekatan berbasis Artificial Intelligence (AI) dan machine learning untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih proaktif dan berbasis data. Penelitian ini menggunakan algoritma Extreme Gradient Boosting (XGBoost) untuk memprediksi tingkat kepatuhan wajib pajak PBB-P2 berdasarkan data historis perpajakan. Tahapan penelitian meliputi preprocessing data, pembagian dataset training dan testing dengan rasio 70:30, pelatihan model, tuning hyperparameter, dan evaluasi model menggunakan precision, recall, F1-score, dan confusion matrix. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model terbaik menghasilkan nilai F1-Macro sebesar 0.7108 dengan konfigurasi learning_rate 0.2, max_depth 12, n_estimators 400, min_child_weight 1, subsample 0.8, dan gamma 0. Variabel yang paling berpengaruh dalam prediksi meliputi Kode Kecamatan, Jumlah Bayar Pokok, dan Kode Kelurahan. Model XGBoost mampu memberikan performa klasifikasi yang cukup baik dalam mendukung identifikasi kepatuhan wajib pajak PBB-P2 secara lebih efektif.

Kata Kunci: PBB-P2, Kepatuhan Wajib Pajak, XGBoost, Machine Learning, Artificial Intelligence.

PENDAHULUAN

Pajak merupakan salah satu sumber utama pendapatan negara dan daerah yang digunakan untuk mendukung pembangunan dan layanan publik (Reyvani et al., 2024). Dalam era otonomi daerah,

Pajak Bumi dan Bangunan Perdesaan dan Perkotaan (PBB-P2) menjadi salah satu komponen penting Pendapatan Asli Daerah (PAD) karena memiliki kontribusi signifikan terhadap pembiayaan pembangunan daerah (Akib et al., 2023). Selain



memiliki potensi penerimaan yang relatif stabil, PBB-P2 juga berperan penting dalam mendukung pendanaan pembangunan dan pelayanan publik daerah (Nikmatika et al., 2024)

Namun, penerimaan PBB-P2 di berbagai daerah masih menghadapi kendala akibat rendahnya tingkat kepatuhan wajib pajak. Kondisi tersebut menyebabkan target penerimaan pajak daerah belum sepenuhnya tercapai (Bapenda Badung, 2025). Rendahnya kepatuhan wajib pajak dapat meningkatkan tunggakan pajak dan menurunkan efektivitas penerimaan daerah (Revolian, 2024). Selain itu, pengelolaan kepatuhan wajib pajak yang masih bersifat konvensional dan reaktif menyebabkan pemerintah daerah belum mampu mengidentifikasi potensi ketidakpatuhan secara dini.

Permasalahan tersebut menjadi semakin kompleks karena data PBB-P2 memiliki volume besar dan hubungan antarvariabel yang kompleks sehingga membutuhkan pendekatan analisis berbasis data yang lebih adaptif. Perkembangan Artificial Intelligence (AI) dan machine learning memberikan peluang untuk meningkatkan efektivitas pengelolaan perpajakan daerah melalui model prediksi berbasis data historis. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan algoritma Extreme Gradient Boosting (XGBoost) untuk memprediksi tingkat kepatuhan wajib pajak PBB-P2 guna mendukung pengelolaan perpajakan daerah yang lebih proaktif dan berbasis data.

Perkembangan Artificial Intelligence (AI) dan machine learning memberikan peluang baru dalam pengelolaan perpajakan berbasis data. Machine learning mampu mempelajari pola dari data historis dan menghasilkan model prediksi untuk mengidentifikasi perilaku wajib pajak di masa mendatang. Salah satu algoritma yang memiliki performa tinggi dalam pengolahan data tabular adalah Extreme Gradient Boosting (XGBoost), yang dikenal mampu menangani data berskala besar serta hubungan antarvariabel yang kompleks.

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa XGBoost memiliki kemampuan klasifikasi dan generalisasi yang baik pada data berbasis prediksi. Namun, sebagian besar penelitian terkait kepatuhan wajib pajak masih menggunakan pendekatan deskriptif atau statistik konvensional. Oleh karena itu, penelitian ini menerapkan algoritma XGBoost untuk memprediksi tingkat kepatuhan wajib pajak PBB-P2 berbasis data historis perpajakan. Selain membangun model prediksi, penelitian ini juga melakukan analisis feature importance untuk mengidentifikasi variabel yang paling berpengaruh terhadap kepatuhan wajib pajak.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model prediksi kepatuhan wajib pajak PBB-P2 berbasis Artificial Intelligence menggunakan algoritma XGBoost. Hasil penelitian diharapkan dapat membantu pemerintah daerah dalam menentukan strategi penagihan dan sosialisasi perpajakan yang lebih tepat sasaran serta mendukung pengelolaan perpajakan daerah yang lebih proaktif dan berbasis data.

TINJAUAN PUSTAKA

Pajak Daerah dan Kepatuhan Pajak

Pajak daerah merupakan sumber pendapatan utama bagi pemerintah daerah, yang digunakan untuk mendorong pertumbuhan dan administrasi daerah. Tanpa memberikan imbalan langsung kepada wajib pajak, pajak dipungut sesuai dengan hukum dan peraturan yang berlaku (Fatma & Najicha, 2022). Karena berfungsi sebagai tolak ukur tingkat kemandirian fiskal suatu wilayah dalam mendanai layanan publik dan kebutuhan ekonomi, pajak daerah memainkan fungsi strategis (Akib et al., 2023).

Kepatuhan pajak daerah menunjukkan kesiapan dan kemampuan wajib pajak untuk memenuhi tanggung jawab pajaknya sesuai dengan peraturan yang berlaku. Kepatuhan ini mencakup kepatuhan formal, seperti pembayaran pajak tepat waktu, di samping kepatuhan substantif terkait kebenaran perhitungan pajak dan pembayaran pajak terutang. Tingkat kepatuhan wajib pajak berfungsi sebagai metrik penting untuk mengevaluasi efisiensi administrasi pajak daerah.

Rendahnya tingkat kepatuhan pajak daerah dapat berdampak pada tidak tercapainya target penerimaan pajak, sehingga menghambat pelaksanaan pembangunan daerah. Faktor-faktor yang memengaruhi kepatuhan pajak antara lain pemahaman wajib pajak terhadap regulasi perpajakan, kesadaran terhadap pentingnya pajak bagi pembangunan, kualitas pelayanan perpajakan, serta efektivitas sistem administrasi pajak yang diterapkan pemerintah daerah (Iqbal, 2025). Selain itu, penelitian (Zaikin et al., 2022) menunjukkan bahwa memahami pajak dan interaksi sosial sangat memengaruhi kepatuhan wajib pajak dengan meningkatkan kesadaran pajak.

Oleh karena itu, peningkatan kepatuhan pajak daerah memerlukan pendekatan yang berkelanjutan dan terintegrasi, baik melalui penyempurnaan regulasi maupun pemanfaatan teknologi informasi. Pendekatan berbasis data dinilai mampu membantu pemerintah daerah dalam mengidentifikasi pola kepatuhan wajib pajak dan mendukung penyusunan strategi peningkatan penerimaan pajak secara lebih efektif.

Pajak Bumi dan Bangunan Perdesaan dan Perkotaan (PBB-P2) dan Sistem Informasi Pajak Daerah

Pajak Bumi dan Bangunan Perdesaan dan Perkotaan (PBB-P2) adalah pajak atas properti dan/atau bangunan yang dimiliki, diawasi, dan digunakan oleh orang atau perusahaan. Jenis pajak ini memainkan peran penting dalam Pendapatan Asli Daerah (PAD), yang membantu mendanai pembangunan daerah setelah pengelolaan PBB-P2 oleh pemerintah kabupaten/kota. (Febriyani et al., 2025).

Pengelolaan PBB-P2 mencakup berbagai proses administrasi seperti pendataan objek dan subjek pajak, penilaian Nilai Jual Objek Pajak (NJOP), penetapan pajak terutang, penagihan, hingga pelaporan penerimaan pajak. Kompleksitas proses tersebut membutuhkan sistem informasi yang mampu mengelola data pajak secara terintegrasi, akurat, dan berkelanjutan.

Untuk mendukung pengelolaan pajak daerah, pemerintah memanfaatkan berbagai sistem informasi seperti Sistem Informasi Pemerintahan Daerah (SIPD) maupun sistem operasional pajak daerah seperti SIM-PBB. Sistem informasi tersebut digunakan untuk mendukung pencatatan dan pengelolaan data perpajakan secara terkomputerisasi sehingga meningkatkan efisiensi dan transparansi administrasi perpajakan.

Meskipun demikian, pemanfaatan sistem informasi pajak daerah masih cenderung terbatas pada fungsi administratif dan pelaporan. Pengintegrasian teknologi Artificial Intelligence (AI) dan machine learning ke dalam sistem perpajakan daerah berpotensi meningkatkan kemampuan pemerintah daerah dalam mendeteksi wajib pajak yang berisiko tidak patuh serta mendukung pengambilan keputusan strategis terkait optimalisasi penerimaan PBB-P2.

Konsep Prediksi dalam Machine Learning

Prediksi dalam machine learning merupakan proses mempelajari pola dari data historis untuk memperkirakan hasil pada data baru yang belum pernah diproses sebelumnya. Prediksi menjadi salah satu tujuan utama supervised learning, yaitu pendekatan pembelajaran mesin yang menggunakan data input dan output yang telah diketahui untuk membangun model prediktif.

Salah satu metode peramalan yang banyak digunakan adalah klasifikasi, yang melibatkan pengorganisasian data ke dalam kategori-kategori berbeda sesuai dengan pola karakteristik atau fitur yang dimilikinya. Dalam studi ini, klasifikasi digunakan untuk menilai tingkat kepatuhan wajib pajak dengan

mengkategorikan mereka sebagai patuh atau tidak patuh berdasarkan data pajak sebelumnya.

Machine learning memiliki keunggulan dibandingkan pendekatan statistik tradisional karena mampu menangani data berukuran besar, kompleks, serta memiliki hubungan nonlinier antarvariabel. Selain itu, model machine learning dapat dioptimalkan menggunakan berbagai teknik seperti cross-validation, feature selection, dan hyperparameter tuning sehingga mampu meningkatkan akurasi dan stabilitas hasil prediksi.

Penerapan model prediksi berbasis machine learning dapat membantu pemerintah daerah dalam mendukung pengambilan keputusan berbasis data (data-driven decision making). Model prediktif memungkinkan pemerintah untuk mengidentifikasi pola kepatuhan wajib pajak secara lebih cepat dan menyusun strategi penagihan pajak yang lebih efektif.

Algoritma Extreme Gradient Boosting (XGBoost)

Extreme Gradient Boosting (XGBoost) adalah algoritma machine learning yang menggunakan ensemble learning dan merupakan bagian dari kategori Gradient Boosting Decision Tree (GBDT). Algoritma ini diciptakan untuk meningkatkan kinerja model melalui pengoptimalan kecepatan komputasi, akurasi prediksi, dan kemampuan generalisasi dengan menggabungkan regularisasi ke dalam proses pembelajaran model.

XGBoost beroperasi dengan membangun model secara bertahap atau iteratif, di mana setiap model baru mengatasi kesalahan model sebelumnya. Penelitian ini menggunakan algoritma XGBoost untuk memprediksi tingkat kepatuhan wajib pajak PBB-P2 menggunakan data pembayaran pajak masa lalu.

Model prediksi pada XGBoost secara umum dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\hat{y}_i = \sum_{k=1}^K f_k(x_i)$$

XGBoost mengoptimalkan objective function yang terdiri dari loss function dan regularization term:

$$\mathcal{L} = \sum_{i=1}^n l(y_i, \hat{y}_i) + \sum_{k=1}^K \Omega(f_k)$$

Fungsi regularisasi pada XGBoost dirumuskan sebagai berikut:

$$\Omega(f) = \gamma T + \frac{1}{2} \lambda \sum_{j=1}^T w_j^2$$

fungsi objektif sehingga proses pelatihan model menjadi lebih stabil dan cepat dibandingkan metode boosting konvensional.

Beberapa keunggulan utama XGBoost antara lain memiliki performa tinggi, mendukung regularisasi, mampu menangani data berskala besar, serta efektif dalam memodelkan hubungan nonlinier antarvariabel. Oleh karena itu, algoritma ini dipilih dalam penelitian untuk membangun model prediksi kepatuhan wajib pajak PBB-P2.

Evaluasi Model

Tahap penting dalam machine learning adalah evaluasi model, yang menilai efektivitas model prediktif dalam mengkategorikan data. Evaluasi dilakukan untuk mengukur seberapa baik model dapat menyelaraskan data uji dengan label sebenarnya.

Salah satu teknik penilaian yang sering digunakan adalah confusion matrix, yaitu tabel yang membandingkan prediksi model dengan hasil sebenarnya. Confusion matrix terdiri dari True Positive (TP), True Negative (TN), False Positive (FP), dan False Negative (FN). Berbagai metrik evaluasi dapat dihitung berdasarkan elemen-elemen ini.

Precision mengukur seberapa akurat model memprediksi kelas positif:

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

Recall mengukur kemampuan model untuk mengidentifikasi semua data positif:

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

F1-score merupakan rata-rata harmonis antara precision dan recall:

$$F1-Score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

Kinerja model dalam membedakan kelas positif dan negatif di berbagai ambang batas keputusan dievaluasi menggunakan ROC-AUC. Semakin dekat nilainya ke 1, semakin efektif kemampuan klasifikasi model tersebut.

Dalam penelitian ini, seluruh metrik evaluasi digunakan untuk menilai performa model XGBoost

dalam mengklasifikasikan tingkat kepatuhan wajib pajak PBB-P2 ke dalam kategori patuh dan tidak patuh.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode prediksi berbasis machine learning untuk menganalisis tingkat kepatuhan wajib pajak Pajak Bumi dan Bangunan Perdesaan dan Perkotaan (PBB-P2). Pendekatan kuantitatif dipilih karena penelitian berfokus pada analisis data numerik dan historis pembayaran PBB-P2 yang diperoleh dari Badan Pendapatan Daerah (BAPENDA) Kabupaten Badung. Dataset penelitian terdiri dari data historis wajib pajak yang mencakup informasi Kecamatan, Tahun Pajak, Nomor Objek Pajak (NOP), due date pembayaran, jumlah pembayaran pokok, jumlah denda, keterlambatan pembayaran, dan status kepatuhan wajib pajak.

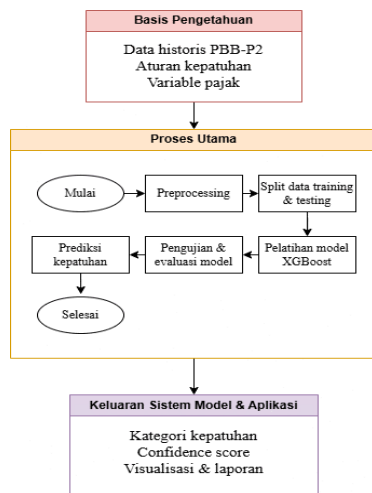
Atribut yang digunakan dalam proses pemodelan meliputi Kode Kecamatan, Kode Kelurahan, Kode Blok, Jumlah Bayar Pokok, dan Log Bayar Pokok. Variabel Kode Kecamatan, Kode Kelurahan, dan Kode Blok diperoleh melalui proses ekstraksi Nomor Objek Pajak (NOP). Pemilihan atribut tersebut didasarkan pada dugaan bahwa faktor geografis dan nominal pembayaran pajak memiliki pengaruh terhadap tingkat kepatuhan wajib pajak. Variabel target yang digunakan adalah Status Kepatuhan wajib pajak yang diklasifikasikan ke dalam dua kategori, yaitu patuh dan tidak patuh berdasarkan ketepatan waktu pembayaran PBB-P2.

Sebelum proses pelatihan model dilakukan, data terlebih dahulu melalui tahap preprocessing yang meliputi pembersihan data, penanganan missing value, penghapusan data duplikat, transformasi data, serta konversi data kategorikal ke dalam format numerik agar dapat diproses oleh algoritma machine learning. Penanganan missing value dilakukan untuk memastikan kualitas dan kelengkapan data, sedangkan penghapusan data duplikat bertujuan menghindari bias pada proses pelatihan model. Selain itu, dilakukan transformasi logaritmik pada variabel Jumlah Bayar Pokok untuk mengurangi distribusi data yang terlalu ekstrem dan meningkatkan stabilitas model prediksi.

Dataset kemudian dibagi menjadi data training dan data testing dengan rasio 70:30. Rasio tersebut dipilih karena mampu memberikan proporsi data pelatihan yang cukup besar tanpa mengurangi representasi data pengujian. Data training digunakan untuk proses pelatihan model XGBoost, sedangkan data testing digunakan untuk mengevaluasi performa model dalam memprediksi tingkat kepatuhan wajib pajak PBB-P2. Algoritma XGBoost dipilih karena

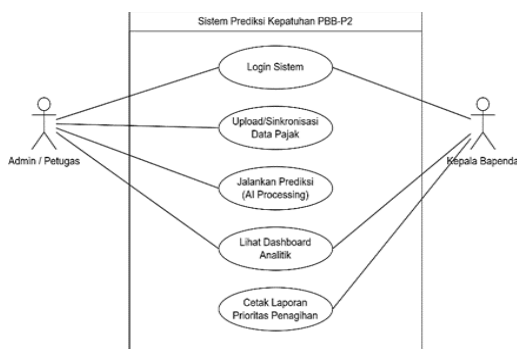
memiliki kemampuan yang baik dalam menangani data tabular, hubungan nonlinier antarvariabel, serta mampu mengurangi risiko overfitting melalui mekanisme regularisasi.

Tahapan penelitian meliputi pengumpulan data, preprocessing data, pembersihan data, penanganan missing value dan data duplikat, transformasi data, konversi data kategorikal ke format numerik, pembagian dataset menjadi data training dan testing, proses pelatihan model XGBoost, tuning hyperparameter, serta evaluasi performa model menggunakan confusion matrix dan F1-score. Penggunaan F1-score dilakukan karena metrik tersebut dinilai lebih representatif dalam mengevaluasi model klasifikasi dengan distribusi data yang tidak seimbang.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Teknik analisis data dilakukan dengan menggunakan bahasa pemrograman Python, dibantu oleh machine learning library seperti Pandas, NumPy, Scikit-learn, dan XGBoost. Model yang dibuat kemudian dinilai dengan berbagai metrik evaluasi, khususnya akurasi, presisi, recall, F1-score, dan ROC-AUC, untuk mengevaluasi kemampuan model dalam mengkategorikan tingkat kepatuhan wajib pajak ke dalam kelompok patuh dan tidak patuh.



Gambar 2. Use Case Diagram

Selain itu, model Waterfall mencakup tahapan pengumpulan persyaratan, desain sistem, implementasi, pengujian, dan pemeliharaan sistem, yang digunakan dalam penelitian ini. Sistem ini disusun dengan metodologi Unified Modeling Language (UML) untuk memberikan gambaran yang koheren tentang alur proses manajemen data dan proyeksi kepatuhan wajib pajak, yang menggabungkan use case diagram dan activity diagram.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian dan Optimasi Model XGBoost

Penelitian ini menggunakan algoritma Extreme Gradient Boosting (XGBoost) untuk membuat model prediksi kepatuhan wajib pajak terhadap Pajak Bumi dan Bangunan Perdesaan dan Perkotaan (PBB-P2). Proses pengembangan model mencakup beberapa fase: pra-pemrosesan data, pembagian dataset, pelatihan model, penyetelan hyperparameter, dan evaluasi kinerja model dengan berbagai metrik klasifikasi. Tahapan optimasi dilakukan untuk memperoleh konfigurasi model terbaik yang mampu menghasilkan performa prediksi paling optimal terhadap data kepatuhan wajib pajak.

Pada penelitian ini digunakan pendekatan klasifikasi biner dengan objective function berupa *binary:logistic*. Pemilihan objective tersebut dilakukan karena sistem klasifikasi hanya membedakan dua kategori utama, yaitu wajib pajak patuh dan tidak patuh. Selain itu, penelitian ini juga menerapkan penyesuaian bobot kelas minoritas (*class weight*) sebesar 2.2x untuk mengatasi ketidakseimbangan distribusi data antara kelas patuh dan tidak patuh. Penyesuaian bobot ini bertujuan agar model lebih sensitif dalam mendeteksi kelas minoritas sehingga mampu meningkatkan kualitas prediksi secara keseluruhan, khususnya pada metrik F1-score.

Tabel 1. Konfigurasi Hyperparameter Model Terbaik

Parameter	Nilai
Objective	binary:logistic
Gamma	0
Learning Rate	0.2
Max Depth	12
Min Child Weight	1
n_estimators	400
Subsample	0.8
Bobot Kelas Minoritas	2.2x
Skor F1-Macro Terbaik	0.7108

Berdasarkan hasil tuning hyperparameter yang dilakukan menggunakan GridSearchCV, konfigurasi

optimal diperoleh pada parameter `learning_rate` sebesar 0.2, `max_depth` sebesar 12, dan `n_estimators` sebanyak 400 pohon keputusan. Kombinasi parameter tersebut menghasilkan nilai F1-Macro tertinggi sebesar 0.7108. Pemilihan model terbaik didasarkan pada nilai F1-score karena metrik ini dinilai lebih representatif dalam mengevaluasi performa model klasifikasi dengan distribusi data yang tidak seimbang. Nilai tersebut menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan yang cukup baik dalam menyeimbangkan precision dan recall pada klasifikasi wajib pajak patuh dan tidak patuh.

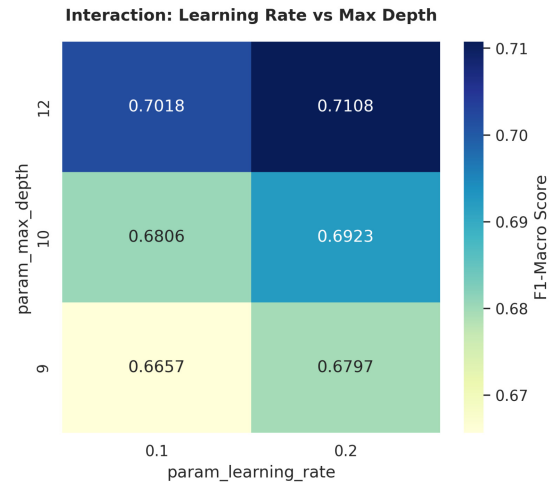
Nilai `learning_rate` sebesar 0.2 menunjukkan bahwa proses pembelajaran model berlangsung dengan kecepatan yang cukup optimal sehingga model mampu mempelajari pola data secara efektif tanpa mengalami proses pembelajaran yang terlalu lambat. Sementara itu, penggunaan `max_depth` sebesar 12 menunjukkan bahwa model mampu membangun struktur pohon keputusan yang lebih kompleks untuk menangkap hubungan nonlinier antarvariabel pada data PBB-P2. Menurut teori XGBoost, peningkatan kedalaman pohon memungkinkan model mempelajari interaksi antarfitur secara lebih detail sehingga dapat meningkatkan kemampuan prediksi terhadap data baru (Chen & Guestrin, 2016).

Selain itu, penggunaan `n_estimators` sebanyak 400 menunjukkan bahwa proses boosting dilakukan melalui kombinasi sejumlah pohon keputusan secara bertahap untuk memperbaiki kesalahan prediksi pada iterasi sebelumnya. Kombinasi parameter tersebut menghasilkan model dengan kemampuan generalisasi yang lebih baik dan performa klasifikasi yang lebih stabil pada data pengujian.

Tabel 2. Hasil Interaksi Learning Rate dan Max Depth

Max Depth	Learning Rate	
	0.1	0.2
9	0.6657	0.6797
10	0.6806	0.6923
12	0.7018	0.7108

Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa peningkatan nilai max depth memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan performa model. Pada learning rate 0.1, skor F1-Macro meningkat dari 0.6657 pada max depth 9 menjadi 0.7018 pada max depth 12. Hal serupa juga terjadi pada learning rate 0.2, di mana skor meningkat dari 0.6797 menjadi 0.7108. Hasil ini menunjukkan bahwa struktur pohon yang lebih dalam mampu menangkap pola perilaku wajib pajak secara lebih detail dan kompleks.



Gambar 3. Interaksi Learning Rate dan Max Depth

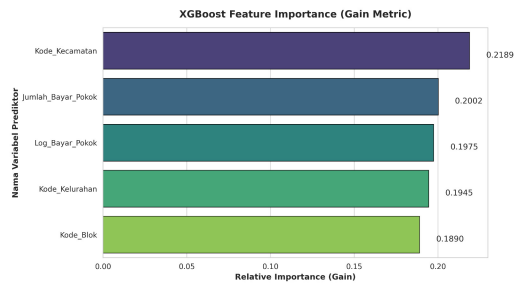
Selain itu, learning rate 0.2 secara konsisten menghasilkan performa lebih baik dibandingkan learning rate 0.1 pada seluruh variasi max depth. Hal tersebut mengindikasikan bahwa model memerlukan proses pembelajaran yang lebih agresif untuk menyesuaikan pola data kepatuhan wajib pajak yang memiliki hubungan variabel cukup kompleks dan heterogen.

Hasil optimasi model juga dievaluasi menggunakan cross-validation untuk melihat stabilitas performa model terhadap berbagai subset data pelatihan. Evaluasi sangat penting untuk memastikan model tersebut dapat secara efektif digeneralisasikan ke data baru di samping berkinerja baik pada sampel data tertentu.

Tabel 3. Stabilitas Cross Validation Top 5 Model

Rank	Rata-rata F1-Score	Karakteristik
Rank 1	0.7108	Model paling stabil dan akurat
Rank 2	0.7062	Stabil dengan variasi kecil
Rank 3	0.7019	Akurasi cukup baik
Rank 4	0.6994	Mulai mengalami penurunan performa
Rank 5	0.6974	Stabilitas lebih rendah

Berdasarkan hasil cross-validation, model peringkat pertama menunjukkan performa paling stabil dengan rata-rata F1-score sebesar 0.7108. Distribusi nilai F1-score antar fold juga relatif konsisten dan tidak menunjukkan fluktuasi yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa model tersebut memiliki kemampuan generalisasi yang kuat untuk berbagai variasi data uji.



Gambar 4. Hasil Stabilitas Cross Validation Top 5 Model

Sementara itu, model pada peringkat kedua hingga kelima menunjukkan kecenderungan penurunan performa secara bertahap. Meskipun beberapa model memiliki akurasi yang cukup tinggi, namun stabilitas antar fold tidak sebaik model peringkat pertama. Oleh karena itu, konfigurasi hyperparameter pada model peringkat pertama dipilih sebagai model final dalam penelitian ini.

Selain menilai kinerja keseluruhan model, penelitian ini juga melakukan analisis kepentingan fitur dengan memanfaatkan metrik gain dalam algoritma XGBoost. Studi ini bertujuan untuk menentukan faktor-faktor kunci yang memengaruhi kepatuhan wajib pajak PBB-P2.

Tabel 4. Feature Importance Model XGBoost

Variabel Prediktor	Nilai Gain
Kode_Kecamatan	0.2189
Jumlah_Bayar_Pokok	0.2002
Log_Bayar_Pokok	0.1975
Kode_Kelurahan	0.1945
Kode_Blok	0.1890

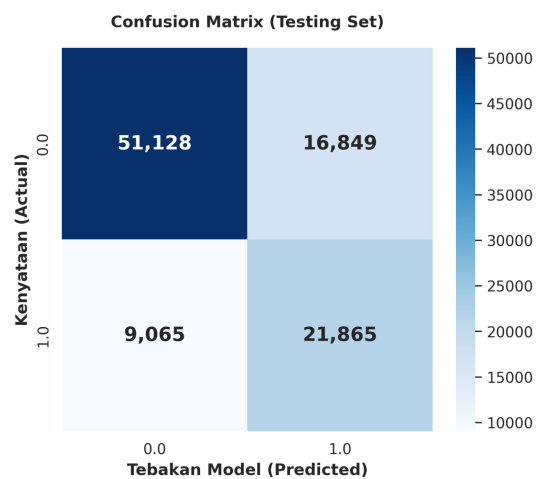
Hasil analisis pentingnya fitur menunjukkan bahwa variabel Kode Kecamatan menempati peringkat paling signifikan dalam model, mencapai nilai gain sebesar 0,2189. Temuan ini menunjukkan bahwa faktor-faktor yang berkaitan dengan wilayah geografis sangat terkait dengan tingkat kepatuhan wajib pajak. Variasi tingkat kepatuhan antar kecamatan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor termasuk pengetahuan masyarakat, situasi ekonomi lokal, kualitas layanan pajak, dan efisiensi upaya penyuluhan pajak yang dilakukan oleh pemerintah daerah.

Variabel Jumlah_Bayar_Pokok dan Log_Bayar_Pokok juga menunjukkan pengaruh yang cukup tinggi terhadap prediksi kepatuhan wajib pajak. Hal ini mengindikasikan bahwa besarnya nominal pajak memiliki hubungan erat dengan perilaku pembayaran wajib pajak. Semakin besar nilai pajak terutang, maka perilaku pembayaran wajib pajak

cenderung menunjukkan pola tertentu yang dapat dipelajari oleh model machine learning.

Selain itu, variabel Kode_Kelurahan dan Kode_Blok juga memberikan kontribusi cukup besar dalam model prediksi. Hasil ini menunjukkan bahwa karakteristik lokasi objek kena pajak memengaruhi tingkat kepatuhan pembayaran PBB-P2. Akibatnya, unsur spasial, atau posisi geografis, memainkan peran penting dalam meneliti kepatuhan wajib pajak daerah.

Evaluasi akhir model dilakukan dengan confusion matrix untuk mengukur kinerja klasifikasi model pada data uji. Berdasarkan temuan pengujian, model berhasil mengkategorikan sebagian besar data ke dalam kategori patuh dan tidak patuh.



Gambar 5. Hasil Confusion Matrix

Berdasarkan confusion matrix, model tersebut secara akurat mengidentifikasi 51.128 wajib pajak yang patuh dan 21.865 wajib pajak yang tidak patuh. Meskipun terdapat beberapa data yang tidak akurat, temuan ini menunjukkan bahwa model XGBoost mampu mendeteksi pola kepatuhan untuk wajib pajak PBB-P2.

Jumlah false negative yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan false positive menunjukkan bahwa model tersebut cukup mahir dalam mengidentifikasi wajib pajak yang mungkin tidak patuh. Hal ini penting dalam konteks pengelolaan perpajakan daerah karena kemampuan mendeteksi potensi ketidakpatuhan sejak dini dapat membantu pemerintah daerah dalam menyusun strategi penagihan dan sosialisasi yang lebih tepat sasaran.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan algoritma Extreme Gradient Boosting (XGBoost) mampu menghasilkan performa klasifikasi yang cukup baik dalam memprediksi tingkat kepatuhan wajib pajak

Pajak Bumi dan Bangunan Perdesaan dan Perkotaan (PBB-P2). Model terbaik menghasilkan nilai F1-Macro sebesar 0.7108 dengan konfigurasi hyperparameter berupa `learning_rate` 0.2, `max_depth` 12, `n_estimators` 400, `min_child_weight` 1, `subsample` 0.8, dan `gamma` 0. Nilai tersebut menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan yang cukup baik dalam menyeimbangkan `precision` dan `recall` pada klasifikasi wajib pajak patuh dan tidak patuh. Hasil ini sejalan dengan penelitian (Chen & Guestrin, 2016) yang menyatakan bahwa XGBoost memiliki kemampuan tinggi dalam menangani data tabular dengan hubungan antarvariabel yang kompleks dan nonlinier. Selain itu, (Han et al., 2011) menjelaskan bahwa metode klasifikasi berbasis machine learning mampu meningkatkan kemampuan prediksi dibandingkan pendekatan analisis konvensional. Penggunaan F1-score pada penelitian ini dinilai tepat karena dataset memiliki distribusi kelas yang tidak seimbang, sehingga evaluasi model tidak hanya berfokus pada akurasi tetapi juga keseimbangan kemampuan model dalam mendeteksi seluruh kelas.

Dibandingkan dengan metode klasifikasi tradisional seperti *Naïve Bayes* dan *Decision Tree*, algoritma XGBoost menunjukkan kemampuan yang lebih baik dalam menangani hubungan antarvariabel yang kompleks pada data perpajakan. Penelitian (Tenggono et al., n.d.) menunjukkan bahwa metode *Naïve Bayes* hanya menghasilkan akurasi sebesar 53,48% dalam memprediksi kepatuhan wajib pajak PBB-P2. Sementara itu, penelitian (Sitorus et al., 2024) menunjukkan bahwa metode *Decision Tree* memiliki performa lebih baik dibandingkan *Naïve Bayes* dengan tingkat akurasi mencapai 99%. Namun, *Decision Tree* tunggal memiliki kelemahan berupa risiko *overfitting* pada data yang kompleks dan berskala besar.

Tabel 5. Perbandingan Metode

Metode	Hasil
XGBoost	F1-Macro 0.7108
<i>Naïve Bayes</i>	Akurasi 53,48%
<i>Decision Tree</i>	Akurasi mencapai 99%

Berbeda dengan kedua metode tersebut, XGBoost menggunakan pendekatan ensemble learning berbasis boosting yang mampu memperbaiki kesalahan prediksi secara bertahap pada setiap iterasi. Selain itu, penggunaan regularisasi pada XGBoost membantu menjaga stabilitas model dan mengurangi risiko *overfitting*. Hal tersebut tercermin dari hasil penelitian ini yang menghasilkan nilai F1-Macro sebesar 0.7108 dengan performa yang relatif konsisten pada proses *cross-validation*. Penggunaan F1-score juga dinilai

lebih representatif dibandingkan akurasi karena dataset memiliki distribusi kelas yang tidak seimbang, sehingga evaluasi model dapat menilai keseimbangan `precision` dan `recall` dalam mendeteksi wajib pajak tidak patuh.

Peningkatan performa model terlihat pada proses tuning hyperparameter, terutama pada parameter `max_depth` dan `learning_rate`. Berdasarkan hasil pengujian, peningkatan nilai `max_depth` dari 9 menjadi 12 mampu meningkatkan nilai F1-score secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa data kepatuhan wajib pajak memiliki hubungan antarvariabel yang kompleks sehingga membutuhkan struktur pohon keputusan yang lebih dalam untuk menangkap pola data secara optimal. Menurut teori XGBoost, struktur pohon yang lebih dalam memungkinkan model mempelajari interaksi antarvariabel secara lebih detail sehingga meningkatkan kemampuan generalisasi model terhadap data baru (Chen & Guestrin, 2016). Namun demikian, kedalaman pohon yang terlalu tinggi juga berpotensi meningkatkan risiko *overfitting* sehingga diperlukan proses tuning parameter yang optimal.

Selain itu, penggunaan `learning_rate` sebesar 0.2 menunjukkan bahwa model memerlukan proses pembelajaran yang cukup cepat untuk menyesuaikan pola perilaku wajib pajak yang dinamis. Dalam algoritma boosting, `learning rate` berfungsi untuk mengontrol kontribusi setiap pohon keputusan terhadap model akhir. Semakin optimal nilai `learning rate` yang digunakan, maka semakin baik kemampuan model dalam mengurangi error pada setiap iterasi. Temuan ini mendukung teori Gradient Boosting yang menjelaskan bahwa kombinasi `learning rate` dan jumlah estimator yang tepat dapat meningkatkan akurasi model tanpa meningkatkan risiko *overfitting* secara signifikan (Friedman, 2001).

Penggunaan `n_estimators` sebanyak 400 pohon keputusan juga memberikan kontribusi terhadap stabilitas model. Jumlah pohon yang lebih banyak memungkinkan proses boosting dilakukan secara lebih optimal sehingga kesalahan klasifikasi pada iterasi sebelumnya dapat diperbaiki secara bertahap. Hal ini sejalan dengan konsep ensemble learning pada XGBoost yang menggabungkan beberapa *decision tree* untuk menghasilkan model prediksi yang lebih kuat dibandingkan *single classifier* (Chen & Guestrin, 2016). Dengan demikian, model yang dihasilkan memiliki kemampuan generalisasi yang lebih baik pada data pengujian.

Penelitian ini juga menerapkan penyesuaian bobot kelas sebesar 2,2x pada kelas minoritas untuk mengatasi ketidakseimbangan data antara kelas wajib

pajak patuh dan tidak patuh. Ketidakseimbangan kelas umum terjadi pada data perpajakan karena jumlah wajib pajak patuh biasanya lebih banyak dibandingkan wajib pajak tidak patuh. Menurut (Sokolova & Lapalme, 2009), dataset yang tidak seimbang dapat menyebabkan model cenderung memberikan prediksi yang lebih baik pada kelas dominan sehingga kemampuan deteksi terhadap kelas minoritas menjadi menurun. Oleh karena itu, penyesuaian class weight dilakukan agar model lebih sensitif dalam mendeteksi pola ketidakpatuhan wajib pajak.

Hasil confusion matrix menunjukkan bahwa model mampu mengklasifikasikan sebagian besar data dengan baik. Model berhasil mengenali 51.128 wajib pajak patuh dan 21.865 wajib pajak tidak patuh. Sementara itu, terdapat 16.849 false positive dan 9.065 false negative. Jumlah false negative yang relatif lebih rendah menunjukkan bahwa model cukup efektif dalam mendeteksi wajib pajak yang berpotensi tidak patuh. Dalam konteks perpajakan daerah, kemampuan mendeteksi wajib pajak tidak patuh sangat penting karena berkaitan langsung dengan strategi pengawasan dan penagihan pajak daerah. Semakin rendah nilai false negative, maka semakin kecil kemungkinan pemerintah daerah kehilangan potensi penerimaan pajak akibat kegagalan mendeteksi wajib pajak berisiko.

Kemampuan model dalam mendeteksi wajib pajak tidak patuh menunjukkan bahwa pendekatan berbasis Artificial Intelligence dapat membantu pemerintah daerah melakukan identifikasi risiko ketidakpatuhan secara lebih dini dan proaktif. Selama ini, pengelolaan kepatuhan pajak daerah umumnya masih dilakukan secara reaktif setelah terjadi tunggakan pembayaran. Dengan adanya sistem prediksi berbasis machine learning, pemerintah daerah dapat melakukan pemetaan wajib pajak berisiko tinggi sehingga strategi penagihan maupun sosialisasi dapat dilakukan secara lebih tepat sasaran. Hasil ini sejalan dengan penelitian (Iqbal, 2025) yang menyatakan bahwa peningkatan kepatuhan wajib pajak dipengaruhi oleh efektivitas pengawasan dan pendekatan administrasi perpajakan yang lebih baik.

Analisis feature importance menunjukkan bahwa variabel geografis seperti Kode_Kecamatan, Kode_Kelurahan, dan Kode_Blok menjadi variabel paling dominan dalam proses prediksi kepatuhan wajib pajak. Variabel Kode_Kecamatan memiliki nilai gain tertinggi sebesar 0.2189. Temuan ini menunjukkan bahwa faktor wilayah memiliki hubungan erat dengan perilaku pembayaran pajak PBB-P2. Hasil tersebut mendukung teori kepatuhan pajak yang menyatakan bahwa tingkat kepatuhan dipengaruhi oleh lingkungan sosial, kualitas pelayanan pemerintah, kesadaran

masyarakat, dan kondisi ekonomi lokal (Zaikin et al., 2022).

Dominasi variabel wilayah menunjukkan bahwa karakteristik geografis berpengaruh terhadap pola kepatuhan wajib pajak. Kecamatan tertentu kemungkinan memiliki tingkat kepatuhan lebih tinggi karena didukung oleh kualitas layanan pajak yang lebih baik, tingkat pendidikan masyarakat yang lebih tinggi, serta efektivitas sosialisasi perpajakan oleh pemerintah daerah. Oleh karena itu, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar bagi pemerintah daerah dalam menyusun kebijakan pengawasan dan sosialisasi perpajakan yang lebih terfokus pada wilayah dengan tingkat risiko ketidakpatuhan yang tinggi.

Selain faktor geografis, variabel Jumlah_Bayar_Pokok dan Log_Bayar_Pokok juga menunjukkan pengaruh yang cukup besar terhadap model prediksi. Hal ini menunjukkan bahwa nominal pajak memiliki hubungan erat dengan perilaku pembayaran wajib pajak. Wajib pajak dengan nominal pajak yang lebih besar cenderung memiliki pola pembayaran yang berbeda dibandingkan wajib pajak dengan nominal kecil. Temuan ini menunjukkan bahwa segmentasi wajib pajak berdasarkan nilai pajak dapat menjadi strategi penting dalam pengelolaan penerimaan daerah.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma XGBoost efektif dalam mengelola data perpajakan yang kompleks dan berskala besar. Sejalan dengan teori XGBoost, penggunaan regularisasi dalam algoritma mampu menurunkan risiko overfitting dan menjaga stabilitas model ketika diterapkan pada data baru (Chen & Guestrin, 2016). Hal tersebut dibuktikan melalui hasil cross-validation yang menunjukkan distribusi nilai F1-score relatif konsisten pada berbagai fold pengujian. Stabilitas tersebut menunjukkan bahwa model tidak hanya berkinerja baik pada data pelatihan, tetapi juga mampu melakukan generalisasi secara efektif pada data pengujian.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, algoritma Extreme Gradient Boosting (XGBoost) terbukti mampu memprediksi tingkat kepatuhan wajib pajak terhadap Pajak Bumi dan Bangunan Perdesaan dan Perkotaan (PBB-P2) dengan akurasi yang wajar. Model terbaik yang diperoleh menggunakan konfigurasi hyperparameter berupa *learning_rate* 0.2, *max_depth* 12, *n_estimators* 400, *min_child_weight* 1, *subsample* 0.8, dan *gamma* 0 dengan objective *binary:logistic* serta penyesuaian bobot kelas minoritas sebesar 2.2x. Model tersebut menghasilkan nilai F1-Macro sebesar

0.7108 yang menunjukkan kemampuan model dalam menyeimbangkan precision dan recall pada klasifikasi wajib pajak patuh dan tidak patuh. Selain itu, hasil analisis feature importance menunjukkan bahwa variabel geografis seperti Kode Kecamatan, Kode Kelurahan, dan Kode Blok memiliki pengaruh besar terhadap tingkat kepatuhan wajib pajak PBB-P2.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan berbasis Artificial Intelligence dan machine learning dapat menjadi solusi yang efektif dalam mendukung pengelolaan perpajakan daerah secara lebih proaktif dan berbasis data. Model prediksi yang dihasilkan mampu membantu pemerintah daerah dalam mengidentifikasi wajib pajak yang berpotensi tidak patuh sehingga strategi penagihan, pengawasan, dan sosialisasi pajak dapat dilakukan secara lebih tepat sasaran. Dengan demikian, penerapan sistem prediksi kepatuhan wajib pajak berbasis XGBoost diharapkan dapat mendukung optimalisasi penerimaan Pajak Bumi dan Bangunan Perdesaan dan Perkotaan (PBB-P2) serta meningkatkan efektivitas pengelolaan Pendapatan Asli Daerah (PAD).

DAFTAR PUSTAKA

- Akib, M., Umar, W., & Marjani, M. (2023). Strategi Peningkatan Pendapatan Asli Daerah (PAD) Melalui Optimalisasi Pajak dan Retribusi di Kota Kendari. *Jurnal Al-Ahkam: Jurnal Hukum Pidana Islam*, 5(2), 126–138. <https://doi.org/10.47435/al-ahkam.v5i2.2238>
- Bapenda Badung. (2025). *Target vs realisasi pajak daerah 2025*.
- Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. *Proceedings of the ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 785–794. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>
- Fatma & Najicha, U. (2022). Peranan hukum pajak sebagai sumber keuangan negara pada pembangunan nasional dalam upaya mewujudkan kesejahteraan rakyat. *Jurnal Ius Civile*, 169(1).
- Friedman, J. H. (2001). Greedy function approximation: a gradient boosting machine. *Annals of statistics*, 1189-1232.
- Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2011). *Data Mining. Concepts and Techniques*, 3rd Edition (The Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems).
- Iqbal, I. E. B. (2025). Faktor-faktor yang mempengaruhi kepatuhan wajib pajak bumi dan bangunan di Kota Solok Provinsi Sumatera Barat. *Musytari: Jurnal Manajemen, Akuntansi, Dan Ekonomi*, 25(1), 3821–3830.
- Nikmatika, N., Fadliyanti, L., & Wijimulawiani, B. S. (2024). Analisis Potensi dan Kontribusi Penerimaan Pajak Bumi dan Bangunan Perdesaan dan Perkotaan (PBB-P2) Terhadap Pendapatan Asli Daerah (PAD) di Kota Mataram Tahun 2015-2020. *Jurnal Konstanta*, 3(1), 137-155.
- Revolian, A. A. (2024). *Implementasi kebijakan tentang pajak daerah di Kota Tasikmalaya (Studi tentang Pajak Bumi dan Bangunan Perdesaan/Perkotaan (PBB-P2))*.
- Sitorus, Z., Pranoto, S., & Sutiono, S. (2024). Comparison of Accuracy between Naïve Bayes and Decision Tree Methods for Property Tax (PBB-P2) Compliance in Tebing Tinggi City. *Journal of Information Technology, Computer Science and Electrical Engineering (JITCSE)*, 1(2), 121–128. <https://doi.org/10.61306/jitcse.v1i2>
- Sokolova, M., & Lapalme, G. (2009). A systematic analysis of performance measures for classification tasks. *Information Processing and Management*, 45(4), 427–437. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2009.03.002>
- Tenggono, A., Adryansyah, M., PalComTech, S., & Basuki Rahmat No, J. (n.d.). Prediksi Potensi Kepatuhan Wajib Pajak PBB-P2 Menggunakan Metode Naïve Bayes di Kecamatan Seberang Ulu I Kota Palembang. *TEKNOMATIKA*, 11(01), 1–5.
- Zaikin, M., Pagalung, G., & Rasyid, S. (2022). Pengaruh Pengetahuan Wajib Pajak dan Sosialisasi Pajak terhadap Kepatuhan Wajib Pajak dengan Kesadaran Wajib Pajak sebagai Variabel Intervening. *Owner*, 7(1), 57–76. <https://doi.org/10.33395/owner.v7i1.1346>