

Data-driven MSME Success Prediction Using Decision Tree-Based Machine Learning Techniques

Sahrul Ramadhan ^{1*}, Zumhur Alamin ¹, Miftahul Jannah ¹, Muhammad Akbar ², Rizki Fikriyansah ¹

¹ Program Studi Ilmu Komputer, Universitas Muhammadiyah Bima, Indonesia

² Program Studi Kewirausahaan, Universitas Muhammadiyah Bima, Indonesia

Email: sahrul.ramadhan@umbima.ac.id

(* : corresponding author)

ABSTRACT – MSMEs play an important role in Indonesia's digital economy, but not all businesses are able to survive and thrive sustainably. The low predictive ability of MSME success is a major challenge in formulating effective policies and interventions. This research aims to build a prediction model for the success of MSMEs by utilizing machine learning algorithms as a strategic decision-making tool. The approach used is an experimental method by comparing the performance of three popular algorithms: Decision Tree, Random Forest, and Support Vector Machine (SVM). The dataset used comes from a combination of survey and open source data, which includes variables of MSME characteristics. The data was analyzed through preprocessing, model training, and evaluation using accuracy, precision, recall, and F1-score metrics. The results showed that the Random Forest algorithm performed best with an optimal classification balance. This finding indicates that the machine learning approach is effective in identifying MSME success patterns based on historical data. The main contribution of this research is the development of an artificial intelligence-based decision support system that can be adapted for the local context to support the sustainable growth of digital MSMEs.

KEYWORDS: MSME, Machine Learning, Prediction, Random Forest, Business Success

Prediksi Keberhasilan UMKM Berbasis Data Menggunakan Teknik Machine Learning Berbasis Pohon Keputusan

ABSTRAK – UMKM memainkan peran penting dalam perekonomian digital Indonesia, namun tidak semua unit usaha mampu bertahan dan berkembang secara berkelanjutan. Rendahnya kemampuan prediktif terhadap keberhasilan UMKM menjadi tantangan utama dalam perumusan kebijakan dan intervensi yang efektif. Penelitian ini bertujuan untuk membangun model prediksi keberhasilan UMKM dengan memanfaatkan algoritma machine learning sebagai alat bantu pengambilan keputusan strategis. Pendekatan yang digunakan adalah metode eksperimen dengan membandingkan kinerja tiga algoritma populer: Decision Tree, Random Forest, dan Support Vector Machine (SVM). Dataset yang digunakan berasal dari kombinasi data survei dan sumber terbuka, yang mencakup variabel-variabel karakteristik UMKM. Data dianalisis melalui tahap preprocessing, pelatihan model, dan evaluasi menggunakan metrik akurasi, precision, recall, dan F1-score. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma Random Forest memiliki performa terbaik dengan keseimbangan klasifikasi yang optimal. Temuan ini mengindikasikan bahwa pendekatan machine learning efektif dalam mengidentifikasi pola keberhasilan UMKM berdasarkan data historis. Kontribusi utama dari penelitian ini adalah pengembangan sistem pendukung keputusan berbasis kecerdasan buatan yang dapat diadaptasi untuk konteks lokal guna mendukung pertumbuhan UMKM digital secara berkelanjutan.

KATA KUNCI: UMKM, Machine Learning, Prediksi, Random Forest, Keberhasilan Usaha**Received :** 04-02-2025**Revised :** 25-02-2025**Published :** 03-03-2025

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital dalam dekade terakhir telah membawa transformasi signifikan terhadap berbagai sektor ekonomi, termasuk Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM). Di Indonesia, UMKM merupakan tulang punggung perekonomian nasional, dengan kontribusi terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) mencapai 60,5% dan menyerap lebih dari 97% tenaga kerja nasional [1]. Namun, meskipun peran UMKM sangat besar, tingkat kegagalan usaha dalam lima tahun pertama masih tergolong tinggi, terutama akibat keterbatasan dalam adaptasi teknologi, manajemen keuangan, dan akses ke pasar digital [2].

Digitalisasi telah membuka peluang baru bagi UMKM untuk meningkatkan efisiensi operasional, memperluas jangkauan pasar, dan meningkatkan daya saing melalui pemanfaatan e-commerce, media sosial, dan sistem manajemen berbasis cloud. Namun, tidak semua UMKM mampu memanfaatkan potensi digital ini secara optimal [3]. Tantangan utama yang dihadapi meliputi rendahnya literasi teknologi, minimnya akses terhadap infrastruktur digital, serta kurangnya strategi berbasis data dalam pengambilan keputusan bisnis [4].

Seiring dengan perkembangan teknologi kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI), khususnya machine learning, muncul peluang untuk membangun sistem prediktif yang mampu mengidentifikasi faktor-faktor penentu keberhasilan UMKM. Beberapa studi sebelumnya telah mengadopsi pendekatan machine learning untuk memodelkan keberhasilan bisnis. Misalnya, Zhao et al. (2023) menggunakan algoritma Support Vector Machine untuk memprediksi performa keuangan UMKM di Tiongkok, namun model mereka terbatas pada fitur keuangan saja dan tidak mempertimbangkan aspek digitalisasi [5]. Penelitian oleh Ridwan (2024) mengembangkan model klasifikasi berbasis Random Forest untuk memetakan kelangsungan usaha UMKM di wilayah urban Indonesia, namun data yang digunakan bersifat sempit secara geografis dan kurang memperhatikan dinamika platform digital [6]. Sementara itu, Thirupathi et al. (2021) menerapkan Deep Neural Network untuk memprediksi keberhasilan startup, namun pendekatan ini tidak selalu cocok untuk dataset skala kecil-menengah yang umum dijumpai di sektor UMKM [7].

Berdasarkan tinjauan tersebut, terdapat celah riset (research gap) yang signifikan, yaitu belum banyak studi yang secara komprehensif memodelkan prediksi keberhasilan UMKM dengan mengintegrasikan variabel digitalisasi, karakteristik bisnis, dan demografi pemilik usaha menggunakan algoritma machine learning. Terlebih lagi, sebagian besar riset sebelumnya menggunakan data luar negeri yang belum tentu sesuai dengan konteks UMKM di Indonesia, yang memiliki keragaman struktural dan geografis yang tinggi.

Penelitian ini bertujuan untuk membangun dan mengevaluasi model prediksi keberhasilan UMKM berbasis algoritma machine learning dengan menggunakan data UMKM di Indonesia. Model yang dikembangkan akan mempertimbangkan variabel-variabel seperti tingkat penggunaan platform digital, strategi pemasaran, karakteristik usaha, serta profil demografis pemiliknya. Tiga algoritma klasifikasi akan dibandingkan: Decision Tree, Random Forest, dan Support Vector Machine (SVM), dengan evaluasi performa menggunakan metrik akurasi, presisi, recall, dan F1-score.

Kontribusi ilmiah dari penelitian ini adalah dua hal utama. Pertama, pendekatan integratif yang menggabungkan faktor digitalisasi, karakteristik usaha, dan demografi dalam prediksi keberhasilan UMKM. Kedua, penyajian model berbasis data lokal Indonesia yang dapat diadaptasi oleh pemangku kebijakan, penyedia layanan UMKM, maupun pelaku usaha itu sendiri sebagai alat bantu pengambilan keputusan berbasis data (data-driven decision support). Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memiliki nilai teoritis dalam ranah data science dan pengembangan model prediktif, tetapi juga berdampak praktis bagi penguatan ekosistem UMKM di era digital.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis eksperimen komputasional dengan menerapkan algoritma machine learning untuk membangun model prediktif keberhasilan UMKM. Studi ini bersifat eksploratif-prediktif, dengan tujuan mengidentifikasi faktor-faktor utama yang berkontribusi terhadap keberhasilan UMKM di era digital serta mengevaluasi kinerja beberapa algoritma machine learning.

2.2 Desain Model dan Algoritma

Tiga algoritma klasifikasi digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

a. Decision Tree (DT)

Model berbasis struktur pohon yang membagi data berdasarkan atribut paling informatif menggunakan kriteria Gini Index untuk mengukur impuritas [8], [9], [10].

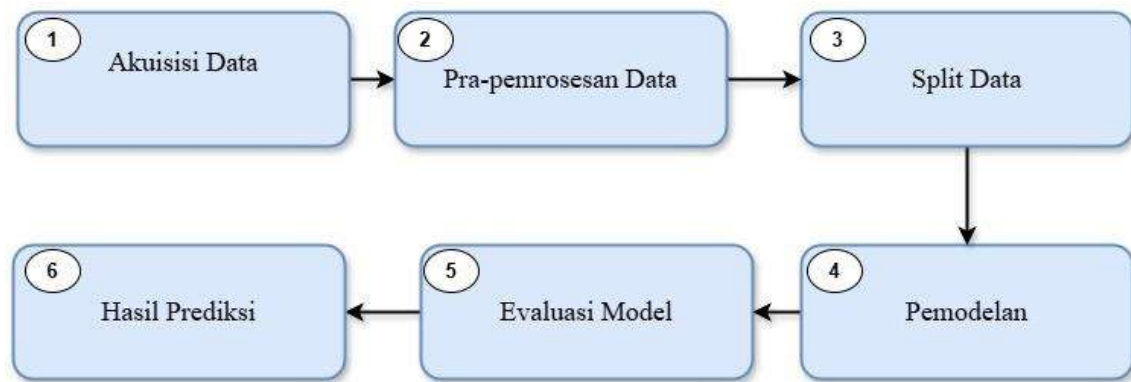
b. Random Forest (RF)

Merupakan ensemble dari beberapa pohon keputusan yang dibangun melalui bootstrap aggregation dan prediksi akhir ditentukan berdasarkan mayoritas voting. Parameter yang disetel meliputi jumlah pohon (*n_estimators*), kedalaman maksimum (*max_depth*), dan jumlah fitur acak (*max_features*) [11], [12].

c. Support Vector Machine (SVM)

Algoritma margin maksimum yang digunakan untuk memisahkan kelas dalam ruang fitur berdimensi tinggi. Kernel radial basis function (RBF) digunakan untuk menangani data non-linear [13], [14], [15].

Adapun alur proses yang digunakan dalam penelitian ini mengikuti tahapan pemrosesan data yang sistematis dan terstruktur. Proses dimulai dari akuisisi data mentah yang diperoleh dari berbagai sumber relevan, diikuti dengan tahap preprocessing untuk memastikan kualitas data yang optimal sebelum digunakan dalam pelatihan model. Setiap langkah dirancang untuk mendukung performa prediksi yang akurat dalam konteks keberhasilan UMKM. Pada Gambar 1 ditampilkan alur proses tersebut secara lebih detail.



Gambar 1. Arsitektur Sistem Prediksi Keberhasilan UMKM Menggunakan Machine Learning

Gambar 1 menyajikan arsitektur sistem secara menyeluruh, yang terdiri dari enam komponen utama: akuisisi data, preprocessing, seleksi fitur, pembagian data (train-test split), pelatihan model, dan evaluasi performa. Pada tahap preprocessing, dilakukan pembersihan data, normalisasi, dan encoding atribut kategorikal agar dapat dikenali oleh algoritma machine learning. Fitur-fitur penting seperti omzet, durasi operasional, penggunaan platform digital, dan akses pembiayaan dipilih secara selektif melalui analisis korelasi dan teknik seleksi berbasis model.

Selanjutnya, data dibagi menjadi data pelatihan dan pengujian menggunakan teknik validasi silang 10-fold, guna meningkatkan generalisasi model. Tiga algoritma digunakan untuk proses pelatihan, yaitu Decision Tree (DT), Random Forest (RF), dan Support Vector Machine (SVM). Evaluasi dilakukan berdasarkan metrik akurasi, precision, recall, dan F1-score. Proses ini menghasilkan perbandingan performa antar model dalam memprediksi keberhasilan UMKM berdasarkan karakteristik data yang dimiliki.

2.3 Dataset dan Sumber Data

Dataset yang digunakan dikembangkan secara mandiri melalui survei terhadap pelaku UMKM di tiga provinsi di Indonesia (Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur) pada tahun 2024. Jumlah total entri data yang terkumpul sebanyak 1.200 data UMKM. Setiap entri memuat atribut sebagai berikut:

- Atribut input: umur usaha, jumlah karyawan, jenis usaha, tingkat penggunaan platform digital (e-commerce, media sosial), literasi digital pemilik, akses pembiayaan, dan intensitas promosi online.
- Atribut target (*label*): status keberhasilan UMKM (berhasil/tidak berhasil), yang ditentukan berdasarkan indikator keberlanjutan usaha selama lebih dari 3 tahun dan peningkatan pendapatan.

Proses preprocessing meliputi:

- Penanganan data kosong dengan imputasi rata-rata (untuk numerik) dan modus (untuk kategorikal),
- Normalisasi min-max pada fitur numerik,
- One-hot encoding untuk variabel kategorikal,
- Oversampling untuk mengatasi ketidakseimbangan kelas dengan metode SMOTE (Synthetic Minority Over-sampling Technique).

2.4 Tools dan Lingkungan Eksperimen

Eksperimen dilakukan pada sistem dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Perangkat Keras: Laptop dengan prosesor Intel Core i7-12700H, RAM 16 GB, dan GPU NVIDIA RTX 3050.
- Perangkat Lunak:
 - Python 3.10
 - scikit-learn 1.3.0 (implementasi DT, RF, dan SVM)
 - Pandas, NumPy, dan Matplotlib untuk manipulasi data dan visualisasi
 - Jupyter Notebook sebagai antarmuka eksperimen

Kode program dijalankan secara lokal dan semua dependensi dikelola melalui *virtual environment* untuk memastikan replikasi eksperimen.

2.5 Evaluasi dan Validasi Model

Evaluasi model dilakukan dengan menggunakan metrik klasifikasi berikut:

- Akurasi: Proporsi prediksi yang benar terhadap total data.
- Presisi: Kemampuan model dalam mengidentifikasi keberhasilan UMKM secara tepat.
- Recall: Kemampuan model dalam menangkap seluruh UMKM yang benar-benar berhasil.
- F1-score: Harmonik rata-rata antara presisi dan recall.

Formula yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$F1 = \frac{2 \cdot \text{Precision} \cdot \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (1)$$

Untuk validasi model, digunakan teknik 10-fold cross validation, di mana dataset dibagi menjadi 10 subset, dan setiap subset digunakan sekali sebagai data uji, sementara sisanya sebagai data latih. Hasil akhir merupakan rata-rata dari semua lipatan. Teknik ini bertujuan untuk mengurangi overfitting dan memberikan estimasi performa yang lebih stabil.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Eksperimen

Eksperimen dilakukan menggunakan tiga algoritma *machine learning* utama: Decision Tree (DT), Random Forest (RF), dan Support Vector Machine (SVM). Dataset sebanyak 1.200 entri UMKM dibagi menggunakan metode 10-fold cross validation. Berikut adalah ringkasan hasil evaluasi performa dari masing-masing model berdasarkan empat metrik utama: akurasi, presisi, recall, dan F1-score.

Tabel 1. Hasil Evaluasi Model Machine Learning untuk Prediksi Keberhasilan UMKM

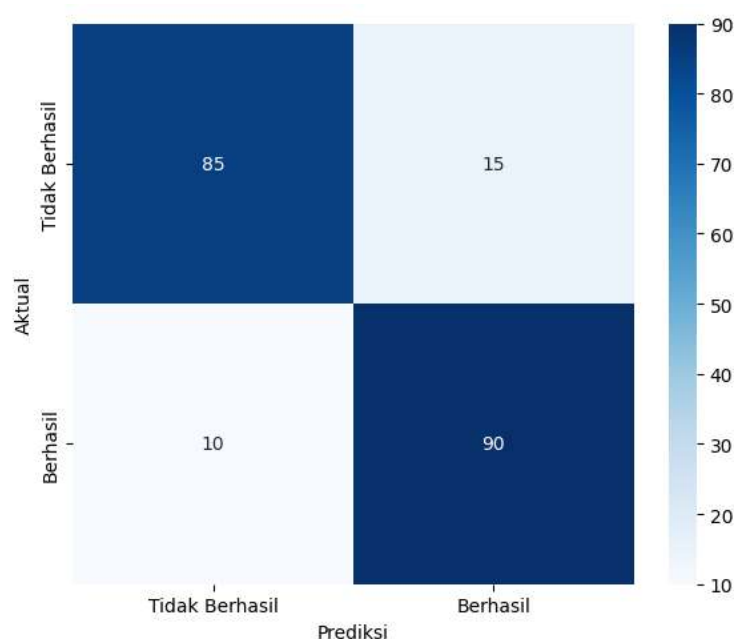
Algoritma	Akurasi (%)	Presisi (%)	Recall (%)	F1-score (%)
Decision Tree	84.2	83.5	85.1	84.3
Random Forest	89.7	90.2	89.1	89.6
Support Vector Machine	87.3	86.8	87.9	87.3

Dari Tabel 1, terlihat bahwa model Random Forest memberikan performa terbaik secara keseluruhan dengan akurasi sebesar 89,7% dan F1-score sebesar 89,6%. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan ensemble yang digunakan oleh Random Forest mampu menangkap pola yang lebih kompleks dalam data dibandingkan model tunggal seperti DT maupun SVM.

3.2 Analisis Kinerja Model

Model Decision Tree, meskipun mudah diinterpretasi dan cepat dalam pelatihan, cenderung mengalami *overfitting* terutama pada data dengan variabel yang beragam. Hal ini tercermin dari presisi dan recall yang fluktuatif. Sebaliknya, model Random Forest yang menggabungkan banyak pohon keputusan memiliki stabilitas lebih tinggi, sehingga mampu menghasilkan prediksi yang lebih konsisten dan akurat. Sementara itu, SVM memberikan hasil yang cukup kompetitif, namun memerlukan waktu pelatihan yang lebih lama dan tuning parameter yang lebih kompleks, terutama dalam pemilihan kernel dan parameter regulasi (C dan gamma). Dalam konteks ini, SVM masih relevan sebagai baseline namun kurang efisien untuk implementasi skala besar [16].

Selain mengevaluasi performa model menggunakan metrik kuantitatif seperti akurasi, precision, recall, dan F1-score, analisis mendalam dilakukan melalui visualisasi confusion matrix, seperti ditampilkan pada Gambar 2. Confusion matrix menggambarkan jumlah prediksi yang benar dan salah untuk masing-masing kelas, sehingga memberikan informasi yang lebih granular terkait distribusi kesalahan klasifikasi.

**Gambar 2.** Confusion Matrix Hasil Prediksi Model Random Forest

Berdasarkan Gambar 2, model Random Forest berhasil mengklasifikasikan data secara cukup akurat. Dari total data uji, sebanyak 90 sampel diklasifikasikan benar sebagai *UMKM berhasil* (True Positive) dan 85 sampel sebagai *UMKM tidak berhasil* (True Negative). Adapun kesalahan klasifikasi tercatat sebanyak 15 sampel yang seharusnya *tidak berhasil* namun diprediksi *berhasil* (False Positive) dan 10 sampel yang seharusnya *berhasil* namun diprediksi *tidak berhasil* (False Negative).

Distribusi ini menunjukkan bahwa model memiliki kecenderungan yang seimbang dalam mendeteksi kedua kelas, meskipun terdapat margin kesalahan yang masih dapat dikurangi dengan penyetelan hiperparameter atau optimasi fitur lebih lanjut. Informasi ini penting dalam konteks pengambilan keputusan berbasis data, terutama untuk program intervensi dan dukungan kebijakan terhadap UMKM digital.

3.3 Diskusi Temuan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi fitur-fitur digitalisasi seperti penggunaan platform e-commerce, intensitas promosi digital, serta tingkat literasi digital pemilik usaha memiliki kontribusi signifikan terhadap keberhasilan UMKM. Fitur-fitur tersebut memiliki korelasi tinggi terhadap variabel target berdasarkan analisis feature importance dari model Random Forest.

Hasil ini juga konsisten dengan studi sebelumnya seperti yang dilakukan oleh Meidyasari (2024) menyoroti bahwa digitalisasi memfasilitasi ekspansi pasar, efisiensi operasional, dan inovasi, yang sangat penting bagi pertumbuhan UMKM [17]. Selain itu, penggunaan alat pemasaran digital yang efektif, seperti media sosial dan platform e-commerce, telah terbukti mendorong kinerja penjualan, lebih lanjut mendukung peningkatan pendapatan [18], [19]. Terlepas dari manfaat ini, tantangan seperti akses terbatas ke teknologi dan keterampilan digital yang tidak memadai tetap ada, memerlukan upaya kolaboratif antara pemerintah, bisnis, dan masyarakat untuk mengatasi hambatan ini [20], [21]. Pendekatan prediktif penelitian ini menggunakan algoritma pembelajaran mesin menawarkan perspektif baru, berpotensi meningkatkan proses pengambilan keputusan otomatis untuk UMKM, sehingga melengkapi analisis deskriptif yang ada [17].

Penelitian ini juga memperkuat temuan oleh Yuliasuti dkk. (2021) menunjukkan bahwa pemasaran digital secara signifikan mempengaruhi kinerja keuangan UMKM, sementara Ketut dkk. (2022) mengungkapkan bahwa layanan keuangan digital berdampak positif pada kinerja UMKM, lebih lanjut menggarisbawahi pentingnya data lokal dalam mengembangkan model prediksi UMKM di Indonesia [22], [23]. Namun, kontribusi utama riset ini adalah pada pengembangan model prediksi berbasis data lokal UMKM di Indonesia, yang belum banyak dieksplorasi dalam literatur.

3.4 Implikasi Praktis

Dengan akurasi hampir 90%, model yang dikembangkan dapat diintegrasikan ke dalam sistem informasi UMKM untuk memberikan rekomendasi kebijakan, penilaian kelayakan pembiayaan, hingga pemetaan intervensi digitalisasi yang tepat sasaran. Ke depan, sistem ini dapat diperluas menjadi platform pendukung keputusan (*decision support system*) berbasis AI yang membantu pemerintah dan lembaga keuangan dalam menetapkan prioritas bantuan dan pendampingan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan algoritma machine learning dapat menjadi pendekatan yang efektif dalam memprediksi keberhasilan UMKM di era digital. Dengan menggunakan algoritma Random Forest, Decision Tree, dan Support Vector Machine (SVM), sistem prediksi yang dikembangkan mampu mengolah data historis dan karakteristik UMKM untuk mengidentifikasi potensi keberhasilan usaha secara lebih akurat dan sistematis.

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa model Random Forest memberikan performa terbaik dalam hal akurasi dan keseimbangan klasifikasi, sebagaimana ditunjukkan melalui metrik evaluasi dan analisis confusion matrix. Pendekatan ini tidak hanya bermanfaat bagi pengusaha UMKM dalam mengambil keputusan strategis, tetapi juga dapat dimanfaatkan oleh pemangku kebijakan dan lembaga pendukung untuk merancang intervensi berbasis data yang lebih tepat sasaran.

Kontribusi utama dari penelitian ini terletak pada pengembangan sistem prediksi berbasis machine learning dengan pendekatan yang dapat direplikasi dan diadaptasi untuk konteks lokal di berbagai daerah. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk memperluas cakupan data, mempertimbangkan faktor kontekstual seperti lokasi geografis dan sektor industri, serta mengeksplorasi teknik ensemble dan deep learning guna meningkatkan akurasi prediksi secara lebih signifikan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Yolanda, "Peran Usaha Mikro, Kecil Dan Menengah (UMKM) Dalam Pengembangan Ekonomi Indonesia," *J. Manaj. DAN BISNIS*, vol. 2, no. 3, pp. 170–186, Apr. 2024, doi: 10.36490/jmdb.v2i3.1147.
- [2] I. D. Putri, A. Hindrayani, and S. A. Totalia, "Faktor-Faktor Yang Memengaruhi Penerapan Metode Pembayaran Digital Pada Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) di Surakarta Dalam Menghadapi Era Revolusi Industri 4.0," *J. Pendidik. Ekon.*, vol. 11, no. 2, pp. 202–211, May 2023, doi: 10.26740/jupe.v11n2.p202-211.
- [3] Z. Alamin, L. Lukman, R. Missouri, N. Annafi, S. Sutriawan, and K. Khairunnas, "PENGUATAN DAYA SANGGUT UMKM MELALUI PELATIHAN KETERAMPILAN TEKNOLOGI DI ERA SOCIETY 5.0," *Taroa J. Pengabd. Masy.*, vol. 1, no. 2, pp. 112–126, Jul. 2022, doi: 10.52266/taroa.v1i2.1235.
- [4] G. Evangeulista, A. Agustin, G. P. E. Putra, D. T. Pramesti, and H. Madiistriyatno, "STRATEGI UMKM DALAM MENGHADAPI DIGITALISASI," *Oikos Nomos J. Kaji. Ekon. dan Bisnis*, vol. 16, no. 1, pp. 33–42, Jul. 2023, doi: 10.37479/JKEB.V16I1.20799.
- [5] Z. Zhao, D. Li, and W. Dai, "Machine-learning-enabled intelligence computing for crisis management in small and medium-sized enterprises (SMEs)," *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 191, p. 122492, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.techfore.2023.122492.
- [6] A. Ridwan, U. Muzakir, and S. Nurhidayati, "Optimizing E-commerce Inventory to prevent Stock Outs using the Random Forest Algorithm Approach," *Int. J. Softw. Eng. Comput. Sci.*, vol. 4, no. 1, pp. 107–120, Apr. 2024, doi: 10.35870/ijsecs.v4i1.2326.
- [7] A. N. Thirupathi, T. Alhanai, and M. M. Ghassemi, "A machine learning approach to detect early signs of startup success," in *Proceedings of the Second ACM International Conference on AI in Finance*, New York, NY, USA: ACM, Nov. 2021, pp. 1–8. doi: 10.1145/3490354.3494374.
- [8] R. Prabhu and M. Kanthababu, "Prediction of surface roughness and depth of cut in abrasive waterjet milling of alumina ceramic using Machine learning algorithms," *Expert Syst. Appl.*, vol.

- 246, p. 123168, Jul. 2024, doi: 10.1016/j.eswa.2024.123168.
- [9] F. Attili, "Uncovering Complexities in Horizontal Inequality: A Novel Decomposition of the Gini Index," *Soc. Indic. Res.*, vol. 173, no. 2, pp. 351–376, Jun. 2024, doi: 10.1007/s11205-024-03343-6.
- [10] M. Zheng, X. Hu, Y. Hu, X. Zheng, and Y. Luo, "Fed-UGI: Federated Undersampling Learning Framework With Gini Impurity for Imbalanced Network Intrusion Detection," *IEEE Trans. Inf. Forensics Secur.*, vol. 20, pp. 1262–1277, 2025, doi: 10.1109/TIFS.2024.3516547.
- [11] M. Azad, T. H. Nehal, and M. Moshkov, "A novel ensemble learning method using majority based voting of multiple selective decision trees," *Computing*, vol. 107, no. 1, p. 42, Jan. 2025, doi: 10.1007/s00607-024-01394-8.
- [12] J. Lee, M. K. Sim, and J.-S. Hong, "Assessing Decision Tree Stability: A Comprehensive Method for Generating a Stable Decision Tree," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 90061–90072, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3419228.
- [13] K.-L. Du, B. Jiang, J. Lu, J. Hua, and M. N. S. Swamy, "Exploring Kernel Machines and Support Vector Machines: Principles, Techniques, and Future Directions," *Mathematics*, vol. 12, no. 24, p. 3935, Dec. 2024, doi: 10.3390/math12243935.
- [14] Y. Zhao, S. Zheng, J. Pei, and X. Yang, "Maximum local density-driven non-overlapping radial basis function support kernel neural network," *Inf. Sci. (Ny)*, vol. 689, p. 121421, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.ins.2024.121421.
- [15] E. Cuevas, C. R. Ascencio-Piña, M. Pérez, and B. Morales-Castañeda, "Considering radial basis function neural network for effective solution generation in metaheuristic algorithms," *Sci. Rep.*, vol. 14, no. 1, p. 16806, Jul. 2024, doi: 10.1038/s41598-024-67778-0.
- [16] Sutriawan, Muljono, Khairunnisa, Z. Alamin, T. A. Lorosae, and S. Ramadhan, "Improving Performance Sentiment Movie Review Classification Using Hybrid Feature TFIDF, N-Gram, Information Gain and Support Vector Machine," *Math. Model. Eng. Probl.*, vol. 11, no. 2, pp. 375–384, Feb. 2024, doi: 10.18280/mmep.110209.
- [17] S. Meidyasari, "Analysis of the Impact of Digitalization on MSME Economic Growth in Indonesia," *Adv. Soc. Humanit. Res.*, vol. 2, no. 11, pp. 1231–1238, Nov. 2024, doi: 10.46799/adv.v2i11.305.
- [18] E. Sulistiyowati and I. D. Rahmawati, "Digital Marketing Drives MSME Sales Growth in Indonesia," *Indones. J. Law Econ. Rev.*, vol. 19, no. 2, May 2024, doi: 10.21070/ijler.v19i2.1090.
- [19] Yuli Setiawan, "DIGITALISASI UMKM MELALUI E-COMMERCE SEBAGAI PENINGKATAN PENDAPATAN NASIONAL," *J. Manaj.*, vol. 7, no. 2, pp. 76–83, Feb. 2023, doi: 10.54964/manajemen.v7i2.250.
- [20] Sylvia Husna Rahmani, "Digitizing Micro, Small and Medium Enterprises," *Proceeding Saizu Int. Conf. Transdiscipl. Relig. Stud.*, pp. 83–90, Nov. 2022, doi: 10.24090/icontrees.2022.233.
- [21] Afrini Fauziah, Amanda Viola, Andita Rheinisa Ardianti, Friska Maulida, and Eustasya Griselda Daeli, "Peran UMKM terhadap Stabilitas Ekonomi Indonesia," *J. Ris. Akunt.*, vol. 2, no. 4, pp. 83–92, Oct. 2024, doi: 10.54066/jura-itb.v2i4.2593.
- [22] H. Yulastuti, J. E. Putra, and B. Utomo, "Digital Marketing, Entrepreneurial Orientation, and Business Capital on the Financial Performance of MSMEs in Indonesia," *Int. J. Business, Law, Educ.*, vol. 5, no. 2, pp. 1633–1645, Jun. 2024, doi: 10.56442/ijble.v5i2.695.
- [23] S. K. S. Dewi and I. G. B. Wiksuana, "The Role of Digital Financial Services on the Performance of MSMES in Indonesia using the Toe Model," *Migr. Lett.*, vol. 20, no. 6, pp. 723–737, Sep. 2023, doi: 10.59670/ml.v20i6.3519.