



PERAN MACHINE LEARNING DAN DEEP LEARNING DALAM PENDETEKSIAN PENCUCIAN UANG – A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Ghalizha Failazufah Hanin, Totok Dewayanto¹

Departemen Akuntansi Fakultas Ekonomika dan Bisnis Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedharto SH Tembalang, Semarang 50239, Phone: +622476486851

ABSTRACT

This study aims to explore and uncover the complex phenomena in the financial world, particularly concerning the prevention and mitigation of money laundering, which is becoming increasingly rampant. In an era of advancing technology, the application of artificial intelligence such as machine learning and deep learning has become essential to enhance the effectiveness of anti-money laundering systems. This research employs a systematic literature review to analyze the role of AI, machine learning, and deep learning in detecting money laundering techniques. By collecting and systematically selecting 20 articles from the Scopus database, this study provides insights into the driving factors influencing the adoption and implementation of these technologies to combat money laundering. The findings highlight the importance of advanced technology in improving compliance, security, and the speed of detection, ultimately contributing to the development of more effective anti-money laundering strategies.

Keywords: Systematic Literature Review, Anti-Money Laundering, Machine Learning, Deep Learning

PENDAHULUAN

Pencucian uang adalah tantangan global yang signifikan, semakin menarik perhatian selama dua dekade terakhir. Umumnya dipahami sebagai menyembunyikan sumber uang 'kotor' ilegal dan mengubahnya menjadi dana yang tampak sah (Soltani et al., 2016; Salehi et al., 2017). Prosesnya melibatkan tiga tahap - penempatan, pelapisan, dan integrasi (Alexandre & Balsa, 2015; Salehi et al., 2017; Savage et al., 2016; Soltani et al., 2016; Suresh et al., 2016). Konsekuensinya mengancam stabilitas ekonomi, integritas keuangan, reputasi nasional, dan keamanan, diperkirakan 2-5% PDB global atau \$1,5 triliun per tahun (Syed Mustapha Nazri et al., 2019). Seiring berkembangnya teknologi, pencucian uang berevolusi dari metode tradisional menjadi skema canggih. Cryptocurrency seperti Bitcoin dan NFT membuka jalan baru, memanfaatkan anonimitas dan desentralisasi dengan pengawasan regulasi lebih rendah (Albrecht et al., 2019; Teichmann & Falker, 2020; Kafteranis & Turksen, 2022; Bjelajac & Bajac, 2022). Untuk mendeteksinya, metode juga harus maju. Sebelumnya berfokus pada ketidakberesan aliran kas dan transaksi perbankan (Han et al., 2020). Namun, teknologi seperti AI, pembelajaran mesin, dan analitik data besar kini memainkan peran penting seiring berkembangnya teknik. AI, khususnya pembelajaran mesin, diakui efektif dalam deteksi penipuan karena kemampuannya mengenali pola dan ketidakberesan yang mungkin terlewatkan manusia, serta kapasitas menangani tugas berulang dan berjumlah besar (Ashtiani & Raahemi, 2023; Singh & Lin, 2020). *Deep learning*, sebagai subset machine learning, memungkinkan mesin memproses dan menafsirkan data rumit melalui beberapa lapisan, mirip kognisi manusia (Bishop & Nasrabadi, 2006; Hinton & Salakhutdinov, 2006).

Penelitian terbaru terutama menargetkan deteksi transaksi mencurigakan

¹ Corresponding author

menggunakan AI, tren yang menarik lebih banyak perhatian daripada topik AML lain (Leite et al., 2019). Studi menunjukkan kebutuhan algoritma pembelajaran mesin lebih cepat dan efisien untuk melawan pencucian uang di cryptocurrency yang berkembang pesat (Ruiz & Angelis, 2022). Tinjauan komprehensif mendokumentasikan perkembangan AML berdasarkan solusi, teknik pembelajaran mesin, sumber data, dan evaluasi (Alsuwailem & Saudagar, 2020). Penelitian empiris berfokus pada identifikasi transaksi tidak biasa, mencerminkan peran AI dan pembelajaran mesin dalam pengembangan sistem AML canggih (Han et al., 2020). Meskipun kemampuannya terbukti di berbagai sektor, penerapan pembelajaran mendalam

dalam AML belum cukup dibahas. Penelitian ini menggunakan tinjauan literatur sistematis, berfokus pada integrasi AI dalam sistem AML, wilayah yang relatif belum terjamah. Tujuannya memahami bagaimana teknologi canggih ini dapat dimanfaatkan untuk deteksi dini aktivitas mencurigakan, mengungkap kapasitasnya meningkatkan upaya AML dan mengurangi dampak buruk pencucian uang. Tantangan identifikasi meliputi masalah kualitas dan ketersediaan data, kebutuhan sumber daya komputasi signifikan, interpretabilitas model, dan evolusi taktik pencucian uang yang memerlukan algoritma adaptif. Dengan menangani kemampuan dan hambatan ini, penelitian bertujuan memberi gambaran komprehensif keadaan teknologi AML saat ini dan wawasan untuk pengembangan dan penelitian lebih lanjut di bidang yang berkembang pesat ini.

Tinjauan Literatur

Anti-Money Laundering

Fenomena pencucian uang, yang seringkali melibatkan penggunaan cara-cara yang sah untuk menyembunyikan uang hitam, telah menjadi ancaman serius bagi stabilitas ekonomi global. Upaya untuk mencegah praktik ini, dikenal sebagai sistem Anti-Money Laundering (AML), telah melalui evolusi yang signifikan sepanjang sejarahnya. Awalnya didorong oleh regulasi yang menekankan pendekatan yang lebih proaktif dan komprehensif, AML telah menjadi inti dari respons sektor keuangan global terhadap pencucian uang. Regulasi FATF, pendirian "Know Your Customer" (KYC), dan persyaratan pelaporan transaksi mencurigakan (STR) dan transaksi mata uang (CTR) adalah elemen kunci dari strategi ini. Seiring dengan kemajuan teknologi, pendekatan AML telah berkembang untuk mengintegrasikan solusi teknologi seperti machine learning dan deep learning, meningkatkan efektivitas dan proaktifitas dalam melacak dan memantau aktivitas keuangan yang mencurigakan.

Artificial Intelligence: Machine Learning dan Deep Learning

Artificial intelligence (AI) telah menjadi perangkat penting dalam berbagai bidang, termasuk keuangan, di mana AI digunakan untuk mendeteksi dan mencegah praktik pencucian uang. Machine learning (ML) dan deep learning, sebagai cabang dari AI, telah memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan sistem anti-money laundering (AML).

Machine Learning (ML) dalam AML

ML memungkinkan analisis data yang cepat dan akurat, sementara deep learning menggunakan jaringan saraf dengan beberapa lapisan abstraksi untuk memproses informasi dengan cara yang mirip dengan proses kognitif manusia. Teknologi ini telah merevolusi upaya AML dengan mengotomatisasi proses deteksi, meningkatkan akurasi, dan efisiensinya dalam mengenali pola dan anomali dalam transaksi keuangan yang mencurigakan.

Deep Learning dalam AML

Deep learning, sebagai subset dari machine learning, melangkah lebih jauh dengan menggunakan jaringan saraf dengan beberapa lapisan abstraksi. Ini dapat memproses informasi dengan cara yang mirip dengan proses kognitif manusia, memberikan makna pada hubungan yang rumit dan seringkali tidak linear dalam data. Model-model seperti ini sangat mampu menangani data tak terstruktur yang umum dalam transaksi keuangan, seperti teks dari komunikasi pelanggan atau narasi transaksi.

METODE PENELITIAN

Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Tinjauan Literatur Sistematis (SLR) dalam usaha untuk meningkatkan temuan yang dianalisis dan disintesis dari penilaian penelitian sebelumnya. SLR adalah metode penelitian yang melibatkan identifikasi, penilaian, dan interpretasi secara sistematis terhadap semua penelitian sebelumnya yang relevan dengan pertanyaan penelitian, area subjek, atau fenomena yang sedang diteliti (Kitchenham & Charters, 2007).

Perumusan Masalah Penelitian

Penelitian ini mengadopsi kerangka kerja PICO (Population, Intervention, Comparison, and Outcomes) untuk merumuskan pertanyaan penelitian. Populasi yang diteliti adalah perusahaan dari sektor industri keuangan yang berpotensi melalui tahapan pencucian uang. Intervensi yang digunakan adalah penggunaan artificial intelligence, khususnya machine learning dan deep learning, untuk mengidentifikasi dan mencegah transaksi pencucian uang. Tidak ada kelompok perbandingan yang diterapkan, karena fokus utamanya adalah menilai peran artificial intelligence dalam mendeteksi transaksi pencucian uang. Outcome dari penelitian ini adalah mengamati peran penerapan machine learning dan deep learning serta manfaat dan tantangan yang terkait dalam mendeteksi pencucian uang di sektor industri keuangan.

Pencarian Literatur

Penelitian ini menggunakan proses sistematis dalam mengumpulkan literatur, melibatkan identifikasi, penyaringan, dan penilaian artikel yang relevan. Database Scopus dipilih karena standar artikel yang tinggi dan cakupan publikasi yang luas. Pencarian literatur dilakukan dengan menggunakan kata kunci yang relevan dengan topik penelitian, dan rentang waktu yang luas dipertahankan untuk memastikan cakupan subjek penelitian yang komprehensif. Data yang ditemukan kemudian disaring berdasarkan kriteria yang ditetapkan, dan artikel-artikel yang memenuhi prasyarat dan standar kelayakan dimasukkan untuk dianalisis.

Kriteria Literatur

Penelitian ini menerapkan kriteria inklusi dan eksklusi untuk menyeleksi sampel artikel. Kriteria inklusi mencakup dokumen atau studi yang bersumber dari Scopus dengan rentang waktu publikasi antara tahun 2019 hingga 2024, jenis dokumen atau studi yang bersifat final, menggunakan Bahasa Indonesia atau Bahasa Inggris, membahas tentang hubungan machine learning dan deep learning terhadap pencucian uang, dan dapat diakses. Kriteria eksklusi, di sisi lain, mencakup dokumen atau studi yang tidak memenuhi kriteria inklusi yang telah ditetapkan.

Seleksi Literatur

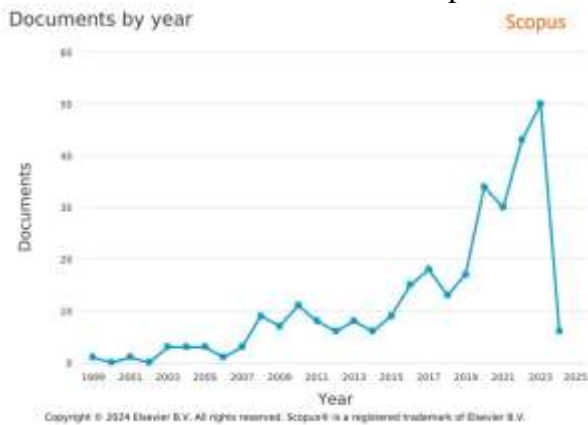
Metode PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) digunakan dalam proses seleksi literatur. Data ditemukan dengan melakukan

pencarian di database Scopus, dan artikel yang relevan dipilih berdasarkan judul penelitian dan abstrak yang sesuai dengan kata kunci yang telah dimodifikasi. Penyaringan kemudian diterapkan pada artikel yang ditemukan, dan artikel-artikel yang memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi dimasukkan untuk dianalisis lebih lanjut.

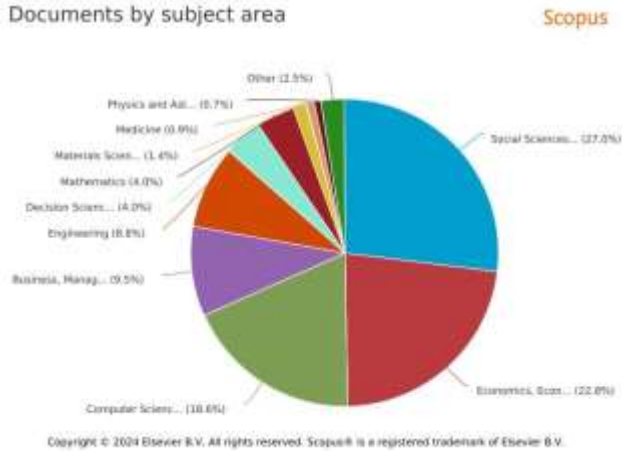
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk memahami peran artificial intelligence, machine learning, dan deep learning dalam sistem anti-money laundering untuk mendeteksi teknik pencucian uang. Sebanyak 20 artikel yang terkumpul dari Scopus dipilih secara sistematis untuk analisis. Gambar 1, menunjukkan tren peningkatan jumlah publikasi setiap tahunnya. Jumlah publikasi terus meningkat dari tahun 2007 hingga 2023, dengan puncak tertinggi terjadi pada tahun 2023. Meskipun terdapat fluktuasi sebelum tahun 2010, tren umum menunjukkan peningkatan minat dan aktivitas penelitian seiring berjalannya waktu. Terdapat 94 jurnal berbeda yang memuat artikel-artikel terkait dengan topik penelitian. Jurnal keuangan dan perbankan seperti *Journal of Money Laundering Control* dan *Journal of Financial Crime* menjadi sorotan utama dengan jumlah publikasi yang signifikan. Selain itu, bidang teknologi informasi dan kecerdasan buatan juga memberikan kontribusi penting dalam literatur ini. Topik pendeteksian pencucian uang menarik minat dari berbagai bidang studi seperti yang tertera pada Gambar 2, dengan ilmu sosial, ekonomi, ekonometrika, keuangan, dan ilmu komputer menjadi subjek utama. Analisis ini menyoroti pentingnya pendekatan lintas disiplin dalam memahami dan mengatasi masalah pencucian uang.

Gambar 1. Publikasi Dokumen Tiap Tahun

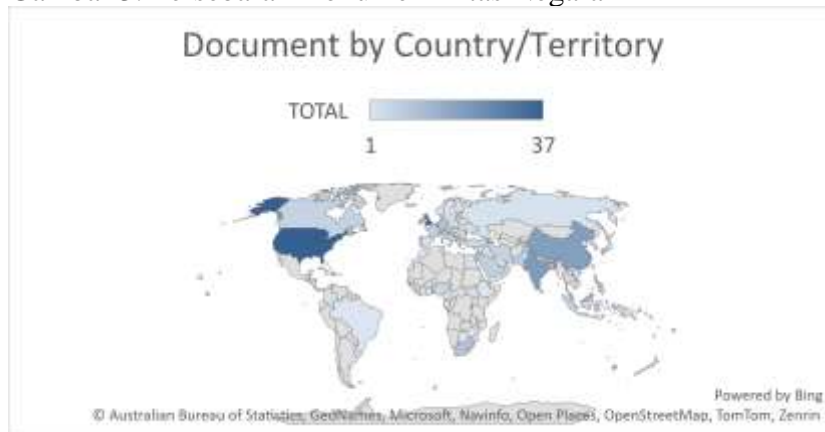


Gambar 2. Dokumen berdasarkan Area Subjek
Documents by subject area



Beberapa penulis seperti Chitimira H. dan Liu X. serta beberapa institusi pendidikan tinggi dan organisasi bisnis terkemuka seperti North-West University dan University College Dublin tercatat sebagai kontributor utama dalam literatur tentang pencucian uang. Ini mencerminkan perhatian luas yang diberikan pada topik ini dari berbagai lembaga dan peneliti di seluruh dunia. Selain itu, Amerika Serikat dan Inggris memimpin dalam jumlah publikasi, diikuti oleh India, China, Australia, dan Malaysia. Namun, terdapat kontribusi dari berbagai negara di seluruh dunia, menyoroti kompleksitas global dari masalah kejahatan keuangan. Ini menekankan pentingnya kerja sama internasional dalam memerangi kejahatan keuangan.

Gambar 3. Persebaran Dokumen lintas Negara

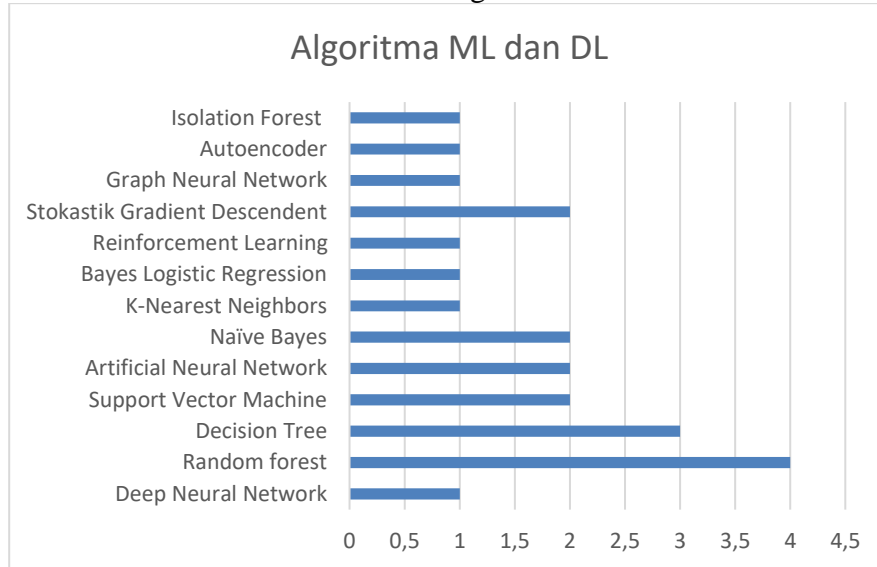


RQ 1 : Bagaimana peran *machine learning* dan *deep learning* yang dapat dieksplorasi untuk deteksi pencucian uang?

Kecerdasan Buatan (AI), terutama melalui penerapan *Machine Learning* (ML) dan *Deep Learning* (DL), telah memainkan peran penting dalam meningkatkan efektivitas sistem Anti-Money Laundering (AML) dalam mendeteksi dan mencegah kejahatan keuangan. Berbagai penelitian telah menyoroti kemajuan signifikan yang telah dicapai dalam penggunaan teknologi ini untuk tujuan tersebut. Penerapan ML dan DL dalam mendeteksi pencucian uang telah menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam literatur. Gambar 4 Menunjukkan semua algoritme yang berkolaborasi untuk membantu meningkatkan kemampuan mendeteksi dan mencegah pencucian uang yang semakin kompleks. Pemilihan algoritme bergantung pada potensi efektivitasnya dalam mengidentifikasi aktivitas ilegal dan mendeteksi pencucian uang dalam data keuangan (Alotibi et al., 2022). AI memiliki kapasitas untuk menganalisis data dalam skala besar dan mengenali pola dan aktivitas yang mencurigakan. Hal ini secara signifikan

meningkatkan kinerja deteksi pencucian uang (Zhang & Trubey, 2019). Selain itu, penting untuk memahami fitur dan karakteristik AI sebagai teknik yang menaungi ML dan DL untuk dapat menilai tantangan dan masalah terkait (Deutsche Bundesbank, 2020).

Gambar 4. Algoritma *Machine Learning* dan *Deep Learning* yang Digunakan dalam Proses Pendeteksian Pencucian Uang



Machine learning menjadi pendekatan yang lebih dominan dengan kemunculan dalam berbagai bentuk dan variasi dibandingkan deep learning, mencerminkan popularitasnya dalam analisis data keuangan dan kemampuannya dalam mendeteksi pola-pola yang mencurigakan. Random Forest merupakan salah satu algoritma yang paling sering digunakan karena efektif dalam memahami dan mengklasifikasikan pola transaksi keuangan, serta meningkatkan akurasi identifikasi transaksi mencurigakan (Alotibi et al., 2022; Ketenci et al., 2021; Labanca et al., 2022; Nicholls et al., 2021; Gupta et al., 2022). Decision Tree fleksibel dalam menangani berbagai jenis data transaksi dan membantu memahami perilaku kepatuhan (Alkhalili et al., 2021; Ruiz & Angelis, 2022; Zhang & Trubey, 2019). Support Vector Machine (SVM) menonjol dalam meramalkan hasil transaksi secara akurat, cocok untuk mengotomatiskan penyaringan daftar pantauan dalam sistem AML (Alkhalili et al., 2021; Zhang & Trubey, 2019). Namun, Naïve Bayes memiliki kinerja rendah dalam mendeteksi pencucian uang karena keterbatasannya dalam menangani data kompleks (Alkhalili et al., 2021; Alotibi et al., 2022). Meskipun lebih sedikit dieksplorasi, beberapa penelitian mengungkap potensi penerapan deep learning dalam sistem AML. Deep Neural Networks (DNN) mencapai tingkat akurasi tertinggi dalam mendeteksi aktivitas pencucian uang (Alotibi et al., 2022). Stokastik Gradient Descendent (SGD) digunakan untuk melatih model pada data transaksi terenkripsi dan mendeteksi penipuan keuangan (Kanamori et al., 2022; Sekgoka et al., 2022). Artificial Neural Network memiliki kinerja tinggi dalam meminimalkan kesalahan pada data pelatihan meskipun dapat menyebabkan generalisasi yang buruk (Zhang & Trubey, 2019). Sementara itu, Graph Neural Network (GNN) dan Autoencoder menjadi alternatif yang menjanjikan dalam mendeteksi pencucian uang dengan menangkap hubungan kompleks dan representasi data (Nicholls et al., 2021). Integrasi kolaboratif antar algoritma berfungsi sebagai dasar yang kuat untuk meningkatkan kapasitas dalam mengidentifikasi pola dan perilaku yang rumit. Kombinasi algoritma ML dan DL dapat meningkatkan akurasi deteksi dengan memanfaatkan kekuatan masing-masing pendekatan (Alotibi et al., 2022; Alkhalili et al.,

2021). Penggabungan Random Forest dan Isolation Forest berhasil mencapai tingkat deteksi yang lebih tinggi (Labanca et al., 2022). Integrasi ML dengan DL membuka kemajuan signifikan dalam berbagai aplikasi, memanfaatkan keunggulan masing-masing untuk menghasilkan model yang lebih kuat dan akurasi tertinggi dalam mendeteksi pencucian uang (Alotibi et al., 2022; Alkhalili et al., 2021).

Penting untuk memahami bahwa setiap organisasi memiliki karakteristik unik yang memerlukan penyesuaian alat AI yang digunakan. Hal ini memungkinkan untuk menyelaraskan teknologi ML dan DL dengan algoritma yang paling sesuai dengan kebutuhan spesifik dari organisasi tersebut. Oleh karena itu, penelitian tentang penerapan teknologi ini dalam konteks AML tidak hanya mengeksplorasi keefektifan berbagai algoritma, tetapi juga menyoroti pentingnya adaptasi dan personalisasi dalam mengimplementasikan solusi AI. Secara keseluruhan, penerapan ML dan DL dalam sistem AML telah membawa dampak yang signifikan dalam meningkatkan kemampuan sistem untuk mendeteksi dan mencegah kejahatan keuangan. Dengan terus mengembangkan dan mengintegrasikan teknologi ini, diharapkan dapat terus meningkatkan efektivitas dalam memerangi aktivitas pencucian uang dan mendorong perkembangan lebih lanjut dalam domain ini.

RQ 2 : Apa faktor pendorong yang dapat dieksplorasi terkait pengaruh adopsi dan implementasi *machine learning* dan *deep learning* untuk memerangi pencucian uang?

Penerapan teknologi dalam sistem deteksi pencucian uang didorong oleh beberapa faktor utama yang saling terkait. Pertama, efektivitas dan efisiensi proses menjadi pendorong utama, dengan pergeseran paradigma ke algoritma pembelajaran mesin (ML) untuk pemodelan yang lebih efektif dalam mendeteksi aktivitas mencurigakan, seperti yang diidentifikasi oleh Deutsche Bundesbank (2020). Di Afrika Selatan, bank-bank telah meningkatkan efektivitas melalui integrasi solusi teknologi dalam fungsi Customer Due Diligence (CDD) (Gaviyau & Sibindi, 2023). Regulasi dan kepatuhan juga menjadi faktor penting, dengan perlunya perubahan undang-undang untuk mewajibkan pengadopsian teknologi canggih seperti AI dan 5G untuk meningkatkan deteksi dan pencegahan kejahatan dunia maya (Chitimira & Ncube, 2021). Analisis praktik terbaik internasional dalam AML juga menyoroti pentingnya peningkatan pencegahan pencucian uang secara global (Chitimira & Munedzi, 2022). Keamanan dan pencegahan menjadi pendorong signifikan, dengan teknologi kecerdasan buatan dan 5G potensial dalam memerangi kejahatan dunia maya di lembaga keuangan (Chitimira & Ncube, 2021). Penggunaan analisis jaringan sosial juga membantu mengidentifikasi hubungan antara pelanggan yang mencurigakan (Khalique et al., 2021).

Optimalisasi model ML penting untuk meningkatkan kecepatan dan akurasi deteksi, dengan peningkatan definisi kejadian sebagai kunci efektivitas model dalam mengidentifikasi kegiatan pencucian uang (Gupta et al., 2021). Pelatihan juga berpengaruh pada keputusan pelaporan transaksi mencurigakan, menyarankan pengembangan program kompetensi untuk petugas pelaporan pencucian uang (Jamil et al., 2023). Kepuasan kerja karyawan dalam sistem AML juga merupakan faktor pendorong, dengan keberagaman keahlian dan otonomi berpengaruh positif terhadap kepuasan kerja (Kannan et al., 2022). Namun, rendahnya keberagaman keahlian dan otonomi dapat berdampak negatif pada motivasi. Secara keseluruhan, penerapan teknologi canggih seperti AI, ML, dan analisis data besar menjadi kunci dalam meningkatkan efektivitas, kepatuhan, keamanan, kecepatan, dan kepuasan kerja dalam sistem deteksi pencucian uang.

RQ 3 : Apa arah penelitian yang bisa dieksplorasi di masa depan dalam upaya mendeteksi pencucian uang?

Dalam upaya mendeteksi pencucian uang, penelitian di masa depan dapat mengeksplorasi berbagai arah yang melibatkan pengembangan teknologi baru dan implementasi metode analisis yang lebih canggih pada sistem AML. Peningkatan teknik dan pengembangan algoritme yang lebih canggih serta adaptif untuk mendeteksi praktik pencucian uang dalam lingkungan mata uang digital menjadi fokus utama. Selain itu, eksplorasi model semi-supervised learning dan deep learning diharapkan dapat meningkatkan akurasi deteksi terhadap aktivitas mencurigakan dalam transaksi keuangan. Solusi teknologi seperti kecerdasan buatan dan analisis data besar akan terus ditekankan dalam mendeteksi dan mencegah praktik kejahatan keuangan yang semakin canggih. Eksplorasi efektivitas berbagai model machine learning menjadi penting dalam menemukan pendekatan yang sesuai dalam mengidentifikasi pola perilaku mencurigakan. Penyelidikan mendalam terkait dampak teknologi juga diperlukan untuk meningkatkan keamanan sistem dan melindungi data dari ancaman pencurian dan manipulasi.

Pemahaman tentang implikasi pengetahuan dan pelatihan terhadap pengambilan keputusan oleh petugas anti-money laundering menjadi penting untuk meningkatkan kualitas serta akurasi proses deteksi dan penanganan kasus pencucian uang. Selain itu, metode untuk meningkatkan kualitas data dalam sistem AML dan penanganan masalah privasi terkait dengan penggunaan data perlu diselidiki. Deteksi anomali dan pengembangan sinyal peringatan real-time menjadi fokus penting dalam memperkuat sistem deteksi terhadap aktivitas pencucian uang yang semakin canggih. Pertimbangan etika dalam penerapan teknologi dan kolaborasi dengan badan pengawas seperti Financial Action Task Force (FATF) menjadi bagian integral dari upaya untuk meningkatkan efektivitas sistem deteksi dan pencegahan pencucian uang. Penerapan machine learning dalam sistem AML di berbagai wilayah juga dapat membantu meningkatkan deteksi pendanaan terorisme secara global. Dengan mempertimbangkan aspek-aspek tersebut, diharapkan tercipta solusi yang lebih efektif melalui penelitian masa depan dalam memerangi praktik pencucian uang.

KESIMPULAN

Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi peran machine learning dan deep learning dalam mendeteksi pencucian uang serta mengidentifikasi keragaman hasil dari penelitian terdahulu yang relevan. Dua puluh artikel dari tahun 2019 hingga 2023 dipilih dari jurnal terindeks di Scopus dengan mematuhi kriteria inklusi dan eksklusi serta panduan PRISMA. Hasilnya disintesis untuk memberikan pemahaman komprehensif.

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Machine learning dan deep learning berperan efektif dalam sistem Anti-money laundering (AML) dengan kemajuan signifikan dalam mendeteksi kejahatan keuangan. Integrasi kolaboratif antara beberapa algoritma meningkatkan tingkat akurasi deteksi dengan saling menyempurnakan kinerja deteksi satu sama lain.
2. Penerapan teknologi dalam sistem deteksi pencucian uang didorong oleh kebutuhan akan efektivitas dan efisiensi, regulasi dan kepatuhan, serta keamanan dan pencegahan. Teknologi seperti ML, AI, dan analisis data besar meningkatkan deteksi dan pencegahan aktivitas mencurigakan. Pelatihan yang memadai dan keberagaman keahlian juga penting dalam efektivitas dan kepuasan kerja dalam sistem AML. Secara keseluruhan, teknologi canggih menjadi kunci dalam mengoptimalkan sistem deteksi pencucian uang.
3. Penelitian masa depan dapat difokuskan pada pengembangan algoritma yang lebih

canggih dan adaptif untuk mendeteksi praktik pencucian uang yang semakin kompleks. Upaya juga perlu dilakukan untuk meningkatkan kualitas data, menangani masalah privasi, serta mempertimbangkan etika dalam penerapan teknologi dan kolaborasi dengan badan pengawas untuk meningkatkan efektivitas sistem deteksi dan pencegahan pencucian uang.

Keterbatasan

Keterbatasan dalam penelitian ini adalah akses yang terbatas terhadap jurnal yang relevan, dikarenakan hanya jurnal-jurnal dengan *open access* yang dapat penulis gunakan. Hal ini membatasi cakupan literatur yang dapat digunakan untuk mendukung temuan dan analisis.

Saran

Penelitian mendatang disarankan untuk mengembangkan strategi baru menggunakan integrasi *machine learning* dan *deep learning* serta penggabungan dengan teknologi lain untuk meningkatkan efektivitas deteksi pencucian uang. Kombinasi kedua algoritma ini dapat menjadi area penelitian yang menarik, dengan menggunakan metode hipotesis untuk membuktikan tingkat efektivitas dan akurasi deteksi pola transaksi mencurigakan, terutama dalam konteks pencucian uang pada sistem AML. Selain itu, penelitian lebih lanjut tentang penyesuaian pendekatan *machine learning* dan *deep learning* berdasarkan karakteristik unik dari setiap dataset dapat dilakukan dengan memanfaatkan sumber data tambahan seperti Web of Science. Hal ini akan membantu memperluas literatur referensi yang relevan dengan penelitian. Penelitian ini memiliki signifikansi penting dalam meningkatkan sistem AML dan membantu perusahaan merancang strategi pendeteksian pencucian uang yang lebih efektif, berkontribusi pada pemahaman ilmiah dan praktik manajemen.

REFERENSI

- Albrecht, C., Duffin, K. M., Hawkins, S., & Morales Rocha, V. M. (2019). The use of cryptocurrencies in the money laundering process. *Journal of Money Laundering Control*, 22(2), 210-216. <https://doi.org/10.1108/JMLC-12-2017-0074>
- Alexandre, C., & Balsa, J. (2015). A multiagent based approach to money laundering detection and prevention. *ICAART 2015 - 7th International Conference on Agents and Artificial intelligence, Proceedings*, 1, 230–235. <https://doi.org/10.5220/0005281102300235>
- Alkhalili, M., Qutqut, M. H., & Almasalha, F. (2021). Investigation of Applying *Machine learning* for Watch-List Filtering in *Anti-money laundering*. *IEEE Access*, 9, 18481–18496. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3052313>
- Alotibi, J., Almutanni, B., Alsubait, T., Alhakami, H., & Baz, A. (2022). *Money laundering* Detection using *Machine learning* and *Deep learning*. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13(10), 732–738. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2022.0131087>
- Ashtiani, M. N., & Raahmei, B. (2023). News-based intelligent prediction of financial markets using text mining and *machine learning*: A systematic literature review. *Expert Systems with Applications*, 119509.
- AUSTRAC. (2011). *Money laundering in Australia 2011*. <https://www.austrac.gov.au/business/how-comply-guidance-and-resources/guidance-resources/money-laundering-australia-2011>
- Bishop, C. M., & Nasrabadi, N. M. (2006). *Pattern recognition and machine learning* (Vol. 4, No. 4, p. 738). New York: Springer.

- Bjelajac, Z., & Bajac, M. B. (2022). Blockchain technology and money laundering. *Law Theory & Prac.*, 39, 21.
- Chitimira, H., & Munedzi, S. (2023). Overview international best practices on customer due diligence and related *anti-money laundering* measures. *Journal of Money Laundering Control*, 26(7), 53–62. <https://doi.org/10.1108/JMLC-07-2022-0102>
- Chitimira, H., & Ncube, P. (2021). The regulation and use of artificial intelligence and 5g technology to combat cybercrime and financial crime in south african banks. *Potchefstroom Electronic Law Journal*, 24. Scopus. <https://doi.org/10.17159/1727-3781/2021/V24I0A10742>
- Deutsche Bundesbank. (n.d.). Policy Discussion Paper: The Use of Artificial Intelligence and *Machine learning* in the Financial Sector. 2020.
- Gaviyau, W., & Sibindi, A. B. (2023). *Anti-money laundering* and customer due diligence: Empirical evidence from South Africa. *Journal of Money Laundering Control*, 26(7), 224–238. <https://doi.org/10.1108/JMLC-06-2023-0103>
- Han, J., Huang, Y., Liu, S., & Towey, K. (2020). *Artificial intelligence for anti-money laundering*: a review and extension. *Digital Finance*, 2(3–4), 211–239. <https://doi.org/10.1007/s42521-020-00023-1>
- Hinton, G. E., & Salakhutdinov, R. R. (2006). Reducing the Dimensionality of Data with Neural Networks. *Science*, 313(5786), 504–507.
- Jamil, A. B., Johari, R. J., Zarefar, A., & Yudi, M. M. (2023). An analysis of suspicious transaction reporting decisions in Malaysia’s money services business. *Edelweiss Applied Science and Technology*, 8(1), 24–32. <https://doi.org/10.55214/25768484.v8i1.413>
- Kafteranis, D., & Turksen, U. (2022). Art of Money Laundering with Non-Fungible Tokens: A myth or reality?. *European Law Enforcement Research Bulletin*, 22(6), 23-31.
- Kanamori, S., Abe, T., Ito, T., Emura, K., Wang, L., Yamamoto, S., Phong, L. T., Abe, K., Kim, S., Nojima, R., Ozawa, S., & Moriai, S. (2022). Privacy-Preserving Federated Learning for Detecting Fraudulent Financial Transactions in Japanese Banks. *Journal of Information Processing*, 30, 789–795. Scopus. <https://doi.org/10.2197/ipsjip.30.789>
- Kannan, R., Reddiar, Y., Ramakrishnan, K., Eastaff, M. S., & Ramesh, S. (2022). *Job characteristics of a Malaysian bank’s anti-money laundering system and its employees’ job satisfaction [version 2; peer review: 2 approved, 1 not approved]*.
- Ketenci, U. G., Kurt, T., Onal, S., Erbil, C., Akturkoglu, S., & Ilhan, H. S. (2021). A Time-Frequency Based Suspicious Activity Detection for *Anti-money laundering*. *IEEE Access*, 9, 59957–59967. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3072114>
- Kitchenham, B. A., & Charters, S. (2007). Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. *Technical Report EBSE 2007- 001. Keele University and Durham University Joint Report*.
- Labanca, D., Primerano, L., Markland-Montgomery, M., Polino, M., Carminati, M., & Zanero, S. (2022). Amaretto: An Active Learning Framework for Money Laundering Detection. *IEEE Access*, 10, 41720–41739. Scopus. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3167699>
- Leite, G. S., Albuquerque, A. B., & Pinheiro, P. R. (2019). Application of technological solutions in the fight against *money laundering*-A systematic literature review. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(22). <https://doi.org/10.3390/app9224800>
- Nicholls, J., Kuppa, A., & Le-Khac, N.-A. (2021). Financial Cybercrime: A Comprehensive Survey of *Deep learning* Approaches to Tackle the Evolving Financial Crime Landscape. *IEEE Access*, 9, 163965–163986. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3134076>

- Ruiz, E. P., & Angelis, J. (2022). Combating *money laundering* with *machine learning* – applicability of supervised-learning algorithms at *cryptocurrency* exchanges. *Journal of Money laundering Control*, 25(4), 766–778. <https://doi.org/10.1108/JMLC-09-2021-0106>
- Salehi, A., Ghazanfari, M., & Fathian, M. (2017). Data mining techniques for *money laundering*. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(20), 10084–10094. <https://doi.org/10.5120/ijca2016910953>
- Savage, D., Wang, Q., Chou, P., Zhang, X., & Yu, X. (2016). *Detection of money laundering groups using supervised learning in networks*. <http://arxiv.org/abs/1608.00708>
- Sekgoka, C. P., Yadavalli, V. S. S., & Adetunji, O. (2022). Privacy-preserving data mining of cross-border financial flows. *Cogent Engineering*, 9(1), 2046680. <https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2046680>
- Shahbazi, Z., & Byun, Y. C. (2022). *Machine learning-Based Analysis of Cryptocurrency Market Financial Risk Management*. *IEEE Access*, 10, 37848–37856. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3162858>
- Singh, C., & Lin, W. (2020). Can *artificial intelligence*, RegTech and CharityTech provide effective solutions for *anti-money laundering* and counter-terror financing initiatives in charitable fundraising. *Journal of Money laundering Control*, 24(3), 464–482. <https://doi.org/10.1108/JMLC-09-2020-0100>
- Soltani, R., Nguyen, U.T., Yang, Y., Faghani, M., Yagoub, A. and An, A. (2016). A new algorithm for *money laundering* detection based on structural similarity. *2016 IEEE 7th Annual Ubiquitous Computing, Electronics and Mobile Communication Conference (UEMCON)*, 1–7.
- Suresh, C., Reddy, K. T., & Sweta, N. (2016). A Hybrid Approach for Detecting Suspicious Accounts in *Money laundering* Using Data Mining Techniques. *International Journal of Information Technology and Computer Science*, 8(5), 37–43. <https://doi.org/10.5815/ijitcs.2016.05.04>
- Syed Mustapha Nazri, S.N.F., Zolkafllil, S. and Omar, N. (2019). Mitigating financial leakages through effective *money laundering* investigation. *Managerial Auditing Journal*, 34(2), 189–207.
- Teichmann, F., & Falker, M. C. (2020). *Money laundering through cryptocurrencies*. In *Artificial Intelligence: Anthropogenic Nature vs. Social Origin* (pp. 500-511). Springer International Publishing.
- Zhang, Y., & Trubey, P. (2019). *Machine learning* and Sampling Scheme: An Empirical Study of *Money laundering* Detection. *Computational Economics*, 54(3), 1043–1063. <https://doi.org/10.1007/s10614-018-9864-z>