



PENGGUNAAN REINFORCEMENT LEARNING DALAM KEPUTUSAN INVESTASI – A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Raihanah Shafa Shabirah, Totok Dewayanto ¹

Departemen Akuntansi Fakultas Ekonomika dan Bisnis Universitas Diponegoro
Jl.Prof. Soedharto SH Tembalang, Semarang 50239, Phone:+6285756111210

ABSTRACT

This study aims to systematically synthesize the development, mechanisms, benefits, and challenges of applying reinforcement learning (RL) in investment decisions. Although the use of RL in investment contexts has grown rapidly, existing studies remain fragmented and exhibit substantial methodological variation, highlighting the need for a structured mapping of the role of RL in investment decisions.

This study employs a systematic literature review following the PRISMA protocol by searching the Scopus database for publications from 2021 to 2025. Out of 2,309 articles initially identified, 30 articles met the inclusion criteria and were analyzed further.

The synthesis results indicate that reinforcement learning is applied through adaptive learning mechanisms based on market condition representations and reward functions that account for risk and portfolio performance. The application of RL contributes to improved investment performance and stability as well as enhanced risk management; however, it still faces challenges related to overfitting risk, data limitations, structural market changes, and low model transparency. This study provides a comprehensive mapping of the literature and identifies research gaps for the development of more robust models in the future..

Keywords: Reinforcement Learning, Investment Decisions, Machine Learning, Systematic Literature Review

PENDAHULUAN

Keputusan investasi merupakan aspek penting dalam kegiatan keuangan yang menentukan bagaimana individu maupun institusi mengalokasikan dana untuk memperoleh imbal hasil di masa depan. Proses ini melibatkan pemilihan berbagai instrumen keuangan seperti saham, obligasi, maupun aset lainnya yang disesuaikan dengan tujuan investasi dan tingkat risiko yang dapat ditoleransi. Keberhasilan investasi sangat dipengaruhi oleh ketepatan dalam memilih aset serta menentukan waktu masuk dan keluar dari pasar, karena hal tersebut berpengaruh langsung terhadap pertumbuhan kekayaan dan kemampuan menghadapi risiko finansial (Van Horne & Wachowisz, 2008).

Perkembangan teknologi keuangan telah membawa perubahan signifikan dalam cara investor berinteraksi dengan pasar modal. Inovasi seperti *robo-advisor*, *algorithmic trading*, dan sistem manajemen portofolio otomatis memungkinkan proses investasi berlangsung lebih cepat dan efisien dibandingkan pendekatan tradisional (Arner et al., 2016). Selain itu, meningkatnya ketersediaan data dari berbagai sumber mendorong penggunaan teknologi *artificial intelligence* (AI) dan *machine learning* (ML) untuk membantu menganalisis data keuangan dan merancang strategi investasi yang lebih adaptif terhadap dinamika pasar (Heaton et al., 2023).

Dalam kondisi pasar yang dinamis dan dipengaruhi berbagai faktor eksternal seperti kebijakan moneter, geopolitik, dan fluktuasi ekonomi, pengambilan keputusan investasi memerlukan pendekatan yang rasional dan berbasis data. Ketidakpastian pasar menuntut investor untuk mampu mengevaluasi risiko dan potensi keuntungan secara

¹ Corresponding author

sistematis agar keputusan yang diambil tidak hanya bersifat spekulatif (Van Horne & Wachowisz, 2008). Namun demikian, metode analisis tradisional seperti analisis fundamental dan teknikal memiliki keterbatasan dalam menghadapi perubahan kondisi pasar yang cepat dan tidak menentu (Cont, 2001).

Dalam proses pengambilan keputusan berbasis data, analisis dapat dilakukan melalui beberapa tingkatan, yaitu analisis deskriptif, diagnostik, prediktif, dan preskriptif. Analisis deskriptif digunakan untuk memahami pola historis suatu instrumen investasi, sedangkan analisis diagnostik bertujuan mengidentifikasi faktor yang memengaruhi perubahan nilai investasi (Brewer et al., 2019). Selanjutnya, analisis prediktif digunakan untuk memperkirakan pergerakan pasar menggunakan model statistik maupun algoritma machine learning yang mampu meningkatkan akurasi prediksi (Patel et al., 2015).

Pada tahap yang lebih lanjut, analisis preskriptif berperan dalam memberikan rekomendasi keputusan terbaik berdasarkan berbagai kemungkinan kondisi yang akan terjadi (Bertsimas & Kallus, 2020). Dalam konteks ini, *reinforcement learning* (RL) menjadi salah satu pendekatan yang relevan karena memungkinkan sistem belajar dari interaksi dengan lingkungan untuk menentukan strategi yang memberikan hasil optimal dalam jangka panjang (Sutton & Barto, 2015). Pendekatan ini dinilai memiliki potensi untuk membantu pengambilan keputusan investasi yang lebih adaptif terhadap dinamika pasar yang kompleks.

Berikut adalah pertanyaan penelitian dalam penelitian ini

RQ1: Bagaimana mekanisme penggunaan reinforcement learning dalam keputusan investasi?

RQ2: Apa manfaat penggunaan reinforcement learning dalam keputusan investasi?

RQ3: Apa tantangan penggunaan reinforcement learning dalam keputusan investasi?

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan systematic literature review terkait dengan penggunaan reinforcement learning dalam keputusan investasi serta apa saja manfaat dan tantangan yang dihadapi ketika menggunakan reinforcement learning dalam pengambilan keputusan investasi.

TINJAUAN PUSTAKA

Teori Keputusan Normatif

Teori keputusan normatif merupakan pendekatan dalam teori keputusan yang bertujuan merumuskan prinsip-prinsip rasionalitas dalam pengambilan keputusan. Pendekatan ini tidak menjelaskan bagaimana individu secara faktual membuat keputusan, melainkan menetapkan standar mengenai bagaimana keputusan seharusnya diambil agar konsisten dan logis berdasarkan informasi yang tersedia (Peterson, 2009). Dengan demikian, fokus utama teori ini terletak pada penyusunan kerangka rasional yang dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas suatu keputusan.

Markov Decision Process (MDP)

Markov decision process (MDP) adalah kerangka formal yang banyak digunakan untuk memodelkan situasi pengambilan keputusan yang bersifat dinamis dan stokastik, di mana seorang agen dihadapkan pada serangkaian pilihan aksi yang memengaruhi keadaan sistem secara bertahap dari waktu ke waktu. MDP dirancang untuk menangkap proses pengambilan keputusan yang berlangsung dalam lingkungan yang tidak sepenuhnya deterministik. Dalam struktur MDP, terdapat lima elemen utama yang menjadi dasar pengambilan keputusan, yaitu: himpunan status (S), himpunan aksi (A), fungsi transisi probabilitas (P), fungsi reward (R), dan faktor diskonto (γ) (Zhou et al., 2022).

Reinforcement Learning

Reinforcement learning merupakan metode pembelajaran mesin yang memungkinkan agen belajar melalui interaksi langsung dengan lingkungan untuk mencapai tujuan tertentu. Agen tidak dibekali dengan pasangan data input-output seperti pada supervised learning, tetapi harus menemukan sendiri hubungan antara aksi dan reward melalui pengalaman (*trial and error*) (Ertel, 2017). Setiap aksi yang dilakukan agen akan menghasilkan feedback dari lingkungan dalam bentuk reward atau penalti, dan dari situ agen belajar membentuk kebijakan yang bertujuan memaksimalkan reward jangka panjang (Kumar et al., 2021).

Secara formal, RL dimodelkan menggunakan kerangka MDP, yang mencakup himpunan status (S), aksi (A), fungsi transisi probabilitas (P), fungsi reward (R), serta faktor diskonto (γ) (Ertel, 2017). Berdasarkan struktur ini, agen RL berusaha untuk mencari fungsi kebijakan optimal, yaitu fungsi yang memetakan status ke aksi sedemikian rupa agar reward kumulatif maksimal.

Keputusan Investasi

Keputusan investasi merupakan salah satu pilar fundamental dalam ranah keuangan, baik bagi individu maupun entitas korporasi. Secara konseptual, keputusan ini berhubungan langsung dengan bagaimana dana dialokasikan ke dalam berbagai instrumen atau proyek, dengan tujuan utama memperoleh return yang sepadan dengan risiko yang dihadapi. Van Horne & Wachowisz (2008) menegaskan bahwa keputusan investasi memiliki peran sentral karena menentukan keberlanjutan penciptaan nilai bagi pemilik modal, bahkan lebih penting daripada keputusan pendanaan maupun dividen. Pandangan ini menempatkan keputusan investasi sebagai jantung dari strategi keuangan, sebab kualitas pilihan investasi yang diambil akan menentukan apakah suatu entitas mampu bertumbuh, bertahan, atau justru kehilangan daya saing di tengah dinamika ekonomi global.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) untuk meminimalkan bias, baik yang bersumber dari pemilihan literatur, publikasi, maupun proses ekstraksi data, sehingga hasilnya lebih dapat diandalkan (Kitchenham, 2004). Berdasarkan pada kerangka PICO, kata kunci yang digunakan adalah *reinforcement learning* dan keputusan investasi. Kata kunci tersebut digunakan sebagai dasar yang akan dikembangkan dalam melakukan pencarian literatur.

Tabel 1
Framework PICO

PICO Tool	Keterangan
<i>Population</i>	Investor
<i>Intervention</i>	<i>Reinforcement learning</i>
<i>Comparison</i>	-
<i>Outcome</i>	Keputusan Investasi

Sumber: Analisis Artikel

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder. Data tersebut merupakan data yang diperoleh dari SCOPUS yang berbentuk artikel jurnal. Kata kunci yang digunakan dalam penelitian ini adalah ("*reinforcement learning*") AND ("*investment decisions*" or *investment* or "*asset management*" or "*financial planning*" or "*financial goal*" or "*portfolio management*" or *finance* or *financial* or *corporate*).

Kriteria literatur terdiri atas inklusi dan eksklusi yang disesuaikan dengan *framework* PICO yang sebelumnya telah dibuat dengan tambahan sebagai berikut:

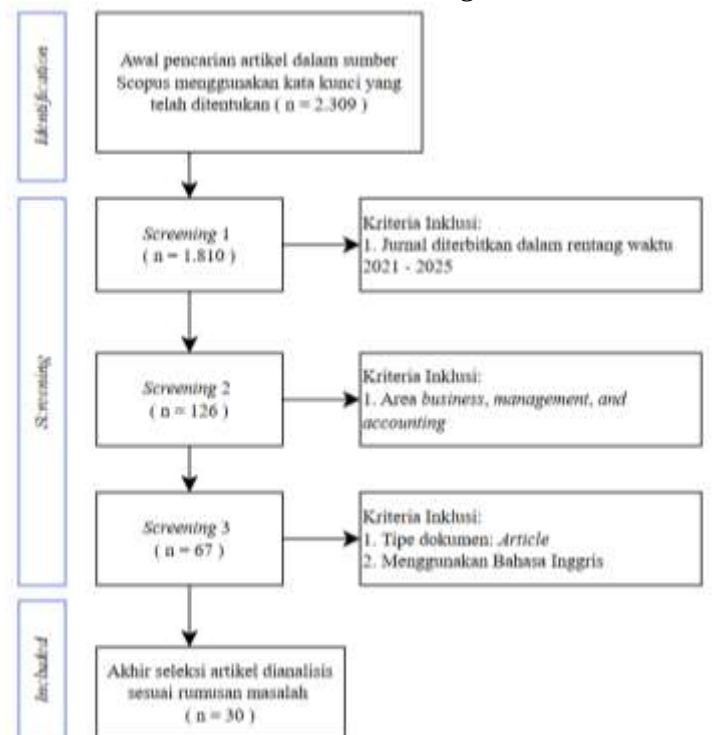
Tabel 2
Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria	Inklusi	Eksklusi
Subjek	Penelitian pada sub pembahasan <i>machine learning</i> berupa <i>reinforcement learning</i>	Penelitian pada sub pembahasan <i>machine learning</i> lain seperti <i>unsupervised learning</i> , <i>supervised learning</i> ataupun bidang lain seperti <i>big data</i> , <i>cloud</i> , dan <i>IoT</i> .
Bahasa	Inggris	Tidak dalam bahasa Inggris
Jenis Artikel	<i>Original research</i>	<i>Article review</i>
Jangka Waktu	Maksimal 5 tahun terakhir (2021-2025)	Penerbitan artikel dibawah tahun 2021
Area	<i>Business, management, and accounting</i>	Selain <i>business, management, and accounting</i>

Sumber: Analisis Artikel

Setelah melakukan pengumpulan data melalui Scopus, peneliti menggunakan metode PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta Analyses) yang terdiri dari tiga tahapan.

Gambar 1
PRISMA Flow Diagram



Sumber: Analisis Penelitian

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Mekanisme Penggunaan Reinforcement Learning Dalam Keputusan Investasi

Tabel 3
Mekanisme Penggunaan Reinforcement Learning Dalam Keputusan Investasi

No.	Judul	Peneliti	Temuan
1	<i>New reinforcement learning based on representation transfer for portfolio management</i>	(Jiang et al., 2024)	Menggunakan metode RTRL untuk memperbaiki cara agen mengenali kondisi pasar (<i>state encoding</i>), sehingga portofolio lebih cepat beradaptasi dengan perubahan strategi.
2	<i>Deep reinforcement learning for portfolio management</i>	(S. Yang, 2023)	Menerapkan kerangka TC-MAC yang berfungsi sebagai sistem koordinasi antar-agen untuk mengubah data aset menjadi informasi keputusan portofolio yang lebih akurat.
3	<i>Stock Portfolio Management by Using Fuzzy Ensemble Deep Reinforcement Learning Algorithm</i>	(Hao et al., 2023)	Menggunakan logika "Fuzzy" (logika samar) untuk menerjemahkan ketidakpastian tren pasar menjadi input yang bisa dipahami algoritma RL dalam mengotomatisasi perdagangan.
4	<i>Development of an AI framework using neural process continuous reinforcement learning to optimize highly volatile financial portfolios</i>	(Kang et al., 2024)	Menggabungkan RL dengan <i>neural processes</i> (AutoBat-ConvLSTM) yang bertindak sebagai simulasi ingatan pasar untuk menyesuaikan bobot aset di tengah fluktuasi harga.
5	<i>Deep Equal Risk Pricing of Financial Derivatives with Non-Translation Invariant Risk Measures</i>	(Carbonneau & Godin, 2023)	Menerapkan strategi <i>deep hedging</i> di mana RL berperan sebagai pelindung nilai otomatis untuk meminimalkan risiko investasi saat kondisi pasar tidak stabil.

6	<i>Reinforcement learning with dynamic convex risk measures</i>	(Coache, 2024)	Memproses data harga melalui algoritma <i>value-based</i> (penghitung skor keuntungan) atau <i>policy-based</i> (penentu aturan aksi) untuk menghasilkan perintah beli, jual, atau tahan.
7	<i>Intelligent ESG Portfolio Optimization: A Multi-Objective Ai-Driven Framework For Sustainable Investments In The Indian Stock Market</i>	(Gaurav et al., 2025)	Menggunakan metode <i>Actor-Critic</i> (agen penentu aksi dan agen pengevaluasi) yang belajar secara mandiri dari umpan balik pasar untuk menyeimbangkan portofolio secara berkala.
8	<i>Hedging Using Reinforcement Learning: Contextual K-Armed Bandit Versus Q-Learning</i>	(Cannelli et al., 2023)	Mengombinasikan sistem <i>Bandit</i> (untuk kecepatan belajar) dan <i>Q-learning</i> (untuk efisiensi biaya) guna meminimalkan biaya transaksi dalam investasi jangka panjang.
9	<i>Deep LSTM And LSTM-Attention Q-Learning Based Reinforcement Learning In Oil and Gas Sector Prediction</i>	(Opeoluwa & Awwal, 2024)	Menggunakan <i>Deep LSTM</i> dan mekanisme atensi sebagai alat pendeteksi pola waktu agar RL dapat memprediksi tren harga sektor minyak secara lebih tajam.
10	<i>Can Artificial Intelligence (AI) Manage Behavioural Biases Among Financial Planners?</i>	(Hasan et al., 2023)	Menerapkan <i>backpropagation</i> (mekanisme koreksi kesalahan otomatis) untuk memastikan keputusan investasi bebas dari bias psikologis manusia dan fokus pada tujuan keuangan.

Sumber: Analisis Artikel

Reinforcement learning (RL) dalam keputusan investasi bekerja melalui proses pembelajaran yang membentuk representasi kondisi pasar sebelum menentukan tindakan investasi. Sistem tidak hanya membaca data harga historis, tetapi juga memahami pola dan dinamika pasar sehingga keputusan seperti membeli, menjual, atau menahan aset didasarkan pada kondisi pasar yang lebih komprehensif.

Proses pembelajaran RL menggunakan fungsi imbalan (reward) yang merepresentasikan kinerja investasi, seperti keuntungan dan risiko portofolio. Melalui interaksi berulang dengan lingkungan pasar, sistem terus memperbarui strategi agar mampu menghasilkan keputusan investasi yang lebih optimal.

Selain itu, RL sering dikombinasikan dengan teknik pembelajaran mendalam untuk menangkap pola pasar yang kompleks, termasuk hubungan non-linear dan perubahan volatilitas. Integrasi ini memungkinkan sistem menyesuaikan strategi investasi secara dinamis berdasarkan informasi pasar yang terus berkembang.

Dalam konteks yang lebih luas, RL juga digunakan untuk pengambilan keputusan investasi multi-periode dan manajemen risiko. Pendekatan ini membantu sistem mempertimbangkan dampak keputusan saat ini terhadap kinerja investasi di masa depan, sehingga strategi yang dihasilkan lebih adaptif dan berorientasi jangka panjang.

Manfaat Penggunaan Reinforcement Learning Dalam Keputusan Investasi

Tabel 4
Manfaat Penggunaan Reinforcement Learning Dalam Keputusan Investasi

No.	Judul	Peneliti	Temuan
1	<i>A Novel Stock Trading Model Based on Reinforcement Learning and Technical Analysis</i>	(Cheng et al., 2021)	Meningkatkan kualitas pengambilan keputusan investasi perusahaan melalui pencapaian profitabilitas positif dan <i>win rate</i> stabil (48%-60%) bahkan pada kondisi <i>spread</i> tinggi.
2	<i>Take Bitcoin Into Your Portfolio: A Novel Ensemble Portfolio Optimization Framework For Broad Commodity Assets</i>	(Li et al., 2021)	Mengoptimalkan keputusan alokasi aset pada portofolio komoditas yang menghasilkan imbal hasil superior serta <i>Sharpe ratio</i> yang lebih efisien dibandingkan strategi konvensional.
3	<i>Does Reinforcement Learning Outperform Deep Learning and Traditional Portfolio Optimization Models In Frontier and Developed Financial Markets?</i>	(Minh et al., 2023)	Meningkatkan performa portofolio dan <i>Sharpe ratio</i> melalui kemampuan reinforcement learning yang secara konsisten mengungguli metode tradisional maupun <i>deep learning</i> konvensional dalam pengambilan keputusan investasi, terutama saat menghadapi kondisi pasar yang kurang menguntungkan.



4	<i>Risk-Sensitive Deep Reinforcement Learning for Portfolio Optimization</i>	(Wang & Liu, 2025)	Mengelola volatilitas dan risiko kerugian (<i>downside risk</i>) dalam keputusan investasi secara efektif, sehingga imbal hasil tetap menguntungkan bahkan dalam kondisi pasar yang tidak menentu.
5	<i>A hybrid decision support system for adaptive trading strategies: Combining a rule-based expert system with a deep reinforcement learning strategy</i>	(Kwon & Lee, 2024)	Mengurangi risiko dalam keputusan investasi dengan cara meningkatkan kemampuan berpikir komprehensif melalui penggabungan sistem berbasis aturan (<i>rule-based</i>) dan algoritma <i>reinforcement learning</i> .
6	<i>A Reinforcement Learning Algorithm for Trading Commodities</i>	(Giorgi et al., 2024)	Menghasilkan keputusan investasi dengan presisi tinggi pada pasar non-linear tanpa menyederhanakan model, memberikan performa maksimal saat solusi teoritis standar tidak memadai.
7	<i>Predictive Crypto-Asset Automated Market Maker Architecture for Decentralized Finance Using Deep Reinforcement Learning</i>	(Lim, 2024)	Meningkatkan keuntungan modal dengan menggunakan reinforcement learning untuk menekan biaya transaksi (<i>slippage</i>) dan risiko kerugian akibat perubahan harga (<i>divergence</i>), sehingga pengambilan keputusan investasi dalam penyediaan dana menjadi lebih efisien.
8	<i>The Deep Learning-Based Security Assessment and Optimization Model for Enterprise Information Systems Under Digital Economy</i>	(Qiu et al., 2025)	Meningkatkan efisiensi biaya dan ketangguhan pengambilan keputusan investasi infrastruktur melalui reinforcement learning yang mampu mengalokasikan sumber daya secara dinamis dan otomatis sesuai kebutuhan sistem yang fluktuatif.



9	<i>Deep Reinforcement Learning for Adaptive Stock Trading Tackling Inconsistent Information and Dynamic Decision Environments</i>	(Zhao et al., 2024)	Bertindak sebagai navigasi strategis dalam validasi keputusan investasi institusional, memastikan ketepatan tindakan di tengah informasi yang tidak konsisten dan lingkungan dinamis.
10	<i>Multi-Period Portfolio Optimization Using A Deep Reinforcement Learning Hyper-Heuristic Approach</i>	(Cui et al., 2024)	Menyempurnakan keputusan investasi jangka panjang seperti dana pensiun melalui analisis mendalam terhadap dampak aturan pada struktur portofolio yang sensitif terhadap kewajiban.

Sumber: Analisis Artikel

Reinforcement learning (RL) memberikan berbagai manfaat dalam pengambilan keputusan investasi, terutama dalam meningkatkan profitabilitas dan kinerja portofolio. Kemampuan RL untuk belajar dari umpan balik pasar secara berulang memungkinkan sistem menyesuaikan strategi investasi secara dinamis, sehingga keputusan yang dihasilkan lebih responsif terhadap perubahan kondisi pasar dan tidak hanya bergantung pada asumsi historis.

Selain meningkatkan imbal hasil, RL juga berperan dalam manajemen risiko. Pendekatan ini memungkinkan sistem mempertimbangkan hubungan antara potensi keuntungan dan tingkat volatilitas pasar secara bersamaan, sehingga strategi investasi dapat menjaga keseimbangan antara target return dan pengendalian risiko.

RL juga memberikan manfaat dalam meningkatkan efisiensi operasional investasi. Melalui otomatisasi dan pembelajaran berkelanjutan, sistem dapat meningkatkan presisi eksekusi transaksi, mengoptimalkan alokasi sumber daya, serta mengurangi potensi kerugian akibat perubahan harga atau ketidaktepatan waktu transaksi.

Dalam konteks yang lebih luas, RL mendukung pengambilan keputusan investasi jangka panjang. Kemampuannya dalam menyesuaikan strategi terhadap kondisi pasar yang berubah dan mengelola portofolio secara berkelanjutan menjadikan RL tidak hanya sebagai alat analisis teknis, tetapi juga sebagai kerangka strategis dalam pengelolaan investasi yang lebih adaptif dan berorientasi masa depan.

Tantangan Penggunaan *Reinforcement Learning* Dalam Keputusan Investasi

Tabel 5
Tantangan Penggunaan *Reinforcement Learning* Dalam Keputusan Investasi

No.	Judul	Peneliti	Temuan
1	<i>Recent advances in reinforcement learning in finance</i>	(Hambly & Xu, 2023)	Penerapan <i>reinforcement learning</i> sering terhambat risiko overfitting dan kesalahan spesifikasi model, sehingga diperlukan sinergi antara keahlian keuangan dan algoritma untuk akurasi yang lebih baik.
2	<i>Deep reinforcement learning based on transformer and U-Net framework for stock trading</i>	(B. Yang et al., 2023)	Model saat ini masih terbatas pada transaksi saham tunggal; tantangan teknisnya terletak pada integrasi data multi-sumber agar <i>reinforcement learning</i> mampu mengelola portofolio secara lebih luas.
3	<i>Optimizing Control of Waste Incineration Plants Using Reinforcement Learning and Digital Twins</i>	(Schlappa et al., 2024)	Kesulitan dalam menyetel fungsi imbalan (<i>reward function</i>) yang seimbang dan memperluas ruang aksi agen menjadi kendala utama bagi <i>reinforcement learning</i> dalam menjaga profitabilitas fasilitas pembakaran limbah.
4	<i>Reinforcement prompting for financial synthetic data generation</i>	(Zuo et al., 2024)	Kelangkaan data berlabel dan isu privasi mendorong perlunya data sintesis serta optimasi prompt yang presisi guna menghasilkan analisis sentimen yang akurat bagi investor.
5	<i>Integration of investor behavioral perspective and climate change in reinforcement learning for portfolio optimization</i>	(Bouyaddou & Jebabli, 2025)	Minimnya akses data emisi serta kompleksitas faktor keberlanjutan menjadi kendala utama <i>reinforcement learning</i> dalam menjamin ketahanan strategi investasi di pasar riil.



6	<i>Research on carbon asset trading strategy based on PSO-VMD and deep reinforcement learning</i>	(J. Zhang & Chen, 2024)	Perubahan struktural pasar akibat faktor eksternal menyulitkan model <i>reinforcement learning</i> dalam memberikan prediksi yang konsisten dan tepat.
7	<i>Outperforming the tutor: Expert-infused deep reinforcement learning for dynamic portfolio selection of diverse assets</i>	(Choi & Kim, 2024)	Fenomena diminishing returns dan lingkungan rendah imbal hasil melemahkan performa <i>reinforcement learning</i> , terutama saat model harus beralih ke aset pendapatan tetap di tengah ketidakpastian pasar.
8	<i>Residential real estate price prediction based on adaptive loss function and feature embedding optimization</i>	(H. Zhang, 2025)	Tantangan utama dalam prediksi harga properti adalah memperdalam ekstraksi fitur agar model <i>reinforcement learning</i> tetap akurat dalam menangkap dinamika hubungan internal antar faktor pasar.
9	<i>Does Low Spoilage Under Cold Conditions Foster Cultural Complexity During the Foraging Era?—Agent-Based Modeling and Reinforcement-Learning Approach</i>	(Lee, 2025)	Hambatan teknis muncul saat mengintegrasikan variabel ekologi yang dinamis dan fluktuasi sumber daya ke dalam simulasi <i>reinforcement learning</i> , terutama untuk memodelkan dampak alokasi tenaga kerja terhadap profitabilitas.
10	<i>Machine Learning For Active Portfolio Management</i>	(Bartram, Sohnke M et al., 2021)	Kompleksitas dan sifat <i>black-box</i> (tidak transparan) pada <i>reinforcement learning</i> menyulitkan investor untuk membedakan apakah keputusan model didasarkan pada pola pasar yang valid atau hanya sekadar <i>noise</i> .

Sumber: Analisis Artikel



Penggunaan *reinforcement learning* (RL) dalam keputusan investasi menghadapi beberapa tantangan, terutama pada aspek perancangan model. Risiko seperti *overfitting* dan kesalahan spesifikasi dapat terjadi ketika model dilatih dengan data historis yang tidak sepenuhnya merepresentasikan kondisi pasar. Selain itu, pengelolaan portofolio multi-aset dan penentuan fungsi imbalan yang seimbang antara risiko dan keuntungan juga menjadi kendala dalam penerapannya.

Tantangan lain berkaitan dengan keterbatasan kualitas dan ketersediaan data. Akses data yang terbatas serta isu privasi dapat memengaruhi kemampuan model dalam memahami dinamika pasar secara akurat.

Selain itu, perubahan kondisi pasar yang cepat dan tidak terduga dapat menurunkan stabilitas kinerja model. Kompleksitas model RL yang bersifat *black-box* juga menimbulkan masalah transparansi, sehingga keputusan investasi yang dihasilkan sering kali sulit dijelaskan dan dipercaya oleh pengguna.

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Penelitian ini menganalisis penggunaan *reinforcement learning* dalam keputusan investasi melalui *systematic literature review* terhadap 30 artikel terindeks Scopus periode 2021–2025. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *reinforcement learning* umumnya diterapkan dalam kerangka Markov Decision Process (MDP), di mana agen belajar dari interaksi dengan lingkungan pasar untuk mengoptimalkan imbal hasil jangka panjang.

Penggunaan *reinforcement learning* terbukti mampu meningkatkan kualitas keputusan investasi melalui optimalisasi portofolio, peningkatan profitabilitas, serta pengelolaan risiko yang lebih adaptif dibandingkan metode tradisional. Namun, penerapannya masih menghadapi beberapa tantangan seperti kebutuhan data yang besar, risiko *overfitting*, kompleksitas komputasi, serta keterbatasan validasi pada kondisi pasar nyata.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk meningkatkan interpretabilitas model *reinforcement learning* agar keputusan investasi lebih mudah dipahami oleh pengguna. Selain itu, penggunaan dataset yang lebih beragam serta integrasi informasi keuangan perusahaan perlu dikembangkan untuk meningkatkan kualitas analisis investasi. Penelitian di masa mendatang juga perlu menguji ketahanan model dalam kondisi pasar yang volatil serta menerapkannya pada studi kasus nyata.

REFERENSI

- Arner, D. W., Barberis, J., Buckley, R. P., NOS BARBERIS, J., & Buckley-, R. P. (2016). The Evolution of FinTech: A New Post-Crisis Paradigm. *Georgetown Journal of International Law*, 47(4), 1271–1320.
- Bartram. Sohnke M, Branke, J., Rossi, G. De, & Motahari, M. (2021). *Machine Learning for Active Portfolio Management*. 17, 302.
- Bertsimas, D., & Kallus, N. (2020). From Predictive to Prescriptive Analytics. *Strategic Finance*, 62–63.
- Bouyaddou, Y., & Jebabli, I. (2025). Research in International Business and Finance Integration of investor behavioral perspective and climate change in reinforcement learning for portfolio optimization. *Research in International Business and Finance*, 73(PB), 102639. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2024.102639>
- Brewer, P. C., Garrison, R. H., & Noreen, E. W. (2019). Introduction to Managerial Accounting : Eighth Edition. In *Issues in Accounting Education* (Vol. 8).
- Cannelli, L., Nuti, G., Sala, M., & Szehr, O. (2023). Hedging using reinforcement learning : Contextual k -armed bandit versus Q -learning. *The Journal of Finance and*



- Data Science*, 9(December 2022), 100101. <https://doi.org/10.1016/j.jfds.2023.100101>
- Carbonneau, A., & Godin, F. (2023). Deep Equal Risk Pricing of Financial Derivatives with. *Risks* 11:140.
- Cheng, L. C., Huang, Y. H., Hsieh, M. H., & Wu, M. E. (2021). A Novel Trading Strategy Framework Based on Reinforcement Deep Learning for Financial Market Predictions. *Mathematics*.
- Choi, C., & Kim, J. (2024). Knowledge-Based Systems Outperforming the tutor : Expert-infused deep reinforcement learning for dynamic portfolio selection of diverse assets. *Knowledge-Based Systems*, 294(March).
- Coache, A. (2024). Reinforcement learning with dynamic convex risk measures. *Mathematical Finance, January 2022*, 557–587. <https://doi.org/10.1111/mafi.12388>
- Cont, R. (2001). Empirical properties of asset returns: Stylized facts and statistical issues. *Quantitative Finance*, 1(2), 223–236. <https://doi.org/10.1080/713665670>
- Cui, T., Du, N., Yang, X., & Ding, S. (2024). Multi-period portfolio optimization using a deep reinforcement learning hyper-heuristic approach. *Technological Forecasting & Social Change*, 198(November 2023), 122944. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122944>
- Ertel, W. (2017). Introduction of Artificial Intelligence. In *Smart Systems for Industrial Applications*. <https://doi.org/10.1002/9781119762010.ch6>
- Gaurav, A., Baishnab, K., & Singh, P. K. (2025). Intelligent ESG portfolio optimization: A multi-objective AI-driven framework for sustainable investments in the Indian stock market. *Sustainable Futures*, 9(December 2024). <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.100832>
- Giorgi, F., Herzel, S., & Pigato, P. (2024). A reinforcement learning algorithm for trading commodities. *Applied Stochastic Models in Business and Industry*, 40(2), 373–388. <https://doi.org/10.1002/asmb.2825>
- Hambly, B., & Xu, R. (2023). Recent advances in reinforcement learning in finance. *Mathematical Finance, February*, 437–503. <https://doi.org/10.1111/mafi.12382>
- Hao, Z., Zhang, H., & Zhang, Y. (2023). Stock Portfolio Management by Using Fuzzy Ensemble Deep Reinforcement Learning Algorithm. *Journal of Risk and Financial Management*.
- Hasan, Z., Vaz, D., Athota, V. S., & Pereira, V. (2023). Can Artificial Intelligence (AI) Manage Behavioural Biases Among Financial Planners ? *Journal of Global Information Management*, 31(2), 1–18. <https://doi.org/10.4018/JGIM.321728>
- Heaton, J. B., Polson, N. G., & Witte, J. H. (2023). Deep Learning in Finance. *Digital Finance*, 5(1), 1–2. <https://doi.org/10.1007/s42521-023-00080-2>
- Jiang, W., Liu, M., Xu, M., Chen, S., Shi, K., & Liu, P. (2024). New reinforcement learning based on representation transfer for portfolio management. *Knowledge-Based Systems*, 293(March), 111697. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2024.111697>
- Kang, M., Templeton, G. F., Kwak, D., & Um, S. (2024). Development of an AI framework using neural process continuous reinforcement learning to optimize highly volatile financial portfolios. *Knowledge-Based Systems*, 300(November 2023), 112017. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2024.112017>
- Kitchenham, B. (2004). Procedures for Performing Systematic Reviews. *DEBS 2019 - Proceedings of the 13th ACM International Conference on Distributed and Event-Based Systems*, 240–243. <https://doi.org/10.1145/3328905.3332505>
- Kumar, A., Singh, A., Tian, S., Finn, C., & Levine, S. (2021). A Workflow for Offline Model-Free Robotic Reinforcement Learning. *5th Conference on Robot Learning (CoRL 2021), London, UK, CoRL*, 1–28.
- Kwon, Y., & Lee, Z. (2024). A hybrid decision support system for adaptive trading strategies : Combining a rule-based expert system with a deep reinforcement learning



- strategy. *Decision Support Systems*, 177(November 2022), 114100.
<https://doi.org/10.1016/j.dss.2023.114100>
- Lee, M. (2025). Does Low Spoilage Under Cold Conditions Foster Cultural Complexity During the Foraging Era?—Agent-Based Modeling and Reinforcement-Learning Approach. *Big Data and Cognitive Computing*, 9(2).
<https://doi.org/10.3390/bdcc9020034>
- Li, Y., Jiang, S., Wei, Y., & Wang, S. (2021). Take Bitcoin into your portfolio: a novel ensemble portfolio optimization framework for broad commodity assets. *Financial Innovation*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40854-021-00281-x>
- Lim, T. (2024). Predictive crypto - asset automated market maker architecture for decentralized finance using deep reinforcement learning. *Financial Innovation*.
<https://doi.org/10.1186/s40854-024-00660-0>
- Minh, V., Huu, H., & Nguyen, P. Van. (2023). Does reinforcement learning outperform deep learning and traditional portfolio optimization models in frontier and developed financial markets ? *Research in International Business and Finance*, 65(December 2021), 101936. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2023.101936>
- Opeoluwa, D., & Awwal, S. (2024). Deep LSTM and LSTM-Attention Q-learning based reinforcement learning in oil and gas sector prediction. *Knowledge-Based Systems*, 284(December 2023), 111290. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2023.111290>
- Patel, J., Shah, S., Thakkar, P., & Kotecha, K. (2015). Predicting stock market index using fusion of machine learning techniques. *Expert Systems with Applications*, 42(4), 2162–2172. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.10.031>
- Peterson, M. (2009). *An Introduction to Decision Theory*.
- Qiu, J., Shu, L., & Zhang, Y. (2025). The Deep Learning-Based Security Assessment and Optimization Model for Enterprise Information Systems Under Digital Economy. *Journal of Organizational and End User Computing*, 37(1), 1–52.
<https://doi.org/10.4018/JOEUC.382092>
- Schlappa, M., Hegemann, J., & Spinler, S. (2024). Optimizing Control of Waste Incineration Plants Using Reinforcement Learning and Digital Twins. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71, 3076–3087.
<https://doi.org/10.1109/TEM.2022.3201434>
- Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2015). *Reinforcement Learning : An Introduction*.
- Van Horne, J. C., & Wachowisz, J. M. (2008). Fundamentals of Financial Managements. In *Pearson Education Limited* (Vol. 16, Issue 43).
<https://doi.org/10.7748/ns2002.07.16.43.29.b366>
- Wang, X., & Liu, L. (2025). Risk-Sensitive Deep Reinforcement Learning for Portfolio Optimization. *Journal of Risk and Financial Management*, 18(7), 1–22.
<https://doi.org/10.3390/jrfm18070347>
- Yang, B., Liang, T., Xiong, J., & Zhong, C. (2023). Knowledge-Based Systems Deep reinforcement learning based on transformer and U-Net framework for stock trading. *Knowledge-Based Systems*, 262, 110211.
<https://doi.org/10.1016/j.knosys.2022.110211>
- Yang, S. (2023). Deep reinforcement learning for portfolio management. *Knowledge-Based Systems*, 278, 110905. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2023.110905>
- Zhang, H. (2025). Residential real estate price prediction based on adaptive loss function and feature embedding optimization. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12(1), 1–10. <https://doi.org/10.1057/s41599-025-05217-9>
- Zhang, J., & Chen, K. (2024). Research on carbon asset trading strategy based on PSO-VMD and deep reinforcement learning. *Journal of Cleaner Production*, 435(December 2023), 140322. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140322>
- Zhao, L., Deng, B., Wu, L., Liu, C., Guo, M., & Guo, Y. (2024). Deep Reinforcement



Learning for Adaptive Stock Trading : Tackling Inconsistent Information and. *Journal of Organizational and End User Computing*, 36(1).

<https://doi.org/10.4018/JOEUC.335083>

Zhou, R., Wang, Y., Zhang, X., & Wang, C. (2022). Exploration for Countering the Episodic Memory. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022.

<https://doi.org/10.1155/2022/7286186>

Zuo, X., Jiang, A. (Andrew), & Zhou, K. (2024). Reinforcement prompting for financial synthetic data generation. *Journal of Finance and Data Science*, 10(July), 100137.

<https://doi.org/10.1016/j.jfds.2024.100137>