

Sistem Prediksi Pergerakan Harga Valuta Asing Menggunakan Kecerdasan Buatan Metode SARSA

Vinsensius Reinard¹, Joni Fat², Suraidi³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara; email: vinsensius.525200005@stu.untar.ac.id, jonif@ft.untar.ac.id, suraidi@ft.untar.ac.id

[Dikirimkan: 12 Desember 2023, Direvisi: 15 Mei 2024, Diterima: 27 Mei 2024]
Corresponding Author: Vinsensius Reinard

INTISARI — Pada era modern komputer dimanfaatkan untuk melakukan komputasi. Tidak terhindar pasar valuta asing juga mengalami transisi tersebut. Sistem yang dibuat menggunakan kecerdasan buatan metode *state action reward state action* (SARSA) yang memprediksi dengan tepat 52% atau lebih sesuai dengan metode evaluasi. Evaluasi keberhasilan prediksi dilakukan dengan membandingkan prediksi pada *state* k dan *state* setelah k . *State* didefinisikan menjadi 3. *State* 3 adalah harga lebih besar dari jumlah k dan sma, *state* 2 adalah jumlah sma dan k lebih kecil dari harga dan harga lebih kecil dari perbedaan sma dan k , dan *state* 1 adalah harga lebih kecil dari selisih dari sma dan k . Variabel sma adalah rata-rata 200 harga *closed* terakhir dari periode waktu 5 menit. Konstanta k bernilai 0.0005. Sistem menggunakan bahasa pemrograman Python dan terhubung ke pasar valuta asing. Pengujian dilakukan pada 2023-11-10 22:05:00 sampai 2023-11-18 06:55:00. Metode uji yang digunakan adalah metode *forward testing*. *Forward testing* adalah sistem uji menggunakan data *live market*. Metode kecerdasan buatan SARSA memprediksi dengan rata-rata keberhasilan 63.08% pada sampel data EUR/USD, GBP/USD, USD/CAD, USD/CHF, AUD/USD, dan USD/JPY. Prediksi berhasil paling tinggi adalah pasangan USD/CHF dengan tingkat keberhasilan 72.39%, sedangkan yang paling rendah pada GBP/USD dengan tingkat keberhasilan 59.66%. Berdasarkan hasil yang didapatkan bias disimpulkan sistem prediksi yang dibuat berkemampuan untuk aktif ketika pasar valas aktif. Sistem dapat memprediksi dengan mengeluarkan *state* selanjutnya.

KATA KUNCI — Kecerdasan Buatan, SARSA, Valuta Asing, Prediksi Arah Harga.

I. PENDAHULUAN

Pasar valuta asing (valas), atau *foreign exchange (forex)* adalah pasar perdagangan mata yang dari berbagai negara [1]. Memfasilitasi perdagangan internasional menjadi peran utama pasar valas [2]. Pasar valas juga menjadi tempat investasi, investor dapat memanfaatkan fluktuasi nilai tukar dan meraih keuntungan atau sering kali dikenal sebagai *trading* [3].

Pasar valas menjadi salah satu titik risiko bagi perusahaan multinasional yang memerlukan instrumen transaksi berupa valas. Perusahaan juga sering kali menggunakan opsi valas sebagai perlindungan dari perubahan nilai tukar yang merugikan [4]. Secara keseluruhan pasar valas memfasilitasi perdagangan internasional, menyediakan peluang investasi juga titik risiko bagi perusahaan multinasional.

Pada era modern yang didominasi oleh teknologi, sektor keuangan juga tidak lepas dari perkembangan tersebut. *Market maker* di seluruh dunia mengandalkan komputer untuk membuat keputusan [5]. Komputer berkemampuan menimbang informasi dengan cepat, menjadikan komputer alat utama dalam pasar valuta asing era modern.

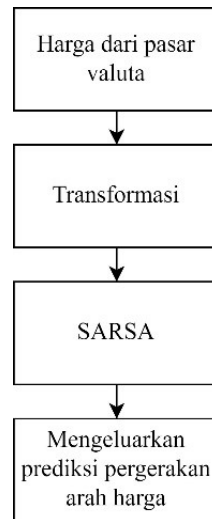
Kecerdasan buatan atau biasa dikenal dengan *artificial intelligence (AI)* adalah alat efektif untuk menemukan pola-pola tersembunyi dalam data [6]. AI mampu memproses, menganalisis, dan memahami data skala besar yang kompleks dengan waktu relatif singkat dibandingkan manusia, sesuatu yang tidak mungkin dilakukan oleh manusia. AI memproses data dan mengeluarkan prediksi dengan tahapan yang terstruktur. Tahapan dimulai dari pengambilan data, memproses data sehingga AI mengerti data tersebut, dan memasukkan data yang sudah ditransformasi ke model AI [7], [8]. Proses transformasi adalah sebuah algoritma berfungsi sebagai penyaring data, menghilangkan bising data mentah sehingga data masukkan AI data bersih [6]. Menghindari kejadian masuk sampah keluar sampah yang dibahas oleh [9], [10].

Metode SARSA unggul memprediksi langkah selanjutnya berdasarkan *state* aktif [11]. Kemampuan AI dapat mengurangi risiko dan mengambil keputusan berdasarkan pengalaman masa lampau [12], [13], [14], [15]. Arah harga bisa menjadikan 3 kondisi pada pasar valuta asing diantaranya naik, turun, atau tetap. Pergerakan harga bergerak berdasarkan persetujuan antara penjual dan pembeli [16] mata uang tersebut (*supply and demand*).

Berdasarkan latar belakang masalah, sebuah sistem berkemampuan untuk memprediksi arah pergerakan harga pada pasar valas dapat menyelesaikan masalah-masalah tersebut. Sistem bertujuan untuk memprediksi arah pergerakan harga pasar valuta asing berdasarkan data pasar valuta asing *live market*. Sistem mampu memprediksi benar dengan metode evaluasi sebesar 52% atau lebih.

II. METODE

Sistem yang telah dibuat adalah sebuah sistem yang memiliki fungsi memprediksi pergerakan harga pada pasar valuta asing. Pasar valuta asing adalah arena keuangan yang dinamis, harga mata uang berubah dengan cepat. Sistem yang dirancang memanfaatkan metode SARSA, sebuah teknik dalam *machine learning* yang dapat diaplikasikan untuk memprediksi perilaku berulang di sebuah *environment* [17], [18].



Gambar 1. Diagram Blok Aliran Pemrosesan Data dan Prediksi Pergerakan Arah Harga dari Pasar Valas

Gambar 1, merupakan diagram blok sistem prediksi. Diagram blok dimulai dengan mengambil harga dari pasar valuta asing. Data tersebut akan melalui fungsi transformasi sehingga informasi yang dibutuhkan bisa diambil. Data yang sudah diproses tersebut akan dimasukkan ke algoritma SARSA yang menghasilkan sebuah prediksi pergerakan arah.

Elemen utama dari sistem yang akan dirancang adalah model prediksi pergerakan harga. Model ini akan didasarkan pada data historis pasar valuta asing yang telah diproses. Melalui analisis metode SARSA, sistem berusaha untuk memahami pola pergerakan harga. Sistem yang dirancang bertujuan untuk memberikan informasi kepada para *market maker*, termasuk pedagang dan investor, yang dapat membantu mereka membuat keputusan dalam mengelola risiko dan mengoptimalkan potensi keuntungan mereka di pasar valuta asing. Beberapa persamaan dasar diaplikasikan untuk sistem prediksi SARSA.

$$R_{\Sigma}^{(n)} = \sum_{j=0}^n \gamma^j r_{k+j} + \gamma^{n+1} Q(s_{k+n+1}, a_{k+n+1}) \quad (1)$$

(1) menggambarkan suatu konsep SARSA. Merangkum semua penghargaan yang terakumulasi dari *state* awal, yaitu *state* k , hingga ke n dengan pertimbangan pada setiap titik waktu, yaitu $k + j$. Penggunaan parameter n dalam persamaan tersebut menentukan jangka waktu sejauh mana algoritma SARSA harus memperhitungkan masa depan. Nilai n mencerminkan sejauh mana algoritma mempertimbangkan reward yang lebih jauh ke depan dalam pengambilan keputusan saat ini [11], [12], [19]. γ berfungsi sebagai *discount factor* yang mengindikasikan seberapa besar bobot yang diberikan pada *reward* di masa depan dibandingkan dengan *reward* yang diterima saat k . Sistem prediksi pasar valuta asing menggunakan parameter $n = 0$ dan $\gamma = 0.8$.

$$Q^{baru}(s_k, a_k) = Q^{lama}(s_k, a_k) + \alpha (R_{\Sigma}^n - Q^{lama}(s_k, a_k)) \quad (2)$$

$Q^{lama}(s_k, a_k)$, mencerminkan nilai sebelumnya yang telah dihasilkan oleh algoritma untuk pasangan *state* (s_k) dan *action* (a_k) tersebut. $Q^{lama}(s_k, a_k)$ dianggap sebagai pengalaman sebelumnya. (2) memperbarui model secara adaptif dan meningkatkan perkiraannya tentang seberapa baik suatu *action* (a_k) dalam *state* (s_k) berdasarkan pengalaman baru. Penggunaan *learning rate* yang tepat, algoritma SARSA dapat mempelajari kebijakan yang optimal secara bertahap untuk mencapai tujuan tertentu dalam konteks yang melibatkan tindakan berurutan dalam environment pasar valuta asing [11], [12], [14], [15], [19]. Parameter α mengontrol pengaruh pengalaman sebelumnya terhadap pembaruan. Nilai α yang berada dalam rentang 0 hingga 1 menentukan seberapa besar dampak pengalaman sebelumnya dalam pembaruan tersebut. Nilai α yang lebih besar dari $\frac{1}{n}$ lebih menekankan pengalaman saat k dibandingkan dengan pengalaman sebelum k . Parameter α yang digunakan oleh sistem adalah 0.8.

Pembagian *state* pasar valuta asing dilakukan dengan mengalkulasi. Harga tutup yang di atas rata-rata 200 data periode 5 menit terakhir ditambah 0.0005 (*state* = 3), harga tutup berada di antara rata-rata 200 data periode 5 menit terakhir ditambah 0.0005 dan rata-rata 200 data periode 5 menit terakhir dikurang 0.0005 (*state* = 2), dan harga tutup yang di bawah rata-rata 200 data periode 5 menit terakhir dikurang 0.0005 (*state* = 1). Data dikategorikan untuk menentukan kondisi sehingga dapat lebih efisien dimengerti oleh SARSA. Setiap *state* memiliki 3 *action* yang bisa diambil oleh agen yaitu diam, naik, dan turun. Agen adalah sebuah entitas yang berinteraksi dengan *environment*.

A. PEMILIHAN PERALATAN

1) SISTEM KOMPUTASI

Sistem komputasi yang digunakan mewajibkan untuk menggunakan sistem operasi *windows* dikarenakan aplikasi yang digunakan oleh perancangan alat hanya tersedia di sistem operasi *windows*. Sistem operasi yang digunakan adalah *windows 11 home single language* versi 10.2.22621. Sistem komputasi menggunakan laptop ASUS TUF FX506HC. Sistem komputasi memiliki spesifikasi perangkat keras, *central processing unit* i5 11400H, kapasitas *random access memory* (RAM) 24GB, *graphic processing unit* RTX 3050. Sistem komputasi dipasangkan aplikasi yang dibutuhkan untuk perancangan. Aplikasi yang dipasang adalah Python dan MetaTrader5. [20]

2) METATRADER5

MetaTrader5 adalah platform trading yang dikembangkan oleh *MetaQuotes Software*. Aplikasi bertujuan untuk melakukan transaksi keuangan seperti valas, saham, dan *index*. MetaTrader5 menyediakan penyajian data dari *broker* dalam berbagai bentuk. Pengembang MetaTrader5 menyediakan fitur untuk antarmuka (*interface*) dengan bahasa pemrograman Python melalui *library* MetaTrader5. Perancangan menggunakan *library* tersebut sebagai penghubung antara program Python dengan pasar valas yang disediakan oleh *broker* [20].

3) PYTHON

Python merupakan bahasa pemrograman yang dikembangkan diatas C/C++. Python memiliki fitur yang memudahkan pengembang dalam mengembangkan aplikasi tanpa perlu mengkhawatirkan teknisitas sistem komputer. Pengembang bisa lebih fokus terhadap penyelesaian masalah dunia nyata. Bahasa Python bisa digunakan di berbagai sistem operasi di antaranya *windows*, *linux*, dan *macOS*. Python memiliki sifat *opensource* sehingga pengembang yang sudah berpengalaman dapat dengan mudah beradaptasi dengan bahasa Python [21], [22].

4) METATRADER5 PYTHON APPLICATION PROGRAMMING INTERFACE

MetaTrader5 python application programming interface (MT5 python API) merupakan *library* yang disediakan oleh pengembang MetaTrader5. MT5 Python API memiliki kemampuan untuk mengambil data dari broker melalui aplikasi MetaTrader5, bertujuan untuk mengembangkan *artificial intelligence*. MT5 Python API menyediakan fungsi untuk mengambil data sesuai kebutuhan dari *broker* melalui aplikasi *MetaTrader5*. Fungsi selain pengambilan data juga disediakan seperti fungsi untuk membeli/menjual mata uang dengan harga tertentu. MT5 Python API tidak ditujukan untuk aplikasi *high frequency trading* (HFT) dikarenakan waktu tunggu jaringan yang jauh lebih lama dibandingkan dengan program langsung (*native language*) yang disediakan oleh *MetaTrader5* [23].

5) PANDAS

Pandas menyederhanakan tugas pengolahan data dengan mengabstraksi kode tingkat rendah melakukan operasi kompleks dengan kode minimal. *Pandas* digunakan dalam ilmu data, keuangan, dan bidang lain dimana bekerja dengan data tabel merupakan sebuah kebutuhan. Fleksibilitas dan efisiensi *pandas* menjadikannya alat dasar untuk membersihkan, menjelajahi, dan mengubah kumpulan data dalam bahasa pemrograman *python* [21].

B. REALISASI SUB-SISTEM

1) PENGAMBILAN DATA DARI PASAR VALUTA ASING

Realisasi pengambilan data menggunakan Python. Program Python dijalankan pada sistem operasi *windows* 11 yang sudah dipasang aplikasi MetaTrader5. Akun yang diberikan oleh broker untuk mengakses data diberikan. Program python dihubungkan ke pasar valas menggunakan *library* MT5 Python API. Program penghubung pasar valas dengan Python terdapat pada Gambar 2.

```
1 if mt.initialize():
2     print("Intialization Successful...")
3 else:
4     print("Initialization Failed... Exiting...")
5     exit(1)
6 if mt.login(username, password, server):
7     print("Login successful...")
8 else:
9     print("Login Failed recheck credentials or internet connection...")
10    exit(1)
```

Gambar 2. Cuplikan Program Penghubung Python dan MetaTrader5

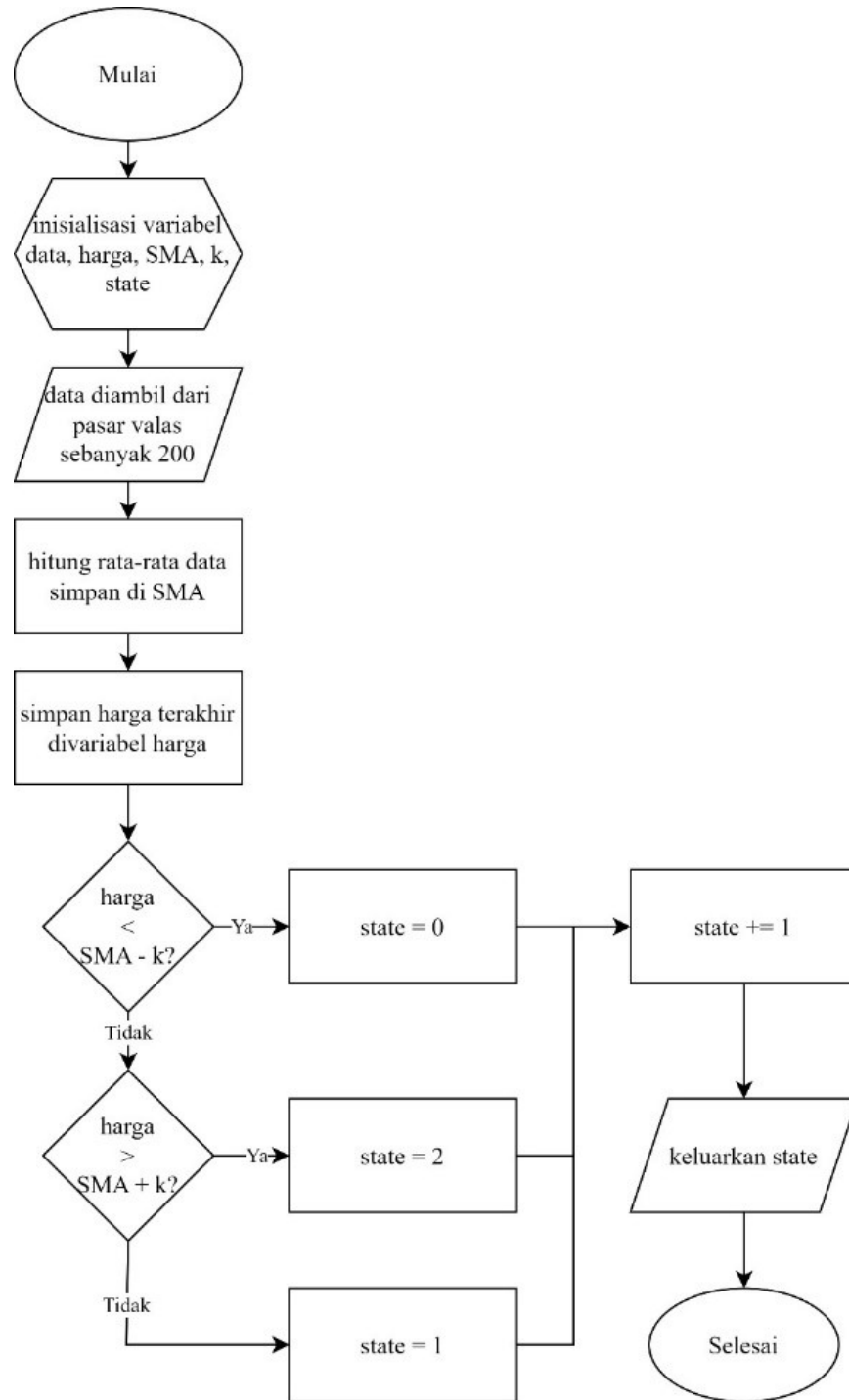
Pengambilan data dilakukan dengan memanggil sebuah fungsi dengan memberikan parameter pasangan mata uang EUR/USD, periode waktu selama 5 menit, waktu mulai waktu adalah sekarang, dan jumlah data yang telah terjadi dari periode waktu dimulai dari waktu sekarang sebanyak 200 data. Fungsi yang digunakan bisa dilihat pada Gambar 2. Data yang disimpan di variabel *ohlcv* adalah data *open*, *close*, *high*, dan *low*.

```
1 ohlc = mt.copy_rates_from(pair, mt.TIMEFRAME_M5, datetime.now(), 200)
```

Gambar 3. Cuplikan Program Pengambilan Data dari Pasar Valas

2) TRANSFORMASI

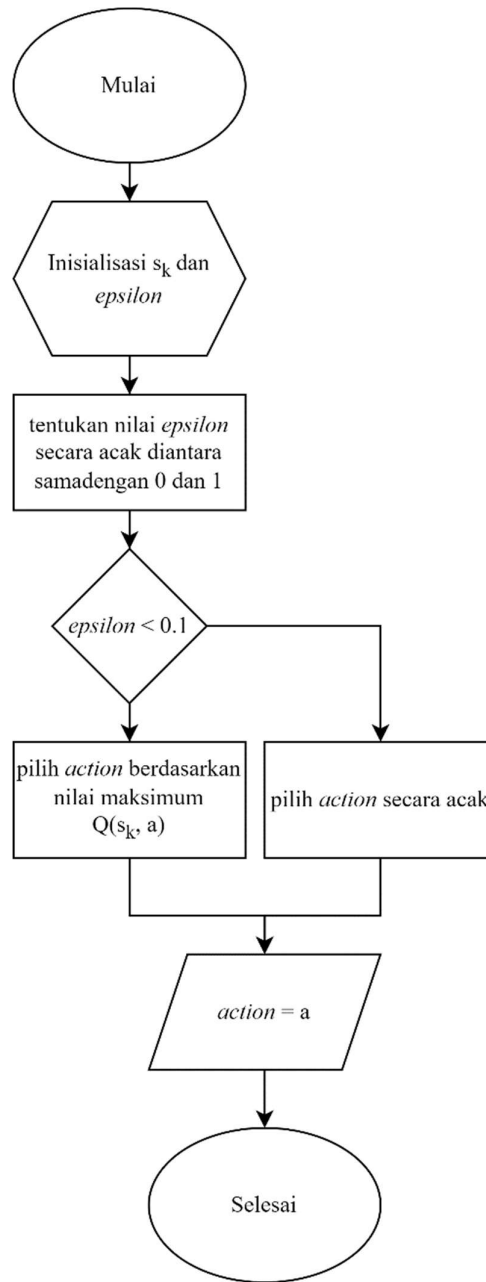
Data dimasukkan melalui pasar valas sebanyak 200 data terakhir. Rata-rata dari data *close* tersebut dikalkulasi. Simpan harga *close* terakhir dari variabel data disimpan di variabel harga. Kemudian jika harga lebih kecil dari SMA dikurang k maka *state* = 0, jika harga lebih besar dari SMA ditambahkan k maka *state* = 2. Selain dari kondisi-kondisi tersebut *state* = 1. Setelah variabel *state* ditentukan variabel *state* ditambahkan 1 untuk mempermudah penggunaan. Variabel *state* dapat digunakan, algoritma selesai. Perlu diketahui variabel *state* berhubungan dengan *state* pembagian *state* pasar valas. Diagram alir algoritma ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Algoritma Penentuan State

3) SARSA

SARSA diberikan $state$ awal s_k , $state$ awal ditentukan menggunakan sub sistem transformasi. $Action$ a_k akan ditentukan berdasarkan s_k dan algoritma yang bisa dilihat pada Gambar 5. setelah mendapatkan s_k dan a_k , s_{k+1} ditentukan dengan mengambil action a_k pada $state$ s_k . Setelah mengetahui $state$ s_{k+1} , $action$ a_{k+1} dicari menggunakan algoritma yang sama ketika s_k pada Gambar 5. $Reward$ sudah ditentukan berdasarkan $environment$, sehingga nilai r_k diambil berdasarkan s_k dan a_k . Sub sistem SARSA menghasilkan sebuah prediksi, prediksi yang dimaksud adalah s_{k+1} . Nilai $Q^{baru}(s_k, a_k)$ tetap dikalkulasi guna memperbarui nilai Q .

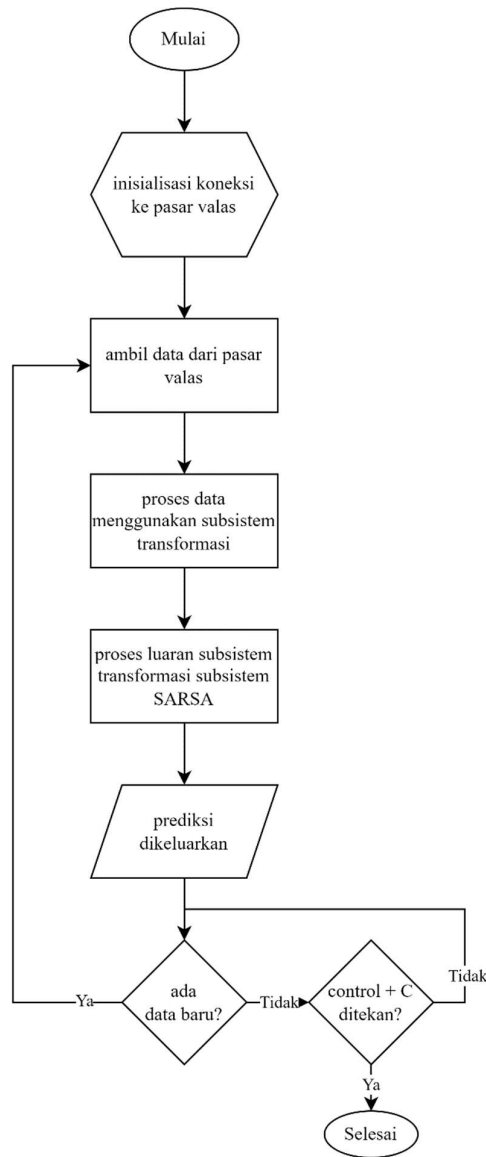


Gambar 5. Algoritma SARSA

C. REALISASI KESELURUHAN SISTEM

Realisasi rancangan keseluruhan sistem dilakukan dengan merangkai semua sub sistem menjadi sebuah sistem. Sebelum sistem dijalankan sistem komputasi wajib memasang aplikasi yang diperlukan di antaranya Python dengan library *pandas* dan *MetaTrader5* dan aplikasi *MetaTrader5*. Sistem dijalankan menggunakan perintah “python main.py”. Perintah tersebut diketikan di *windows powershell*.

Berdasarkan Gambar 6 sistem dimulai dengan koneksi dengan pasar valas setelah koneksi terjalin. Sistem mengambil data dari pasar valas. Data tersebut diproses oleh sub sistem transformasi sehingga dimengerti oleh SARSA. Data transformasi dimasukkan ke SARSA, SARSA mengeluarkan sebuah prediksi berupa sebuah *state* selanjutnya. Setelah mengeluarkan prediksi sistem menunggu data baru, ketika menunggu pengguna bisa mengeluarkan program dengan cara menekan *control + C*. Jika sistem mendeteksi data baru, sistem mengulangi proses prediksi dari tahap pengambilan data pasar valuta asing.



Gambar 6. Diagram Alir Keseluruhan Sistem

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian pada keseluruhan sistem bertujuan untuk mengetahui sistem memenuhi kriteria yang ditentukan. Pengujian dilakukan dengan cara menjalankan program selama pasar valuta asing aktif. Evaluasi prediksi dilakukan dengan cara membandingkan nilai prediksi $state s_k$ dengan nilai awal $state s_{k+1}$. Data percobaan diambil pada tanggal 2023-11-18 pukul 06:10:00 WIB sampai 06:55:00 WIB. Pasangan mata uang yang digunakan adalah *euro* dan *united states dollar*. Cuplikan hasil pengujian disajikan pada Tabel 1.

TABEL 1
 HASIL PENGUJIAN KESELURUHAN SISTEM PREDIKSI

Percobaan	Awal (state)	Prediksi (state)	Evaluasi Prediksi
1	3	3	-
2	3	3	Berhasil
3	3	3	Berhasil
4	3	2	Berhasil
5	3	3	Gagal
6	3	3	Berhasil
7	3	3	Berhasil
8	3	1	Gagal
9	3	3	Berhasil
10	3	3	-

Berdasarkan Tabel 1, sistem berhasil memprediksi *state* selanjutnya 6 dari 8 evaluasi. Sehingga akurasi sistem adalah 75% pada cuplikan data tersebut. Pengujian lebih lanjut dilakukan pada 2023-11-10 22:05:00 sampai 2023-11-18 06:55:00 metode uji yang digunakan adalah *forward test* menggunakan akun demo. *Forward test* adalah metode uji yang menguji dengan menggunakan pasar valas *live*, data yang diterima oleh program merupakan data yang belum pernah terjadi. Pengujian lebih lanjut dilakukan dengan data sampel sebanyak 1544. Data terdiri dari 1542 evaluasi setiap pasangan mata uang. Hasil pengujian tersebut disajikan pada Tabel 2.

TABEL 2
HASIL PENGUJIAN LEBIH LANJUT DENGAN PASANGAN MATA UANG YANG BERBEDA

No	Pasangan Mata Uang	Akurasi (%)
1	AUD/USD	62.82
2	EUR/USD	62.63
3	GBP/USD	59.66
4	USD/CAD	61.18
5	USD/CHF	72.39
6	USD/JPY	59.79

Hasil pengujian lebih lanjut menunjukkan akurasi rata-rata 63.08%. Data menunjukkan variabilitas akurasi antar mata uang. Pasangan mata uang Pasangan mata uang dengan akurasi paling rendah adalah 59.66% pada pasangan mata uang GBP/USD. Pasangan mata uang USD/CHF memiliki tingkat akurasi paling tinggi yaitu 72.39%. Pasangan mata uang AUD/USD, EUR/USD, dan USD/CAD memiliki nilai akurasi yang relatif dekat dengan keberhasilan rata-rata dari sampel data.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari pengembangan sistem prediksi arah pergerakan pasar valuta asing, dapat diambil beberapa kesimpulan. Sistem prediksi SARSA mampu melakukan prediksi arah pergerakan harga pasar valuta asing secara langsung selama pasar tersebut aktif. Sistem mengidentifikasi *state* selanjutnya sebagai petunjuk arah pergerakan harga. Tingkat akurasi prediksi sistem mencapai 63.08%, berdasarkan sampel pasangan mata uang yang diuji. Sistem prediksi SARSA berhasil memberikan prediksi dalam pergerakan pasar valuta asing.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan dalam penelitian ini.

REFERENSI

- [1] H. Wang, Y. Yuan, Y. Li, dan X. Wang, "Financial contagion and contagion channels in the forex market: A new approach via the dynamic mixture copula-extreme value theory," *Econ Model*, vol. 94, hlm. 401–414, 2021.
- [2] T. Wen dan G. Wang, "Volatility connectedness in global foreign exchange markets," *Journal of Multinational Financial Management*, vol. 54, hlm. 100617, 2020, doi: 10.1016/j.mulfin.2020.100617.
- [3] C. Li, B. Li, dan K. H. Tee, "Measuring liquidity commonality in financial markets," *Quant Finance*, vol. 20, no. 9, hlm. 1553–1566, Sep 2020, doi: 10.1080/14697688.2020.1744698.
- [4] S. Vohra dan F. Fabozzi, "Effectiveness of developed and emerging market FX options in active currency risk management," *J Int Money Finance*, vol. 96, hlm. 130–146, 2019.
- [5] Z. Hu, Y. Zhao, dan M. Khushi, "A Survey of Forex and Stock Price Prediction Using Deep Learning," *Applied System Innovation 2021, Vol. 4, Page 9*, vol. 4, no. 1, hlm. 9, Feb 2021, doi: 10.3390/ASI4010009.
- [6] D. Long dan B. Magerko, "What is AI literacy? Competencies and design considerations," dalam *Proceedings of the 2020 CHI conference on human factors in computing systems*, Association for Computing Machinery, Apr 2020, hlm. 1–16. doi: 10.1145/3313831.3376727.
- [7] S. Vaid, R. Kalantar, dan M. Bhandari, "Deep learning COVID-19 detection bias: accuracy through artificial intelligence," *Int Orthop*, vol. 44, no. 8, hlm. 1539–1542, Agu 2020, doi: 10.1007/S00264-020-04609-7.
- [8] J. H. Chen dan Y. C. Tsai, "Encoding candlesticks as images for pattern classification using convolutional neural networks," *Financial Innovation*, vol. 6, no. 1, Des 2020, doi: 10.1186/S40854-020-00187-0.
- [9] R. Stuart Geiger *dkk.*, "Garbage in, garbage out? Do machine learning application papers in social computing report where human-labeled training data comes from?," *FAT* 2020 - Proceedings of the 2020 Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*, hlm. 325–336, Jan 2020, doi: 10.1145/3351095.3372862.
- [10] B. Vidgen dan L. Derczynski, "Directions in abusive language training data, a systematic review: Garbage in, garbage out," *PLoS One*, vol. 15, no. 12, hlm. e0243300, Des 2021, doi: 10.1371/JOURNAL.PONE.0243300.
- [11] S. L. Brunton dan J. N. Kutz, "Reinforcement Learning," dalam *Data-Driven Science and Engineering: Machine Learning, Dynamical Systems, and Control*, 2 ed., Cambridge University Press, 2022, hlm. 419–448. doi: 10.1017/9781009089517.016.
- [12] C. J. C. H. Watkins dan P. Dayan, "Q-learning," *Machine Learning 1992 8:3*, vol. 8, no. 3, hlm. 279–292, Mei 1992, doi: 10.1007/BF00992698.
- [13] N. Bäuerle dan U. Rieder, *Markov decision processes with applications to finance*. 2011.
- [14] T. Meng dan M. K. Data, "Reinforcement learning in financial markets," *mdpi.com*, vol. 4, no. 110, 2019, doi: 10.3390/data4030110.
- [15] S. Sun, R. Wang, dan B. An, "Reinforcement Learning for Quantitative Trading," *ACM Trans Intell Syst Technol*, vol. 14, no. 3, Mar 2023, doi: 10.1145/3582560.
- [16] D. Gale, "The law of supply and demand," *JSTOR*, hlm. 155–169, 1955.
- [17] S. Sitompul, R. Nurul Ichsan, dan L. Nasution, "The Influence of Exchange Rate, Inflation, For the Results of the Development Assets of Islamic Banks," 2021, doi: 10.47191/jefms/v4-i3-05.

-
- [18] M. Vochozka, J. Maroušek, Z. Rowland, P. Suler, dan J. Marousek, "THE INFLUENCE OF THE INTERNATIONAL PRICE OF OIL ON THE VALUE OF THE EUR/USD EXCHANGE RATE.," *researchgate.net*, 2020, doi: 10.7441/joc.2020.02.10.
- [19] A. Millea, D. Podareanu, dan M. Wiering, "Optimal action selection for the Foreign Exchange market using a Sarsa-Echo State Network," *IEEE Trans Neural Netw Learn Syst*, hlm. 1-8, 2023.
- [20] "MQL5 Reference."
- [21] W. McKinney, *Python for data analysis*. 2022.
- [22] A. Martelli, A. Ravenscroft, S. Holden, dan P. McGuire, *Python in a Nutshell*. 2023.
- [23] "Python Integration - MQL5 Reference."