

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Beberapa hal yang dapat ditarik sebagai kesimpulan dalam penelitian ini, antara lain:

1. Efektivitas Arsitektur *Hybrid PatchTST-PPO* dengan Validasi Temporal

Penerapan arsitektur hybrid yang menggabungkan *PatchTST* sebagai *feature extractor* dan *PPO* sebagai *decision maker* terbukti sangat efektif untuk trading saham Bank Central Asia Tbk (BBCA.JK). Model *PatchTST* yang dilatih dengan data historis 22 tahun (2005-2025) berhasil mengekstraksi fitur yang informatif dengan akurasi klasifikasi 65.09%, sementara *agent PPO* mampu menghasilkan *ROI* 33.08% pada 20% data yang tidak pernah terlihat selama *training*. Hasil ini menunjukkan kemampuan generalisasi yang luar biasa karena *model* berhasil mempertahankan performa pada kondisi pasar yang benar-benar baru.

2. *Robustness* Model Terhadap Berbagai Kondisi Pasar

Keunggulan signifikan penelitian ini terletak pada *robustness* temporal *model*. Dataset *training* yang mencakup hampir dua dekade (2005-2025) melatih *model* dengan berbagai kondisi pasar ekstrem: krisis finansial global 2008, volatilitas emerging market 2015-2016, dan disruption akibat pandemi COVID-19 2020-2022. Kemampuan *model* untuk menghasilkan *ROI* positif 33.08% pada periode testing 20% membuktikan bahwa pattern yang dipelajari tidak hanya applicable pada data historis, tetapi juga pada kondisi pasar kontemporer.

3. Efektivitas Model *PatchTST* dalam Ekstraksi Fitur

Model *PatchTST* menunjukkan kemampuan ekstraksi fitur yang superior dengan hasil yang dapat diukur secara objektif: akurasi 65.09%, F1-macro 64.87%, precision 64.75%, dan recall 65.11%. Kurva pembelajaran yang stabil dari epoch 1 hingga 40 menunjukkan konvergensi yang baik tanpa overfitting signifikan. Training dynamics dengan *cosine annealing scheduler* (learning rate 4.1e-5 hingga 9.8e-6) dan *gradient norm* yang terkontrol membuktikan stabilitas proses optimasi.

4. Pentingnya Feature Engineering yang Tepat

Kombinasi fitur teknikal (return, daily momentum, range efficiency, volume momentum, ADX, RSI) yang dinormalisasi terbukti memberikan informasi yang cukup untuk pengambilan keputusan trading. Penggunaan *PatchTST* untuk mengekstraksi representasi yang lebih abstrak dari fitur-fitur ini (*CLS token* 128-dimensional) meningkatkan kemampuan prediksi *model* secara signifikan.

5. Efektivitas Penanganan Ketidakseimbangan Kelas

Penggunaan *focal loss* dan *class weighting* berhasil mengatasi ketidakseimbangan distribusi *label* trading (SELL: 43.77%, BUY: 37.06%, HOLD: 19.17%). Hal ini memungkinkan *model* untuk belajar dengan baik dari semua kategori aksi trading.

6. Validitas Pendekatan Reinforcement Learning dan Temporal Validation

Penggunaan *PPO* sebagai algoritma *reinforcement learning* terbukti cocok untuk problem trading, terutama dengan validasi temporal yang ketat. Kemampuan *model* yang dilatih dengan data 80% dari tahun 2005-2025 untuk menghasilkan *ROI* 33.08% pada periode *out-of-sample* 20% dari total data menunjukkan:

- a. Kemampuan belajar dari reward yang *sparse* dan *delayed*
- b. Stabilitas dalam proses pembelajaran across different market regimes
- c. Kemampuan eksplorasi yang seimbang dengan eksploitasi pada kondisi pasar yang tidak pernah terlihat sebelumnya
- d. Robustness terhadap *regime changes* dan *structural breaks* dalam data finansial

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan ini, terdapat beberapa hal yang dapat dikembangkan untuk penelitian berikutnya, antara lain:

1. Ekspansi Dataset Temporal dan Cross-Asset

Meskipun *dataset* 22 tahun (2005-2025) sudah sangat komprehensif, penelitian berikutnya dapat mengeksplorasi:

- a. **Extended Historical Data:** Menggunakan data sejak 1990-an jika tersedia untuk capture lebih banyak market cycles
- b. **Multi-Asset Portfolio:** Penerapan pada portfolio saham blue-chip Indonesia (BBRI, BMRI, TLKM, UNVR) untuk diversifikasi
- c. **Cross-Market Validation:** Testing pada pasar emerging markets lain (Thailand, Malaysia, Philippines) untuk validasi robustness
- d. **Higher Frequency Data:** Eksplorasi dengan data *intraday* (hourly/minute) untuk *short-term trading strategies*

2. Optimalisasi Hyperparameter yang Lebih Komprehensif

Meskipun *model PatchTST* menunjukkan performa yang baik (65.09% akurasi), masih ada ruang untuk peningkatan. Penelitian berikutnya dapat menggunakan teknik optimization yang lebih canggih:

- a. *Bayesian optimization* untuk *hyperparameter tuning* yang lebih efisien daripada manual tuning
- b. *Grid search* atau *random search* yang lebih ekstensif pada parameter penting seperti *patch_length*, *embedding_dim*, dan *num_layers*
- c. *Multi-objective optimization* untuk mengoptimalkan *trade-off* antara akurasi dan *training time* (saat ini 9.6 menit per fold)
- d. *AutoML approaches* untuk *automated architecture search*

3. Integrasi Faktor Fundamental dan Makroekonomi

Model saat ini hanya menggunakan data teknikal. Penambahan faktor fundamental (*P/E ratio*, *ROE*, *debt-to-equity*) dan makroekonomi (suku bunga, inflasi, *GDP growth*) dapat meningkatkan kemampuan prediksi *model*.

4. Pengembangan *Risk Management* yang Lebih *Sophisticated*

Implementasi mekanisme risk management yang lebih advanced seperti:

- a. Dynamic position sizing berdasarkan volatilitas pasar
- b. Stop-loss dan take-profit yang adaptive
- c. Portfolio diversification untuk multiple assets

5. Eksperimen dengan Arsitektur *Model* Lain

Penelitian berikutnya dapat mengeksplorasi:

Reizha Fajrian, 2025

PREDIKSI HARGA SAHAM *BANK*BCA MENGGUNAKAN ALGORITMA *PATCHTST*DAN OPTIMASI STRATEGI *TRADING*DENGAN *PPO*

UPN Veteran Jakarta, Fakultas Ilmu Komputer, S1 Informatika

[www.upnvj.ac.id - www.library.upnvj.ac.id - www.repository.upnvj.ac.id]

- a. Transformer variants lainnya (TST, Informer, Autoformer)
- b. Deep *reinforcement learning* algorithms lain (SAC, TD3, A3C)
- c. Ensemble methods untuk meningkatkan robustness

6. Implementasi Trading Platform Real-time

Pengembangan sistem trading otomatis yang dapat diintegrasikan dengan broker API untuk implementasi real-time, lengkap dengan:

- a. Monitoring performa real-time
- b. Risk management dashboard
- c. Backtesting framework yang comprehensive

7. Validasi *Production-Ready* dan *Live Testing*

Dengan foundation *temporal validation* yang kuat (19 tahun *training*, 2 tahun *out-of-sample* testing), langkah selanjutnya adalah:

- a. **Paper Trading:** Implementasi real-time dengan mock capital untuk validasi latency dan execution
- b. **Limited Live Trading:** Pilot program dengan capital terbatas untuk validate practical implementation
- c. ***Risk-Adjusted Metrics:*** Comprehensive evaluation dengan Sharpe ratio, *Calmar ratio*, dan *maximum drawdown* analysis
- d. ***Transaction Cost Analysis:*** Incorporate realistic brokerage fees, slippage, dan market impact dalam backtesting

8. *Longitudinal Performance Monitoring*

Mengingat *model* sudah teruji pada data *out-of-sample*, monitoring jangka panjang perlu dilakukan:

- a. ***Quarterly Performance Review:*** Monitor degradasi performa dan *trigger* untuk *model retraining*
- b. ***Regime Detection:*** *Early warning system* untuk *detect* structural *market changes*
- c. ***Adaptive Learning:*** Implement online learning untuk gradual *model updates* tanpa full *retraining*
- d. ***Benchmark Comparison:*** *Continuous comparison* dengan *buy-and-hold* dan *market indices*

9. Analisis *Interpretabilitas Model*

Reizha Fajrian, 2025

PREDIKSI HARGA SAHAM BANK BCA MENGGUNAKAN ALGORITMA *PATCHTST* DAN OPTIMASI STRATEGI *TRADING* DENGAN *PPO*

UPN Veteran Jakarta, Fakultas Ilmu Komputer, S1 Informatika

[www.upnvj.ac.id - www.library.upnvj.ac.id - www.repository.upnvj.ac.id]

Implementasi *explainable* AI untuk memahami:

- a. *Feature importance* dalam pengambilan keputusan
- b. *Attention patterns* pada *model PatchTST*
- c. *Policy behavior analysis* pada *agent PPO*

Dengan implementasi saran-saran di atas, diharapkan penelitian berikutnya dapat menghasilkan sistem trading yang lebih *robust*, *profitable*, dan *applicable* untuk kondisi pasar *real-world* yang dinamis.