

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, model *DeepAR* terbukti efektif untuk meramalkan realisasi pendapatan negara Indonesia dengan memanfaatkan dataset ekonomi makro IMF periode 1980, 1981, ..., 2024. Studi ini mengeksplor tiga skenario proporsi data 80:10:10, 70:20:10, dan 70:15:15 menggunakan skema validasi *expanding window*. Pada tahap *baseline*, skenario 80:10:10 memberikan kinerja terbaik dan ditetapkan sebagai acuan untuk *Bayesian optimization*. Model *DeepAR* yang telah dioptimasi kemudian dilatih ulang pada seluruh histori 1980, 1981, ..., 2024 dan menghasilkan peramalan probabilistik satu langkah ke depan untuk tahun 2025. Evaluasi pada periode uji 2020, 2021, ..., 2024 menunjukkan akurasi yang baik dengan *MAPE* 8,96 persen, *RMSE* 1,423, dan *CRPS* 1,539. Implementasi akhir memproyeksikan nilai 2025 sebesar 14,43 persen PDB dengan *prediction interval* 80 persen dari 14,16 hingga 14,66, posisi yang berada sedikit di bawah rata rata historis jangka panjang dan tetap selaras dengan kecenderungan beberapa tahun terakhir.

1. Bagaimana Penerapan Model DeepAR Dalam Memprediksi Realisasi Pendapatan Negara Indonesia Menggunakan Dataset IMF Dengan 4 Variabel Ekonomi Periode 1980-2024?

Model *DeepAR* berhasil diterapkan untuk memprediksi realisasi pendapatan negara Indonesia menggunakan dataset IMF yang mencakup empat variabel ekonomi makro yaitu pendapatan pemerintah persen PDB, pengeluaran pemerintah persen PDB, pertumbuhan PDB riil, dan utang publik bruto persen PDB. Arsitektur *DeepAR* dengan mekanisme *autoregressive* dan *probabilistic forecasting* mampu menangkap pola temporal serta hubungan nonlinier pada deret ekonomi. Proses pelatihan menjaga pemisahan temporal melalui pemecahan data menjadi *train*, *validation*, dan *test*, dengan *validation* dijalankan menggunakan skema *rolling forecast* berbasis *expanding window*. Pendekatan ini menghasilkan

model yang akurat dan kokoh secara metodologis pada kondisi ekonomi yang berubah cepat termasuk fase pandemi dan pemulihan.

2. Seberapa Signifikan Peningkatan Performa Model DeepAR Yang Dioptimasi Menggunakan Bayesian optimization Dibandingkan Dengan Model Baseline DeepAR Berdasarkan Metrik Evaluasi MAPE, RMSE, dan CRPS?

Optimisasi *hyperparameter* menggunakan *Bayesian optimization* dengan 100 *trial* meningkatkan kinerja pada fase validasi dibanding *baseline*. Konfigurasi teroptimasi mencapai *MAPE* 3,50 persen dibanding *baseline* 4,64 persen dengan peningkatan sekitar 24,6 persen, *RMSE* 0,591 dibanding 0,840 dengan peningkatan sekitar 29,6 persen, dan *CRPS* 0,611 dibanding 0,717 dengan peningkatan sekitar 14,8 persen. Kombinasi parameter terbaik yang diperoleh meliputi *context length* 10, *hidden size* 48, *num layers* 3, *dropout rate* 0,15, *learning rate* 0,0015, *batch size* 32, dan *max epochs* 80 sehingga kapasitas representasi dan kemampuan generalisasi tetap seimbang dalam skema *rolling forecast* berbasis *expanding window*.

3. Bagaimana Implementasi Model DeepAR Dalam Bentuk Aplikasi Web Flask Yang Dapat Digunakan Untuk Peramalan Pendapatan Negara?

Penelitian ini berhasil model *DeepAR* optimal dalam aplikasi web berbasis Flask yang menyediakan dua mode penggunaan, yaitu Validasi Historis untuk tahun yang sudah ada di data dan Peramalan Ke Depan untuk proyeksi satu langkah. Aplikasi memuat prediktor terlatih beserta *pipeline* prapemrosesan dan menggunakan *context length* 10 sesuai konfigurasi optimal sehingga prediksi bersifat kontekstual dan disertai interval prediksi 80 persen. Antarmuka memungkinkan pengguna memilih tahun target lalu sistem menampilkan ringkasan numerik serta visualisasi deret waktu yang memuat konteks historis, titik prediksi, dan pita interval untuk mendukung interpretasi hasil.

5.2 Saran

Meskipun model yang dikembangkan telah menunjukkan performa yang sangat baik, masih terdapat beberapa aspek yang dapat dikembangkan lebih lanjut untuk penelitian di masa depan, antara lain:

1. Pengayaan Fitur Eksternal

Model dapat ditingkatkan melalui penambahan variabel eksternal seperti indikator pasar saham, harga komoditas internasional, nilai tukar rupiah, faktor geopolitik, serta indikator ekonomi global lainnya. Penambahan fitur tersebut memperkaya informasi yang diolah oleh model, sehingga berpotensi meningkatkan akurasi dan memperkuat ketahanan prediksi ketika menghadapi volatilitas ekonomi yang tinggi.

2. Optimasi Hyperparameter Lanjutan Dan Model Ensemble

Untuk meningkatkan akurasi, penelitian selanjutnya dapat mengeksplor penyetelan *hyperparameter* yang lebih mendalam menggunakan varian *Bayesian optimization* yang lebih kaya serta pendekatan *ensemble learning* yang menggabungkan *DeepAR* dengan model peramalan lain seperti *LSTM*, *GRU*, atau *Transformer*. Pendekatan ini diharapkan menghasilkan konfigurasi yang lebih tangguh dan efisien pada beragam kondisi ekonomi.

3. Pengembangan Sistem Forecasting Multi-Target Dan Multi-Horizon

Model yang dikembangkan dapat diperluas untuk memprediksi berbagai komponen pendapatan negara secara simultan seperti pajak, PNBPN, dan hibah dengan cakrawala waktu yang bervariasi satu tahun, tiga tahun, dan lima tahun, serta mengintegrasikan kuantifikasi ketidakpastian yang lebih canggih. Pengembangan ini membuka peluang penerapan dalam perencanaan fiskal yang lebih komprehensif dan mendukung perencanaan berbasis skenario untuk berbagai kondisi ekonomi di masa depan.

Halaman ini sengaja dikosongkan