PRIMA ITB 2025
Pameran Riset, Inovasi, dan Pengabdian kepada Masyarakat

Pengembangan Model Deep Learning untuk Estimasi Satellite-Derived Bathymetry (SDB) dengan Generalisasi Spasial Global Menggunakan Data ICESat-2

Inovasi Unggul Berdampak Tahun 2026

Eka Djunarsjah [1], Agung Budiharto [1], Miga Magenika [1], Zaidan Nafis [1], Amira Khairunisa [1], Wafi Haidi [1], Azis Luqman Hakim [1], Kavita Rinda Gishela [1] Tsaltsa Fadlina [1], Andika Permadi [2]
[1] Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, [2] Universitas Pendidikan Indonesia

Abstrak

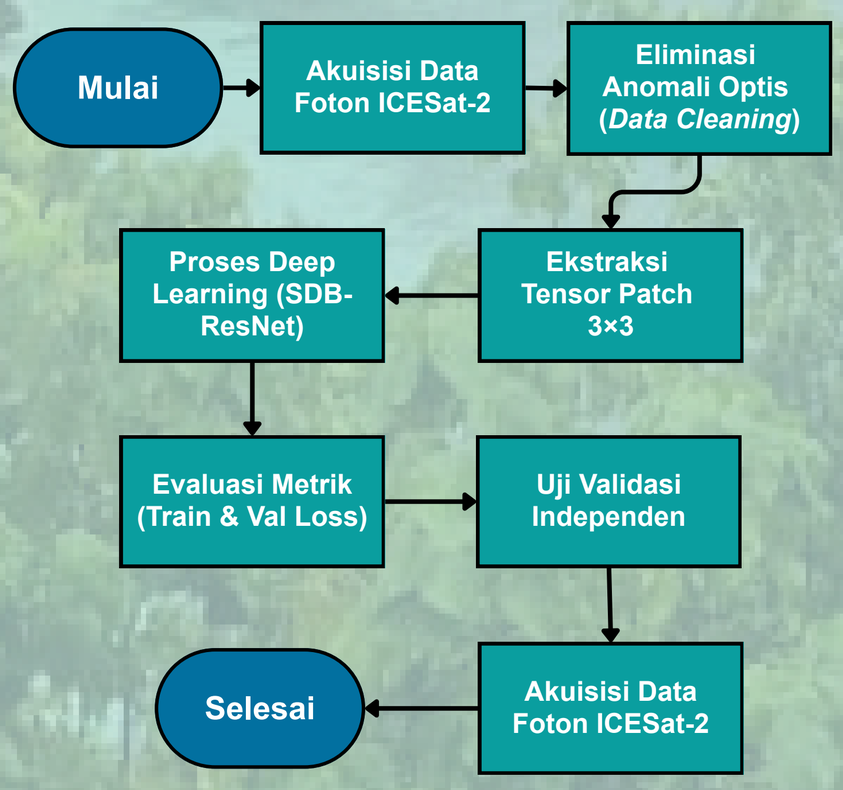
Pemetaan batimetri pesisir menggunakan **Satellite-Derived Bathymetry (SDB)** empiris masih terkendala rendahnya generalisasi spasial akibat ketergantungan pada kondisi bio-optik lokal. Riset ini mengembangkan **arsitektur Residual Neural Network (SDB-ResNet)** yang dilatih dengan data masif foton **ICESat-2** skala global. Kebaruannya terletak pada ekstraksi **fitur spektral hiper-non-linier** melalui patch-based learning, yang menunjukkan performa pembelajaran superior tanpa indikasi overfitting (Train Loss 1.1741 dan Val Loss 1.1941). Model kemudian dikemas menjadi perangkat lunak siap pakai sebagai bentuk hilirisasi. Meski evaluasi akhir menunjukkan keandalan tinggi, validasi lintas-ekosistem tetap diperlukan untuk mencegah bias autokorelasi spasial.

Kata Kunci: Satellite-Derived Bathymetry (SDB), Residual Neural Network, ICESat-2, generalisasi spasial, validasi lintas-ekosistem.

Pendahuluan

Data batimetri perairan dangkal penting untuk **penetapan batas maritim, pengelolaan pesisir, dan keselamatan navigasi**. Survei Multi-Beam Echo Sounder (MBES) berakurasi tinggi, tetapi terkendala **biaya dan waktu**, sehingga **Satellite-Derived Bathymetry (SDB)** menjadi alternatif yang efisien. Namun, metode empiris Stumpf et al. (2003) dan Lyzenga (1978) memiliki keterbatasan pada **perairan optik kompleks** serta memerlukan **kalibrasi ulang di lokasi baru**. Deep Learning, khususnya **Convolutional Neural Networks (CNN)**, berpotensi mengatasi keterbatasan tersebut melalui e**kstraksi fitur spasial dan spektral** serta pemodelan hubungan nonlinier, tetapi membutuhkan data pelatihan masif. Kebutuhan ini dapat didukung oleh **data batimetri ICESat-2** melalui lidar hijau ATLAS 532 nm yang diintegrasikan dengan **citra optik Sentinel-2 atau WorldView**. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model SDB berbasis Deep Learning yang mampu **memprediksi kedalaman pada lingkungan berbeda tanpa pelatihan ulang ekstensif**, guna mempercepat penyediaan data batimetri untuk kebutuhan strategis, termasuk penentuan batas laut negara.

Metode Riset

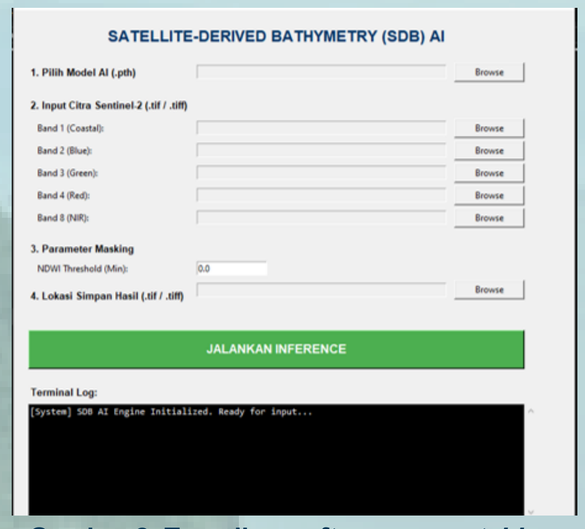


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Diskusi dan Hasil

Penelitian ini mengakuisisi **167.211 titik kedalaman** dan menyeleksi **20 area**, dengan **25.732 titik bersih untuk pelatihan** serta **267 titik untuk pengujian independen**. Arsitektur **SDB-ResNet** dengan skip connections menghasilkan **Train Loss 1.17 meter** dan **Val Loss 1.19 meter**, menunjukkan pembelajaran stabil dengan indikasi overfitting rendah. Pengujian di **Kepulauan Tanimbar** menghasilkan **RMSE 0.99 meter** dan R^2 0.862, tetapi berpotensi dipengaruhi autokorelasi spasial akibat kedekatan lokasi pelatihan dan pengujian. Validasi lintas benua di Nea Roda, Yunani, menghasilkan **RMSE 2.12 meter, MAE 1.37 meter**, dan **R^2 0.61**, menunjukkan potensi generalisasi pada perairan yang belum digunakan dalam pelatihan. Model kemudian diintegrasikan ke dalam perangkat lunak siap pakai *SDB AI Predictor* untuk memudahkan penggunaannya.

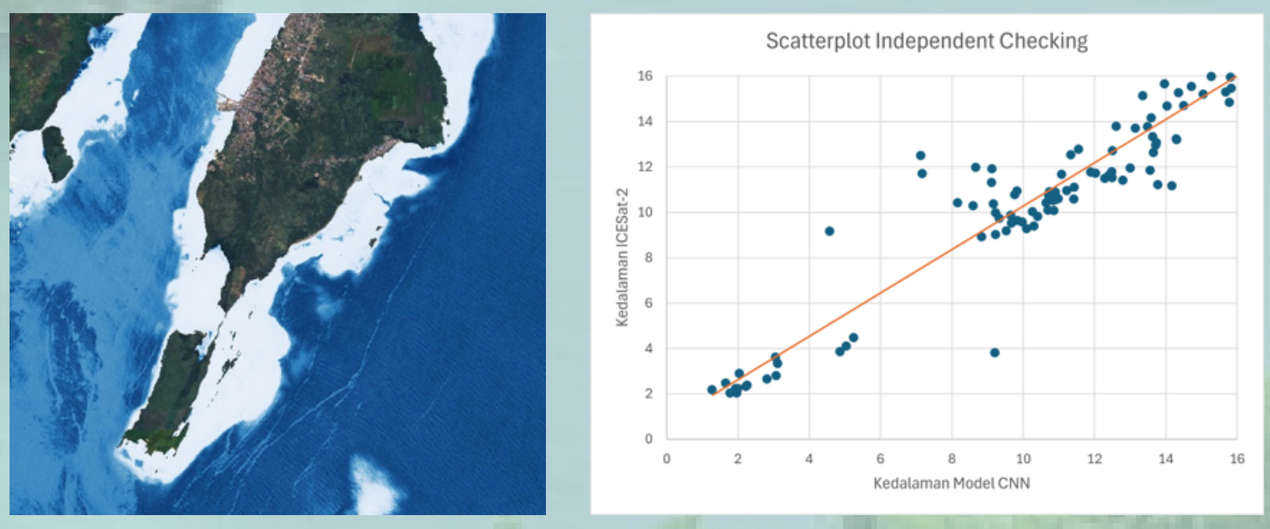
Kontribusi ilmiah utama ***(scientific impact)*** dari riset ini adalah pembuktian empiris bahwa penambahan kompleksitas struktural jaringan (seperti lapisan) krusial dalam menyelesaikan persoalan ketergantungan model SDB konvensional terhadap kondisi pesisir lokal. Secara ekonomis, inovasi ini menihilkan kebutuhan terhadap kegiatan pemeruman survei akustik yang berbiaya sangat mahal, lambat, dan berbahaya pada perairan sangat dangkal berkarang. Inovasi ini akan **mempercepat pengadaan data geospasial** pada batas pulau-pulau kecil di Indonesia.



Gambar 2. Tampilan *software executable* Pemodelan Batimetri

Tabel 1. Evaluasi Teknis Model Deep Learning

Aspek	Target	Capaian	Status
Stabilitas Model (Selisih Loss)	< 0.05	0.02 (ResNet)	Tercapai
Akurasi Generalisasi (RMSE)	< 1.0 meter	0.995 m (Lokal) & 1.37 m (Global)	Tercapai (Skala Regional)
Integrasi HAKI Program	Aplikasi *executeable*	Software SDB AI Predictor	Tercapai



Gambar 3. hasil pemodelan batimetri (kiri) dengan scatterplot validasi model (kanan) di Perairan Tanimbar.

Dokumentasi Kegiatan





Kesimpulan

Pengembangan **SDB-ResNet** berada pada **transisi TKT 5 menuju TKT 6**, didukung oleh kestabilan pembelajaran dengan indikasi overfitting rendah serta kemampuan prediksi pada perairan yang belum digunakan dalam pelatihan. Model mencapai **RMSE regional 0.995 meter** dan menunjukkan **potensi generalisasi lintas wilayah** melalui pengujian di Nea Roda, Yunani. Capaian ini menjadi dasar pengembangan menuju **uji operasional komprehensif (TKT 7–8)** melalui validasi menggunakan data pembanding eksternal, termasuk hasil survei UAV yang sesuai untuk evaluasi batimetri, sebelum komersialisasi.