

COMPARATIVE ANALYSIS OF MULTI-CLASS SEMANTIC SEGMENTATION MODELS FOR PIPELINE CORROSION DETECTION

By

David Mario Yohanes Samosir, NIM 2115101055

Informatics Engineering Department

ABSTRACT

Corrosion detection in pipeline infrastructure necessitates a precise and effective methodology to facilitate preventative maintenance and reduce the likelihood of system failure. Corrosion is material damage due to environmental reactions that require accurate visual detection. Multi-class semantic segmentation enables precise classification of pixels into categories such as corrosion, pipe, and background. Mobile U-Net was selected for its integration of the robust U-Net architecture in intricate object segmentation with the efficiency of MobileNet, whilst BiSeNetV3 is designed for inference speed via its bilateral structure and EfficientNetB1 backbone, enhancing generalization on constrained datasets. The dataset consists of 112 original images enriched to 2,028 images through traditional data augmentation techniques, with a data distribution of 80% for training, 10% for validation, and 10% for testing. In the implementation of the original dataset, Mobile U-Net with a model size of 28.3 MB showed a validation accuracy of 80.58% and reached a mIoU value of 62.03% in the 36th epoch, with a mIoU distribution of 58.67% for the corrosion class, 50.64% for the pipe class, and 76.77% for the background class. BiSeNetV3, with a model size of 13.56 MB, achieved a validation accuracy of 83.96% with a mIoU of 62.01% in the 40th epoch. The application of data augmentation significantly improves both models' performance, with BiSeNetV3 achieving a validation accuracy of 97.54% and mIoU of 90.95% with a computing time of 0.4788 seconds per image, while Mobile U-Net reaches 96.76% accuracy and 88.20% mIoU in 0.4287 seconds. Testing results demonstrate BiSeNetV3's superior performance with a mIoU of 96.12% and a Dice score of 97.91%, compared to Mobile U-Net's 92.41% mIoU and 95.72% Dice score. The system implements pixel-based corrosion area calculation on 256x256 pixel images, quantitatively evaluating corrosion damage. Results indicate BiSeNetV3 as the optimal choice for mobile application implementation based on its balanced performance in segmentation accuracy, computational efficiency, and model size while maintaining consistent segmentation across all classes.

Keywords: Image Segmentation, Multi-Class Segmentation, Deep Learning, Efficient Model, Pipe Corrosion Detection

ANALISIS KOMPARATIF MODEL SEGMENTASI SEMANTIK MULTI-KELAS UNTUK DETEKSI KOROSI PIPA

Oleh

David Mario Yohanes Samosir, NIM 2115101055

Jurusan Teknik Informatika

ABSTRAK

Deteksi korosi pada infrastruktur pipa membutuhkan metodologi yang tepat dan efektif untuk memfasilitasi pemeliharaan preventif dan mengurangi kemungkinan kegagalan sistem. Korosi merupakan kerusakan material akibat reaksi lingkungan yang memerlukan deteksi visual yang akurat. Segmentasi semantik multi-kelas memungkinkan klasifikasi piksel ke dalam kategori seperti korosi, pipa, dan latar belakang secara presisi. Mobile U-Net dipilih karena menggabungkan arsitektur U-Net yang handal dalam segmentasi objek kompleks dengan efisiensi MobileNet, sedangkan BiSeNetV3 dioptimalkan untuk kecepatan inferensi melalui struktur bilateral dan tulang punggung EfficientNetB1 yang meningkatkan generalisasi pada data terbatas. Dataset terdiri dari 112 gambar asli yang diperkaya menjadi 2.028 gambar melalui teknik augmentasi data tradisional, dengan distribusi data 80% untuk pelatihan, 10% untuk validasi, dan 10% untuk pengujian. Pada implementasi dataset asli, Mobile U-Net dengan ukuran model 28.3 MB menunjukkan akurasi validasi sebesar 80.58% dan mencapai nilai mIoU sebesar 62.03% pada epoch ke-36, dengan distribusi mIoU sebesar 58.67% untuk kelas korosi, 50.64% untuk kelas pipa, dan 76.77% untuk kelas background. BiSeNetV3, dengan ukuran model 13,56 MB, mencapai akurasi validasi 83,96% dengan mIoU 62,01% pada epoch ke-40. Penerapan augmentasi data secara signifikan meningkatkan kinerja kedua model, dengan BiSeNetV3 mencapai akurasi validasi 97,54% dan mIoU 90,95% dengan waktu komputasi 0,4788 detik per gambar, sedangkan Mobile U-Net mencapai akurasi 96,76% dan 88,20% mIoU dalam 0,4287 detik. Hasil pengujian menunjukkan kinerja BiSeNetV3 yang lebih unggul dengan mIoU 96,12% dan skor Dice 97,91%, dibandingkan dengan Mobile U-Net yang mencapai 92,41% mIoU dan 95,72% skor Dice. Sistem ini mengimplementasikan perhitungan area korosi berbasis piksel pada gambar 256x256 piksel, yang secara kuantitatif mengevaluasi kerusakan akibat korosi. Hasil penelitian menunjukkan BiSeNetV3 sebagai pilihan optimal untuk implementasi aplikasi seluler berdasarkan kinerjanya yang seimbang dalam akurasi segmentasi, efisiensi komputasi, dan ukuran model dengan tetap mempertahankan segmentasi yang konsisten di semua kelas.

Kata Kunci: Segmentasi Citra, Segmentasi Multi-Kelas, Pembelajaran Mendalam, Model yang Efisien, Deteksi Korosi Pipa