TESIS

MODIFIKASI RTMDET UNTUK MENINGKATKAN PERFORMA DETEKSI SAMPAH *OUTDOOR* PADA *DATASET* YANG TIDAK SEIMBANG

LAURA YOHANA

235312170

PROGRAM STUDI MAGISTER INFORMATIKA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

2026

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir Berjudul

MODIFIKASI RTMDET UNTUK MENINGKATKAN PERFORMA DETEKSI SAMPAH OUTDOOR PADA DATASET YANG TIDAK SEIMBANG

yang disusun oleh

Laura Yohana

235312170

dinyatakan telah memenuhi syarat pada tanggal 25 Juli 2026

		Keterangan
Dosen Pembimbing 1	: Prof. Dr. Ir. Alb. Joko Santoso, M.T.	Telah Menyetujui
Dosen Pembimbing 2	: Prof. Ir. Suyoto, M.Sc., Ph.D	Telah Menyetujui
Tim Penguji		
Penguji 1	: Prof. Dr. Ir. Alb. Joko Santoso, M.T.	Telah Menyetujui
Penguji 2	: Prof. Dr. Andi Wahju Rahardjo Emanuel, BSEE., MSSE	Telah Menyetujui

Yogyakarta, 25 Juli 2026

Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Teknologi Industri

Dekan

ttd.

Prof. Dr. Ir. Parama Kartika Dewa SP., S.T., M.T., IPU, ASEAN Eng.

Dokumen ini merupakan dokumen resmi UAJY yang tidak memerlukan tanda tangan karena dihasilkan secara elektronik oleh Sistem Bimbingan UAJY. UAJY bertanggung jawab penuh atas informasi yang tertera di dalam dokumen ini

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	:	Laura Yohana
NIM	:	235312170
Judul Tesis	:	MODIFIKASI RTMDET UNTUK MENINGKATKAN PERFORMA DETEKSI SAMPAH *OUTDOOR* PADA *DATASET* YANG TIDAK SEIMBANG

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa seluruh isi tesis ini merupakan hasil pemikiran, penelitian, dan karya ilmiah saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan-bahan yang telah dipublikasikan atau ditulis oleh orang lain, kecuali yang telah saya akui secara tertulis melalui sitasi dalam naskah dan dicantumkan dalam daftar pustaka sesuai dengan kaidah penulisan ilmiah yang berlaku.

Apabila di kemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi yang sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Yogyakarta, 20 Juli 2026

Laura Yohana

ABSTRAK

Computer vision sebagai salah satu bentuk perkembangan teknologi dapat berperan dalam mendukung pengelolaan sampah secara otomatis seperti deteksi sampah *outdoor.* Namun, performa deteksi masih menghadapi beberapa tantangan, seperti distribusi data yang tidak seimbang, karakteristik objek sampah yang beragam, serta representasi fitur yang belum optimal. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan performa deteksi objek sampah *outdoor* pada model RTMDet melalui integrasi *Repeat Factor Sampling* (RFS), DySample, *Efficient Multi-scale Attention* (EMA), dan *Ghost Module* pada CSPNeXt (GCSPNeXt).

Penelitian menggunakan *dataset* TACO yang telah di-*filter* menjadi *dataset* objek sampah *outdoor* dengan 27 superkategori. RFS diterapkan untuk mengatasi ketidaksimbangan distribusi data, DySample untuk mempertahankan informasi spasial selama proses *upsampling,* EMA diletakkan di *feature map* level P4 sebelum *convolution head* untuk memperkuat fitur multiskala melalui mekanisme *feature grouping* dan *attention,* sedangkan GCSPNeXt digunakan tepat sebelum *feature map* dari *backbone* CSPNeXt diteruskan ke CSPNeXt-PAFPN untuk mengurangi informasi redundan pada *feature map* yang diperoleh dari proses konvolusi, sehingga menjadi lebih efisien.

Evaluasi dilakukan menggunakan metrik mAP, dan AP berdasarkan ukuran objek, distribusi kategori, jumlah parameter, FPS, dan *latency.* Skenario dilatih sebanyak lima kali menggunakan *random seed* yang berbeda dengan konfigurasi dan pembagian data yang sama. Hasil penelitian menunjukkan metode usulan mengungguli performa RTMDet dari nilai mAP ***mean ± std*** sebesar **0,123 ± 0,018** menjadi **0,148 ± 0,017**, dan sebanyak **527,792 params** berkurang disertai dengan penurunan FPS dan peningkatan *latency* yang masih dapat diterima. Hasil tersebut menunjukkan bahwa integrasi RFS, DySample, EMA, dan GCSPNeXt pada RTMDet mampu meningkatkan performa deteksi objek sampah *outdoor* pada *dataset* dengan karakteristik tidak seimbang.

Kata kunci: deteksi sampah *outdoor*, RTMDet, *dataset* tidak seimbang, *Repeat Factor Sampling, DySample, Efficient Multi-scale Attention, GCSPNeXt*

ABSTRACT

Computer vision plays an important role in supporting automated waste management, including outdoor waste detection. However, detection performance still faces several challenges, such as imbalanced data distribution, diverse characteristics of waste objects, and limitation in feature representation. This study aims to improve the performance of outdoor waste object detection in RTMDet model by integrating Repeat Factor Sampling (RFS), DySample, Efficient Multi-scale Attention (EMA), and the Ghost Module into CSPNeXt (GCSPNeXt).

The TACO dataset was filtered to include outdoor waste images and reorganized into 27 supercategories. RFS addressed class imbalance, DySample preserved spatial information during upsampling, EMA to enhance multi-scale feature representation on the P4 feature map before the convolution head, and GCSPNeXt is used immediately before the feature map from the CSPNeXt backbone is passed to CSPNeXt-PAFPN to reduce redundant information in the feature maps obtained from the convolution process, thereby improving efficiency.

Evaluation was conducted using the mAP and AP metrics based on object size, category distribution, number of parameters, FPS, and latency. The scenario was trained five times using different random seeds with the same configuration and data split. The results demonstrate that the proposed method outperforms the baseline RTMDet, increasing mean ***mean ± std*** from **0,123 ± 0,018** to **0,148 ± 0,017**. Additionally, the model achieved a reduction of **527,792** parameters, while maintaining acceptable FPS and latency trade-offs. These findings indicate that integrating RFS, DySample, EMA, and GCSPNeXt into RTMDet effectively enhances outdoor waste object detection performance on a long tail dataset.

Kata kunci: *outdoor waste detection*, RTMDet, *imbalanced dataset*, *Repeat Factor Sampling, DySample, Efficient Multi-scale Attention, GCSPNeX*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus yang telah memimpin penulis dari awal perkuliahan hingga pada tahap penyelesaian tesis yang berjudul "MODIFIKASI RTMDET UNTUK MENINGKATKAN PERFORMA DETEKSI SAMPAH *OUTDOOR* PADA *DATASET* YANG TIDAK SEIMBANG". Adapun tujuan dari penulisan tesis ini adalah untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam mencapai gelar Magister Komputer di Fakultas Teknologi Industri Universitas Atma Jaya Yogyakarta (UAJY).

Penyusunan tesis ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dukungan, doa, masukan, saran baik secara langsung maupun tidak secara langsung dari berbagai pihak. Dengan penuh rasa hormat dan kasih, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus atas segala penyertaan-Nya dalam hidup penulis.
2. Bapak Yonathan Dri Handarkho, ST., M.Eng., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Magister Informatika.
3. Prof. Dr. Ir. Alb. Joko Santoso, M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan banyak waktu untuk membimbing penulis selama proses penyusunan tesis.
4. Prof. Ir. Suyoto, M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing II, terima kasih atas saran, masukan, dan perhatian yang telah diberikan sehingga penulis mampu menyelesaikan tesis ini.
5. Prof. Dr. Andi Wahju Rahardjo Emanuel, BSEE., MSSE, selaku Dosen Penguji, terima kasih atas segala kritik, saran, dan masukan yang sangat bermanfaat dalam penyempurnaan tesis ini.

6. Seluruh dosen dan staf Program Studi Magister Informatika yang telah memberikan ilmu, bantuan, dan pelayanan selama penulis menempuh studi S2.
7. Mama dan Papa tercinta. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala kasih sayang, doa, dukungan, pengorbanan, kesabaran, dan semangat yang tidak putus. Terima kasih telah senantiasa menjadi sumber kekuatan bagi penulis dalam setiap proses, termasuk selama penyusunan tesis ini. Segala pencapaian ini tidak akan terwujud tanpa cinta dan dukungan Mama dan Papa.
8. Bapak tua Maruba Sinaga dan Inang tua Ririn. Penulis menyampaikan rasa syukur dan terima kasih yang tulus atas kasih sayang, doa, dukungan, perhatian, serta pengorbanan yang telah diberikan. Kehadiran Paktuo dan Maktuo menjadi salah satu sumber kekuatan bagi penulis untuk terus berjuang hingga tesis ini dapat terselesaikan dengan baik.
9. Abangku Leonard Sinaga, adikku Laurance Sinaga, dan Kakak Iparku Maya Girsang tercinta. Penulis mengucapkan terima kasih atas doa, dukungan, semangat, dan kasih sayang selalu diberikan selama proses penyusunan tesis ini.
10. Teman-teman Magister Informatika Angkatan 2023: Tesa, Elza, Rio, Kak Asep, Kak Damba, Kak Ian, Kak Hendri, dan Tian yang selalu menemani masa-masa perkuliahan di kampus selama menempuh studi dan memberikan dukungan hingga penyusunan tesis ini.
11. Sahabat-sahabat penulis, Regina, Sintya, dan Ermy yang selalu memberikan dukungan dan kepercayaan kepada penulis dalam menyelesaikan tesis ini.
12. Diri sendiri yang selalu berusaha dan optimis dalam menyelesaikan tesis ini.

Demikian penulis ucapkan terima kasih, penulis menyadari bahwa Tesis ini masih terdapat banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Maka dari itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan penelitian di masa mendatang. Semoga tesis ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.

.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN ..... **i**

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN ..... **ii**

ABSTRAK ..... **iii**

ABSTRACT ..... **iv**

KATA PENGANTAR ..... **v**

DAFTAR ISI ..... **viii**

DAFTAR TABEL ..... **xii**

DAFTAR GAMBAR ..... **xiii**

BAB I PENDAHULUAN **1**

1.1 Latar Belakang **1**

1.2 Rumusan Masalah **9**

1.3 Pertanyaan Penelitian **10**

1.4 Tujuan Penelitian **10**

1.5 Batasan Masalah **10**

1.6 Manfaat Penelitian **11**

1.6.1 Manfaat Teoritis 11

1.6.2 Manfaat Praktis 12

1.7 Sistematika Penulisan **12**

BAB II TINJAUAN PUSTAKA **15**

2.1 Penelitian Terdahulu **15**

2.2 Kebaruan Penelitian 26

BAB III LANDASAN TEORI 29

3.1 Sampah 29

3.2 Pengelolaan Sampah 31

3.2.1 Pemilahan 31

3.2.2 Pengumpulan 32

3.2.3 Pengangkutan 32

3.2.4 Pengolahan 33

3.2.5 Pemrosesan Akhir Sampah 33

3.3 Biological Neural Networks 33

3.4 Artificial Neural Network 34

3.5 Feedforward Neural Network 37

3.6 Convolutional Neural Networks (CNNs) 39

3.6.1 Convolutional Layer 40

3.6.2 Fungsi Aktivasi 42

3.6.3 Pooling Layer 43

3.6.4 Fully-connected Layer 44

3.6.5 Loss Function 45

3.7 Object Detection 45

3.7.1 Features Extraction 45

3.7.2 Recognition 46

3.7.3 Localization 46

3.7.4 Detection 46

3.8 RTMDet 47

3.9 GhostNet 51

3.10 DySample 54

3.11 Efficient Multiscale Attention 58

3.12 Imbalance pada Object Detection..... 60

3.13 Repeat Factor Sampling 61

3.14 Mean Average Precision 61

BAB IV METODE PENELITIAN 64

4.1 Tahapan Penelitian 64

4.2 Detail Tahapan Penelitian 65

4.2.1 Identifikasi Masalah 65

4.2.2 Studi Literatur 66

4.2.3 Pengumpulan Data 66

4.2.4 Perancangan Model 76

4.2.5 Pelatihan Model 85

4.2.6 Evaluasi Model..... 86

4.2.7 Analisa Hasil 87

4.2.8 Penulisan Laporan 88

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 89

5.1 Hasil Pelatihan Model..... 89

5.1.1 Konvergensi Pelatihan Model 89

5.2 Hasil Evaluasi Model 93

5.2.1 Perbandingan Hasil Evaluasi Seluruh Skenario 93

5.2.2 Perbandingan Kompleksitas dan Efisiensi Model..... 95

5.2.3 Perbandingan Performa Model Berdasarkan Frekuensi kelas 97

5.3 Analisis Visual 110

5.3.1 Analisis Kesalahan Deteksi Berdasarkan Confussion Matrix..... 111

5.3.2 Hasil Deteksi 116
5.3.3 Overlay Feature Map..... 120
5.3.4 Analisis Pengaruh Setiap Modul terhadap Performa Model..... 125
5.4 Impilkasi Penelitian 132
5.4.1 Implikasi Teoritis 132
5.4.2 Implikasi Praktis..... 133
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 135
6.1 Kesimpulan 135
6.2 Saran..... 137
DAFTAR PUSTAKA 139

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan hasil penelitian sebelumnya 20
Tabel 4. 1 Konfigurasi Hyperparameter Pelatihan..... 85
Tabel 4. 2 Konfigurasi Model Pelatihan 87
Tabel 5. 1 Hasil Evaluasi Model AP *mean ± std* 94
Tabel 5. 2 Perbandingan Kompleksitas dan Efisiensi Model 96
Tabel 5. 3 Perbandingan Performa Model Berdasarkan Frekuensi kelas 99
Tabel 5. 4 AP *mean ± std* Setiap Kategori Dalam Kelompok Kelas *Rare*..... 102
Tabel 5. 5 AP *mean ± std* Setiap Kategori Dalam Kelompok Kelas *Common*. 105
Tabel 5. 6 *AP mean ± std* Setiap Kategori Dalam Kelompok Kelas *Frequent*. 108

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Simbol daur ulang sampah plastik 29
Gambar 3. 2 Biological Neuron 34
Gambar 3. 3 Single-layer Neural Network 36
Gambar 3. 4 Multi-layer Neural Network 36
Gambar 3. 5 Single-layer Feedforward Network 37
Gambar 3. 6 Multi-layer Feedforward Network 38
Gambar 3. 7 Model Konseptual CNN 40
Gambar 3. 8 Ilustrasi kalkulasi pada *Convolutional Layer* 41
Gambar 3. 9 Jenis Fungsi Aktivasi 42
Gambar 3. 10 Pooling Layer 44
Gambar 3. 11 Arsitektur RTMDet 47
Gambar 3. 12 Struktur Stem Layer, Conv Module dan Stage Layer 48
Gambar 3. 13 Struktur CSP Layer, CSPNeXt Block, Channel Attention, dan SPP Bottle Neck 49
Gambar 3. 14 Struktur CSPNeXt-PAFPN 50
Gambar 3. 15 Sampling based Dynamic Upsampling 55
Gambar 3. 16 Sampling Point Generator in DySample 56
Gambar 3. 17 Ilustrasi EMA [37]. 58
Gambar 5. 1 Grafik *Loss* Selama Proses Pelatihan Model: (a) total *loss*, (b) *bounding box regression loss*, dan (c) *classifiaction loss* 90
Gambar 5. 2 Perbandingan Kurva mAP Validasi Antar Skenario 92
Gambar 5. 3 Hasil *Confusion Matrix Baseline* RTMDet 111
Gambar 5. 4 Hasil *Confusion Matrix* Modifikasi RTMDet-6 114
Gambar 5. 5 Hasil Deteksi 118
Gambar 5. 6 Visualisasi Overlay Feature Map P3, P4, P5 121