UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Deteksi dan Mitigasi Silent Data Corruption pada _Deep Neural Network_ Menggunakan Checksum Bobot
dan Penggantian Nilai Aktivasi Berbasis Distribusi Aktivasi Per-Channel**
Davin Jason Evan Raharjo, Muhammad Alfian Amrizal, B.Eng., M.I.S., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL **ii**

HALAMAN PENGESAHAN **iii**

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI **iv**

KATA PENGANTAR **v**

DAFTAR ISI **vii**

DAFTAR GAMBAR **xi**

DAFTAR TABEL **xii**

DAFTAR KODE **xiii**

DAFTAR ALGORITMA **xv**

INTISARI **xvi**

ABSTRACT **xvii**

I PENDAHULUAN **1**

1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 5
1.3 Tujuan Penelitian 6
1.4 Batasan Penelitian 6
1.5 Manfaat Penelitian 7

II TINJAUAN PUSTAKA **8**

2.1 Penelitian Terdahulu 8
2.1.1 Redundansi Perangkat Keras 8
2.1.2 Perlindungan Selektif pada Parameter Rentan 9
2.1.3 Pemantauan Aktivasi Internal Model 10
2.1.4 Kompresi Statistik dan Penyederhanaan Sinyal Pemantauan 10
2.2 State of the Art: DrDNA 11
2.3 Tabel Perbandingan Penelitian 16

III METODOLOGI PENELITIAN **18**

3.1 Alur Penelitian 18
3.2 Replikasi DrDNA 19
3.3 Data Penelitian 20
3.3.1 Deskripsi Dataset 20
3.3.2 Prapemrosesan Data (*Preprocessing*) 21

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Deteksi dan Mitigasi Silent Data Corruption pada _Deep Neural Network_ Menggunakan Checksum Bobot
dan Penggantian Nilai Aktivasi Berbasis Distribusi Aktivasi Per-Channel**
Davin Jason Evan Raharjo, Muhammad Alfian Amrizal, B.Eng., M.I.S., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.4 Model yang Digunakan 22
3.4.1 Notasi Model DNN 23
3.4.2 ResNet-18 23
3.4.3 MobileNetV2 24
3.4.4 EfficientNet-B0 25
3.4.5 ViT-Tiny/16 25
3.4.6 DeiT-Tiny 26
3.4.7 MLP-Mixer (Mixer-B/16) 26
3.5 Rancangan Metode Usulan 27
3.6 Profiling 27
3.6.1 Data dan konfigurasi *profiling* 28
3.6.2 Pemilihan lapisan yang akan diprofil 28
3.6.3 Pembentukan *signature* DNA 29
3.6.4 Pembentukan *checksum* 30
3.7 Mekanisme *Fault Injection* 31
3.7.1 Random Bit-Flip (RBF) 32
3.7.2 Random NaN (RNaN) 32
3.7.3 Random Value (RV) 32
3.7.4 Random Value-Stealthy (RVS) 33
3.7.5 Pemilihan Lapisan Injeksi dan Urutan *Forward Pass* 33
3.8 Deteksi 34
3.8.1 Aturan keputusan deteksi 35
3.9 Mitigasi 36
3.9.1 Activation Redistribution (AR) 39
3.9.1.1 AR Berbasis Histogram *per-Layer* 40
3.9.1.2 AR Berbasis Histogram *per-Channel* 40
3.10 Pemilihan Parameter Pembanding 41
3.10.1 Pemilihan Bobot Skor Abnormalitas DrDNA 41
3.10.2 Pemilihan *Threshold* Global AF 42
3.11 Lingkungan Implementasi 44
3.11.1 Spesifikasi Perangkat Keras 44
3.11.2 Perangkat Lunak 44
3.12 Evaluasi 45
3.12.1 Kemampuan deteksi kesalahan 46
3.12.2 Deteksi prematur 46
3.12.3 Perubahan dan pemulihan prediksi 47
3.12.4 Akurasi Top-1 dan Top-5 setelah mitigasi 48

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Deteksi dan Mitigasi Silent Data Corruption pada _Deep Neural Network_ Menggunakan Checksum Bobot
dan Penggantian Nilai Aktivasi Berbasis Distribusi Aktivasi Per-Channel**
Davin Jason Evan Raharjo, Muhammad Alfian Amrizal, B.Eng., M.I.S., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.12.5 Waktu eksekusi 49

IV IMPLEMENTASI 53

4.1 Implementasi prapemrosesan 53
4.1.1 Konstanta dan transformasi data 53
4.1.2 Penyesuaian tensor masukan dengan model 54
4.2 Implementasi *fault injection* 55
4.2.1 Konfigurasi mode injeksi dan lapisan sasaran 56
4.2.2 Kelas `FaultInjector` dan seleksi parameter 56
4.2.3 Realisasi empat model kesalahan 60
4.2.4 Injeksi sementara pada satu putaran eksperimen 62
4.3 Implementasi *profiling* 63
4.3.1 Konfigurasi *profiling* dan pemilihan lapisan target 63
4.3.2 Pengambilan aktivasi dengan *forward hook* 64
4.3.3 Pembentukan statistik keluaran lapisan 65
4.4 Implementasi *checksum* 66
4.4.1 Pembentukan *checksum* dari parameter lapisan 66
4.4.2 Implementasi fungsi native *checksum* penuh 67
4.5 Logika deteksi 68
4.6 Implementasi mitigasi 70
4.6.1 Pemilihan mode mitigasi 70
4.6.2 Pembentukan data mitigasi per lapisan 72
4.6.3 Pembentukan masker nilai abnormal 74
4.6.4 *Activation Filtering* dan D-AF 76
4.6.5 *Sampler* histogram untuk AR 76
4.6.6 *Activation Redistribution* berbasis *layer* 78
4.6.7 *Activation Redistribution* berbasis *channel* 79
4.7 Orkestrasi *runtime* inferensi 80
4.7.1 Registrasi *hook* pada lapisan target 81
4.7.2 *Callback* deteksi dan mitigasi pada lapisan 82
4.7.3 Alur eksekusi *runtime* 83
4.8 Implementasi DrDNA 85
4.8.1 Pembentukan profil DrDNA 85
4.8.2 Perhitungan skor abnormalitas DrDNA 86
4.8.3 *Callback* DrDNA pada *runtime* 90
4.8.4 Integrasi DrDNA ke *pipeline* eksperimen 91
4.8.5 Implementasi pemilihan bobot λ DrDNA 92
4.9 Implementasi *pipeline* eksperimen 93

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Deteksi dan Mitigasi Silent Data Corruption pada _Deep Neural Network_ Menggunakan Checksum Bobot
dan Penggantian Nilai Aktivasi Berbasis Distribusi Aktivasi Per-Channel**
Davin Jason Evan Raharjo, Muhammad Alfian Amrizal, B.Eng., M.I.S., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.9.1 Struktur hasil *runtime* 93
4.9.2 Evaluasi akurasi dan recoverability 95
4.10 Implementasi *pipeline* timing 97
4.10.1 *Callback* timing metode usulan 97
4.10.2 Eksperimen timing 99

V HASIL DAN PEMBAHASAN 101
5.1 Skenario Eksperimen dan Parameter Pengujian 101
5.1.1 Pengaturan eksperimen 101
5.2 Kinerja Deteksi *Fault* 102
5.2.1 Hasil *Tuning* DrDNA 102
5.2.2 Rekap Kinerja Keseluruhan 103
5.2.3 Komposisi Deteksi Prematur dan Tidak Prematur 104
5.3 Pemulihan Prediksi 106
5.3.1 Hasil *Tuning* AF 106
5.3.2 Pemulihan Prediksi setelah Mitigasi 107
5.3.3 *Recoverability* berdasarkan Jenis Gangguan 108
5.4 Akurasi Klasifikasi 109
5.4.1 Analisis Kenaikan Akurasi pada AR *per-Channel* 111
5.4.2 Dampak Jumlah *Bin* terhadap Akurasi 113
5.5 Waktu Eksekusi dan Penggunaan Memori 114
5.5.1 Waktu Inferensi 114
5.5.1.1 Estimasi Waktu Eksekusi DrDNA 115
5.5.1.2 Komponen *Hook* 116
5.5.2 Penggunaan Memori 117

VI KESIMPULAN DAN SARAN 118
6.1 Simpulan 118
6.2 Keterbatasan Penelitian 119
6.3 Saran 120

DAFTAR PUSTAKA 122

LAMPIRAN 126
A. Algoritma XXH3-128 untuk *Checksum* 126
B. Akurasi per Model pada dataset *train* dan *val* 127

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Deteksi dan Mitigasi Silent Data Corruption pada _Deep Neural Network_ Menggunakan Checksum Bobot
dan Penggantian Nilai Aktivasi Berbasis Distribusi Aktivasi Per-Channel**
Davin Jason Evan Raharjo, Muhammad Alfian Amrizal, B.Eng., M.I.S., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

2.1 Ilustrasi pembentukan skor abnormalitas DrDNA dari DNA individual, DNA lapisan, dan neuron ekstrem. (Ma et al., 2024) 12
2.2 Strategi mitigasi DrDNA melalui AF, D-AF, dan AR setelah aktivasi abnormal terdeteksi. (Ma et al., 2024) 14
3.1 Diagram alir alur penelitian 19
3.2 Visualisasi tahapan profiling 28
3.3 DNA *Signature* yang didapatkan dari proses *profiling* 29
3.4 Alur deteksi berbasis *checksum* 34
3.5 Alur *hook* mitigasi 37
3.6 Alur pemilihan bobot skor abnormalitas DrDNA. 42
3.7 Pemilihan *threshold* global AF. 43
5.1 Perbandingan *detection rate* antar kedua metode 104
5.2 Komposisi deteksi keseluruhan antara deteksi tidak prematur dan deteksi prematur. 105
5.3 Deteksi DrDNA per model 106
5.4 Perbandingan *fault recovery rate* berdasarkan metode deteksi dan mitigasi. 107
5.5 Kontribusi pemulihan dan degradasi AR-Channel terhadap perubahan akurasi Top-1 per model dan *fault model*. 111
5.6 Perbandingan waktu inferensi model *golden*, metode usulan, dan estimasi DrDNA pada 10 *bin*. Titik menunjukkan rerata, batang tebal menunjukkan simpangan baku, garis tipis menunjukkan batas bawah–atas, dan arsiran diagonal menandai estimasi. 114

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Deteksi dan Mitigasi Silent Data Corruption pada _Deep Neural Network_ Menggunakan Checksum Bobot
dan Penggantian Nilai Aktivasi Berbasis Distribusi Aktivasi Per-Channel**
Davin Jason Evan Raharjo, Muhammad Alfian Amrizal, B.Eng., M.I.S., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

2.1 Ringkasan penelitian terkait deteksi dan mitigasi SDC pada DNN . . . 17
3.1 Ringkasan model pralatih yang digunakan dalam eksperimen 22
3.2 Arsitektur ResNet-18 23
3.3 Arsitektur MobileNetV2 24
3.4 Arsitektur EfficientNet-B0 25
3.5 Arsitektur ViT-Tiny/16 25
3.6 Arsitektur DeiT-Tiny 26
3.7 Arsitektur MLP-Mixer varian Mixer-B/16 26
3.8 Ringkasan skenario pengujian dan metrik evaluasi 45
5.1 Konfigurasi eksperimen utama 101
5.2 Bobot skor DrDNA terbaik dan ringkasan deteksinya per model. 103
5.3 Hasil pemilihan *threshold* AF pada penyisiran tahap kedua. 107
5.4 *Recoverability* metode usulan berdasarkan *fault model* dan mitigasi. . . 108
5.5 Akurasi Top-1 dan Top-5 per model dan metode mitigasi. Sel hijau menandai nilai termitigasi tertinggi pada model yang sama. 109
5.6 Keberadaan target pada Top-5 sebelum dan setelah mitigasi untuk kasus degradasi AR-Channel. 112
5.7 Akurasi Top-1 AR-Channel per model pada variasi jumlah *bin*. Sel hijau menandai nilai tertinggi pada model yang sama. 113
5.8 Akurasi Top-5 AR-Channel per model pada variasi jumlah *bin*. Sel hijau menandai nilai tertinggi pada model yang sama. 113
5.9 Estimasi analitis waktu DrDNA dalam milidetik berdasarkan komponen waktu metode usulan. 116
5.10 Komposisi rata-rata waktu *hook* dan *overhead* terhadap model *golden* pada 10 *bin*. 116
5.11 Estimasi ukuran profil DrDNA dan metode usulan, serta *overhead* memori proses metode usulan yang terukur pada 10 *bin*. 117
B.1 Akurasi Top-1 dan Top-5 data train per model dan metode mitigasi. Sel hijau menandai nilai termitigasi tertinggi pada model yang sama. 127
B.2 Akurasi Top-1 dan Top-5 data validasi per model dan metode mitigasi. Sel hijau menandai nilai termitigasi tertinggi pada model yang sama. . 128

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Deteksi dan Mitigasi Silent Data Corruption pada _Deep Neural Network_ Menggunakan Checksum Bobot
dan Penggantian Nilai Aktivasi Berbasis Distribusi Aktivasi Per-Channel**
Davin Jason Evan Raharjo, Muhammad Alfian Amrizal, B.Eng., M.I.S., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR KODE

4.1 Implementasi pembentukan *data loader* dan pemetaan ulang label Imagenette . . . 53
4.2 Implementasi penyesuaian tensor masukan terhadap perangkat dan tipe data model . . . 54
4.3 Implementasi konfigurasi mode injeksi . . . 56
4.4 Implementasi kelas `FaultInjector` dan seleksi parameter sasaran . . . 56
4.5 Implementasi penyelesaian lapisan sasaran berdasarkan nama atau tipe modul . . . 59
4.6 Implementasi korupsi parameter untuk empat model kesalahan . . . 60
4.7 Implementasi konteks injeksi sementara dan pemulihan bobot . . . 62
4.8 Implementasi konfigurasi *profiling* berdasarkan keluarga model . . . 63
4.9 Implementasi pengambilan aktivasi dengan *forward hook* pada tahap *profiling* . . . 64
4.10 Implementasi pembentukan profil keluaran lapisan dan *checksum* referensi . . . 65
4.11 Implementasi pengelompokan parameter dan pembentukan *checksum* XXH3 . . . 66
4.12 Implementasi native *checksum* penuh dengan Cython dan `XXH3_128bits_withSeed` . . . 67
4.13 Implementasi pembentukan *checksum* per modul dan perbandingan antarlapisan . . . 68
4.14 Implementasi pemilihan mode mitigasi melalui *dispatch table* . . . 70
4.15 Implementasi pembentukan data mitigasi per lapisan dan per *channel* . . . 72
4.16 Implementasi pembentukan masker nilai abnormal untuk AF, D-AF, dan AR-Channel . . . 74
4.17 Implementasi koreksi aktivasi pada AF dan D-AF . . . 76
4.18 Implementasi *sampler* histogram untuk *Activation Redistribution* . . . 76
4.19 Implementasi *Activation Redistribution* berbasis histogram per lapisan . . . 78
4.20 Implementasi *Activation Redistribution* berbasis histogram per *channel* 79
4.21 Implementasi registrasi *forward hook* pada `RuntimeProcessor` . . . 81
4.22 Implementasi *callback* deteksi dan pemicu mitigasi pada lapisan . . . 82
4.23 Implementasi satu lintasan inferensi dengan deteksi dan mitigasi aktif . . . 83
4.24 Implementasi ringkas pembentukan profil DrDNA. . . . 85
4.25 Implementasi perhitungan skor abnormalitas DrDNA pada satu lapisan. 86
4.26 Implementasi *callback* DrDNA pada `RuntimeProcessor`. . . . 90

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Deteksi dan Mitigasi Silent Data Corruption pada _Deep Neural Network_ Menggunakan Checksum Bobot
dan Penggantian Nilai Aktivasi Berbasis Distribusi Aktivasi Per-Channel**
Davin Jason Evan Raharjo, Muhammad Alfian Amrizal, B.Eng., M.I.S., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.27 Integrasi profil DrDNA dan *callback* DrDNA pada *pipeline* eksperimen. 91
4.28 Implementasi ringkas pemilihan bobot λ DrDNA. 92
4.29 Tipe data utama untuk keluaran *runtime* dan pencatatan timing 93
4.30 Implementasi satu putaran eksperimen untuk akurasi dan recoverability 95
4.31 Implementasi *callback* timing untuk metode usulan 97
4.32 Implementasi satu putaran eksperimen timing 99

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Deteksi dan Mitigasi Silent Data Corruption pada _Deep Neural Network_ Menggunakan Checksum Bobot
dan Penggantian Nilai Aktivasi Berbasis Distribusi Aktivasi Per-Channel**
Davin Jason Evan Raharjo, Muhammad Alfian Amrizal, B.Eng., M.I.S., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ALGORITMA

2.1 Perhitungan skor neuron ekstrem DrDNA 14
3.1 Pembangkitan kombinasi bobot λ_1, λ_2, dan λ_3 untuk DrDNA. 42
A.1 Gambaran umum prosedur panjang XXH3-128 126