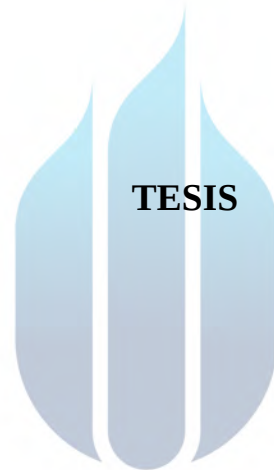




**ANALISIS KINERJA AOS-ELM UNTUK INTRUSION
DETECTION SYSTEM REAL-TIME PADA LINGKUNGAN
IOT ESPHOME BERBASIS EDGE COMPUTING**



TESIS

**UNIVERSITAS
RAHMAN BAYU PRATAMA
55424110009
MERCU BUANA**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2026**



**ANALISIS KINERJA AOS-ELM UNTUK INTRUSION
DETECTION SYSTEM REAL-TIME PADA LINGKUNGAN
IOT ESPHOME BERBASIS EDGE COMPUTING**

TESIS

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Magister

**UNIVERSITAS
MERCU BUANA**
RAHMAN BAYU PRATAMA
55424110009

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2026**

SURAT PENYATAAN KARYA SENDIRI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rahman Bayu Pratama
NIM : 55424110009
Fakultas/Program Studi : Fakultas Teknik/Program Studi Magister Teknik Elektro

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa Tesis berjudul:

“ANALISIS KINERJA AOS-ELM UNTUK INTRUSION DETECTION SYSTEM REAL-TIME PADA LINGKUNGAN IOT ESPHOME BERBASIS EDGE COMPUTING” adalah hasil karya saya sendiri, tidak mengandung unsur plagiarisme, pelanggaran hak cipta, atau konten ilegal dalam bentuk apapun dan tidak melanggar hukum atau hak pihak manapun.

Apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap pernyataan ini, saya bersedia menanggung seluruh konsekuensi hukum dan membebaskan Universitas Mercu Buana dari segala bentuk tuntutan hukum dan saya siap mendapatkan sanksi akademis yang berlaku di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 5 Oktober 2026


Rahman Bayu Pratama

SURAT KETERANGAN HASIL *SIMILARITY*

Menerangkan bahwa Jurnal / Karya Ilmiah / Laporan Tugas Akhir pada BAB I, BAB III, BAB IV, dan BAB V / Praktek Keinsinyuran atas nama:

Nama : **Rahman Bayu Pratama**
NIM : **55424110009**
Program Studi : **Magister Teknik Elektro**
Judul Tugas Akhir / Tesis
/ Praktek Keinsinyuran : **Analisis Kinerja AOS-ELM Untuk Intrusion Detection System Real-Time Pada Lingkungan Iot Esphome Berbasis Edge Computing**

Telah dilakukan pengecekan *Similarity* menggunakan aplikasi/sistem *Turnitin* pada **Selasa, 29 September 2026** dengan hasil presentase sebesar **15 %** dan dinyatakan memenuhi standar sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana. Demikian surat keterangan ini dibuat dan digunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 29 September 2026

Administrator Turnitin,



Itmam Haidi Syarif

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh:

Nama : Rahman Bayu Pratama
NIM : 55424110009
Fakultas/Program Studi : Magister Teknik Elektro
Judul Tesis : Analisis Kinerja AOS-ELM Untuk Intrusion Detection
System Real-Time Pada Lingkungan Iot Esphome Berbasis
Edge Computing

Telah berhasil dipertahankan pada sidang tanggal 22 Agustus 2026 di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister pada Program Studi Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.

Disahkan oleh:

Pembimbing



(Prof. Dr. -Ing. Mudrik Alaydrus)
NIDN/NUPTK: 0311057101

Jakarta, 22 Agustus 2026

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik Elektro



(Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T)
NIDN/NUPTK: 0307037202

Ketua Program Studi
Magister Teknik Elektro



(Prof. Dr. Ir. Setiyo Budiyanto, S.T., M.T.,
I.P.U., Asean-Eng., APEC-Eng., ACPE)
NIDN/NUPTK: 0312118206

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Bismillahirrahmanirrahim. Segala puji dan syukur senantiasa penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia, serta hidayah-Nya. Berkat izin dan pertolongan –Nya, laporan tesis ini dapat diselesaikan dengan tepat waktu. Adapun tesis ini berjudul “Analisis Kinerja AOS-Elm Untuk Intrusion Detection System Real-Time Pada Lingkungan Iot Esphome Berbasis Edge Computing”.

Laporan tesis ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan kelulusan Program Studi Pascasarjana (S2) Teknik Elektro di Universitas Mercu Buana. Selain itu, penulisan laporan ini juga bertujuan sebagai wadah untuk menerapkan pengetahuan dan keterampilan yang telah diperoleh selama masa studi. Proses penyusunan tesis ini tidak terlepas dari dukungan, bimbingan, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Andi Adriansyah, M.Eng., selaku Rektor Universitas Mercu Buana
2. Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik
3. Prof. Dr. Ir. Setiyo Budiyo, S.T., M.T., IPU, ASEAN Eng., APEC Eng., ACPE., SMIEEE, selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro
4. Prof. Dr. -Ing. Mudrik Alaydrus, selaku Dosen Pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Tesis ini
5. Kepada Orang Tua dan istri yang sudah memberikan dukungan dan menemani dalam proses penyelesaian tugas akhir.
6. Seluruh dosen Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Mercu Buana atas ilmu dan wawasan yang telah dibagikan.
7. Seluruh mahasiswa Teknik Elektro Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma, yang telah membantu dan memberi support selama proses penelitian.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tesis ini masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu saran dan kritik yang membangun akan penulis terima dengan senang hati, akhir katapenulis berharap agar tesis ini bermanfaat khususnya bagi penulis maupun pihak – pihak yang berkepentingan.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Jakarta, 14 Agustus 2026

Rahman Bayu Pratama
55424110009



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH DI REPOSITORI UMB**

Sebagai sivitas akademik Universitas Mercu Buana, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rahman Bayu Pratama
NIM : 55424110009
Fakultas/Program Studi : Pascasarjana/Magister Teknik Elektro
Judul Tesis : Analisis Kinerja AOS-ELM Untuk Intrusion
Detection System Real-Time Pada Lingkungan
Iot Esphome Berbasis Edge Computing

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, dengan ini memberikan izin dan menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Mercu Buana **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul di atas beserta perangkat yang ada (jika diperlukan).

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Mercu Buana berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 30 September 2026

Yang menyatakan,



(Rahman Bayu Pratama)

ABSTRAK

Perangkat IoT berbasis ESPHome dalam ekosistem Home Assistant semakin banyak digunakan, tetapi rentan terhadap serangan Denial of Service (DoS) seperti SYN Flood dan Slowloris yang dapat melumpuhkan sistem. Perangkat edge dengan sumber daya terbatas sulit menjalankan sistem deteksi intrusi (IDS) yang akurat tanpa membebani memori dan prosesor, terutama saat menghadapi perubahan pola trafik atau *concept drift* yang menurunkan performa model statis.

Penelitian ini mengusulkan IDS berbasis Adaptive Online Sequential Extreme Learning Machine (AOS-ELM) yang diimplementasikan secara real-time pada Raspberry Pi 5 dan LattePanda v1. Sistem menangkap trafik Native API ESPHome menggunakan *packet sniffing*, melakukan ekstraksi fitur berbasis jendela waktu, dan mengklasifikasikan trafik NORMAL dan ATTACK dengan pembelajaran sekuensial online. Mekanisme *adaptive forgetting factor* pada AOS-ELM memungkinkan model beradaptasi terhadap *concept drift* dengan memberi bobot lebih besar pada data terbaru tanpa pelatihan ulang.

Hasil pengujian menunjukkan sistem mencapai akurasi 98,34%, presisi 99,55%, *recall* 97,21%, dan F1-score 98,36% pada Raspberry Pi 5, dengan peningkatan penggunaan RAM RSS hanya 7,89% (dari 179,08 MB menjadi 193,22 MB) saat serangan. Waktu inferensi rata-rata 121,88 ms, sekitar 5,07 kali lebih cepat dibanding LattePanda v1 (618,51 ms). Pada skenario *concept drift* dengan perubahan pola serangan, akurasi tetap di atas 95% dan *recall* di atas 97%, sedangkan pada skenario DDoS akurasi mencapai 97,92% dan F1-score 98,01%. Hasil ini membuktikan AOS-ELM mampu mendeteksi serangan DoS/DDoS secara efisien, adaptif, dan layak diimplementasikan pada perangkat edge dengan sumber daya terbatas.

Kata kunci: AOS-ELM, IDS, edge computing, IoT, DoS, concept drift, ESPHome.

ABSTRACT

ESPHome-based IoT devices within Home Assistant ecosystem have been widely utilized, but are vulnerable against Denial-of-Service (DoS) attacks such as SYN Flood and Slowloris which can take the system down. Edge devices with limited resources are limited in running intrusion detection systems (IDS) accurately without taxing memory and processor, mainly when facing traffic pattern or concept drift that reduce performance of static models.

This work proposes Adaptive Online Sequential Extreme Learning Machine (AOS-ELM)-based IDS that is implemented in real time on Raspberry Pi 5 and LattePanda v1. The system captures ESPHome Native API's traffic with packet sniffing, extracts time window-based features, and classifies NORMAL and ATTACK traffics with online sequential learning. Adaptive forgetting factor mechanism on AOS-ELM enables the model to adapt against concept drift by weighing newest data with higher priorities without re-training.

Evaluation results show that the system achieves 98,34% accuracy, 99,55% precision, 97,21% recall, and F1-score of 98,36% on Raspberry Pi 5, with RAM usage increasing only 7,89% (from 179,08 MB to 193,22 MB) on attack. Average inference time of 121,88 ms, around 5,07 times faster than LattePanda v1 (618,51 ms). On concept drift scenario with different attack scenario, accuracy stays above 95% and recall stays above 97%, meanwhile on DDoS scenario it achieves 97,92% accuracy and F1-score of 98,01%. These results demonstrate AOS-ELM's ability to detect DoS/DDoS attacks efficiently and adaptively, and thus is feasible to implement on resource-limited edge devices.

Keywords: AOS-ELM, IDS, edge computing, IoT, DoS, concept drift, ESPHome.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL TESIS	I
SURAT PENYATAAN KARYA SENDIRI.....	II
SURAT KETERANGAN HASIL SIMILARITY	III
HALAMAN PENGESAHAN.....	IV
KATA PENGANTAR.....	V
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH DI REPOSITORI UMB	VII
ABSTRAK	VIII
ABSTRACT	IX
DAFTAR ISI.....	X
DAFTAR GAMBAR.....	XIII
DAFTAR TABEL	XIV
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Mapping Posisi Penelitian.....	11
2.3 Landasan Teori.....	15
2.3.1 Internet of Things (IoT) dan Ekosistem Smart Home	15
2.3.2 Komputasi Tepi (Edge Computing) dan Keterbatasan Sumber Daya.....	16
2.3.3 Penggunaan Sumber Daya Komputasi <i>Edge Node</i>	17
2.3.4 Sistem Deteksi Intrusi (IDS)	18
2.3.5 Arsitektur <i>Extreme Learning Machine (ELM)</i>	20
2.3.6 <i>Online Sequential Extreme Learning Machine (OS-ELM)</i>	22

2.3.7 Adaptive Online Sequential Extreme Learning Machine (AOS-ELM) dan Concept Drift	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian	26
3.2 Alur Penelitian	27
3.3 Perancangan Sistem dan Topologi Lingkungan Uji.....	28
3.3.1 Diagram Blok Penelitian.....	28
3.3.2 Arsitektur Perangkat Keras dan Spesifikasi Komputasi	29
3.3.3 Arsitektur Perangkat Lunak dan Protokol Native API	31
3.3.4 Skenario Pemodelan Ancaman	31
3.4 Dataset Penelitian.....	32
3.4.1 Parameter Perekaman Aliran Data Jaringan	32
3.4.2 Proporsi Pembagian Dataset Klasifikasi	33
3.5 Teknik Pengumpulan dan Prapemrosesan Data.....	33
3.5.1 Akuisisi Data Lalu Lintas (<i>Packet Sniffing</i>).....	33
3.5.2 Pembersihan Data dan Pelabelan Dasar	34
3.5.3 Teknik Ekstraksi Fitur Jaringan Metode Jendela Geser.....	35
3.5.4 Normalisasi Min-Max Data Numerik	35
3.6 Teknik Analisis Data: Implementasi Algoritma	36
3.6.1 Implementasi Sistem Pembelajaran AOS-ELM	36
3.6.2 Analisis Kinerja dan Utilisasi Sumber Daya Komputasi	38
3.6.3 Metrik Evaluasi Klasifikasi Deteksi (<i>Performance Metrics</i>)	38
3.7 Skenario Pengujian Operasional	39
3.8 Etika Penelitian	40
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	41
4.1 Pengujian dan Implementasi Arsitektur	41
4.2 Manajemen Sinkronisasi Waktu	42
4.3 Hasil Evaluasi Performa Klasifikasi Jaringan Model AOS-ELM.....	43
4.3.1 Persamaan Matematis Perhitungan Metrik Evaluasi.....	43

4.3.2 Perhitungan Empiris Performa Sistem pada Raspberry Pi 5.....	43
4.3.3 Perhitungan Empiris Performa Sistem pada LattePanda v1.....	45
4.4 Analisis Komparasi Kecepatan Eksekusi Komputasi Inferensi	47
4.5 Perbandingan Penggunaan Sumber Daya Perangkat	50
4.6 Uji Validasi Kinerja Model Klasifikasi Terhadap Modifikasi Variasi IP Penyerang	52
4.6.1 Pengujian DoS dengan Pola Berbeda.....	52
4.6.2 Pengujian dengan serangan DDoS	53
4.6.3 Analisa akhir dari Concept Drift.....	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	58
5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA.....	60
LAMPIRAN.....	63



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram Venn Posisi Penelitian.....	11
Gambar 3. 1 Diagram Alur Tahapan Penelitian.....	27
Gambar 3. 2 Diagram Blok Arsitektur Sistem IDS Berbasis ML.....	29
Gambar 4. 1 Cuplikan data hasil pengujian	44
Gambar 4. 2 Hasil perhitungan Matrix Pengujian pada Raspberry pi 5	44
Gambar 4. 3 Hasil perhitungan Matrix Pengujian pada Lattepanda v1	45
Gambar 4. 4 Visualisasi Statistik Distribusi Waktu Inferensi per Perangkat	49
Gambar 4. 5 Cuplikan penggunaan RAM AOS-ELM pada raspberry pi 5	50
Gambar 4. 6 Cuplikan penggunaan RAM AOS-ELM pada Lattepanda v1	50
Gambar 4. 7 Grafik Komparasi Alokasi Memori RAM RSS Proses IDS (Normal vs Attack)	51
Gambar 4. 8 Hasil perhitungan Matrix Pengujian Serangan Beda Pola	52
Gambar 4. 9 Hasil perhitungan Matrix Pengujian Serangan DDoS.....	53
Gambar 4. 10 Grafik Perbandingan antara 3 skenario simulasi serang	55
Gambar 4. 11 perbandingan Pola Serangan	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 State of the Art Studi Literatur.....	6
Tabel 3. 1 Spesifikasi Perangkat Keras Lingkungan Uji	30
Tabel 4. 1 Pemetaan Kronologis Sinkronisasi Skenario Orkestrasi Serangan.....	42
Tabel 4. 2 Matrix Pengujian AOS-ELM pada Raspberry Pi 5.....	44
Tabel 4. 3 Matriks Pengujian AOS-ELM pada LattePanda v1	45
Tabel 4. 4 Komparasi Ringkas Metrik Kinerja Deteksi AOS-ELM	46
Tabel 4. 5 Cuplikan Data Mentah Waktu Inferensi pada Raspberry Pi 5	47
Tabel 4. 6 Cuplikan Data Mentah Waktu Inferensi pada LattePanda v1	48
Tabel 4. 7 Statistik Waktu Pemrosesan Inferensi Model AOS-ELM	48
Tabel 4. 8 Perbandingan penggunaan RAM RSS	50
Tabel 4. 10 Metrik Kinerja Hasil Uji Serangan Beda Pola	52
Tabel 4. 11 Matrix Hasil Pengujian Serangan DDoS	54

