

MODEL DETEKSI HORIZON BERBASIS *DEEP LEARNING* UNTUK PENGENDALIAN *ATTITUDE* SATELIT

SURYO PRAKOSO PUTRA



**PROGRAM MAGISTER ILMU KOMPUTER
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa laporan akhir dengan judul “Model Deteksi Horizon Berbasis *Deep Learning* untuk Pengendalian *Attitude* Satelit” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2026

Suryo Prakoso Putra
NIM M0503241008



RINGKASAN

SURYO PRAKOSO PUTRA. Model Deteksi Horizon Berbasis *Deep Learning* untuk Pengendalian *Attitude* Satelit. Dibimbing oleh IMAS SUKAESIH SITANGGANG, HARI AGUNG ADRIANTO dan MOHAMMAD MUKHAYADI.

Sikap atau orientasi satelit terhadap Bumi merupakan komponen penting dalam sistem kendali orientasi (*attitude control system*), khususnya pada satelit mikro dengan keterbatasan perangkat navigasi seperti LAPAN-TUBSAT, yang *star tracker* dan *sun sensor*-nya telah terdegradasi setelah hampir dua dekade mengorbit. Salah satu pendekatan untuk mendukung koreksi orientasi secara otomatis adalah deteksi horizon Bumi berbasis citra visual. Dalam penelitian ini dikembangkan model deteksi horizon bernama HorizonSegNet yang memformulasikan deteksi horizon sebagai tugas segmentasi semantik *biner ground-space*. Model memadukan *encoder* EfficientNet-B0 pra-latih ImageNet dengan empat blok *decoder* bergaya U-Net untuk menghasilkan masker segmentasi tingkat piksel. Citra disegmentasi menjadi dua kelas, yaitu *Space* dan *Ground*, dengan *skip connection* dari setiap tahap *encoder* diteruskan ke *decoder* untuk mempertahankan informasi spasial selama *upsampling*. Garis horizon kemudian diekstraksi dari batas masker segmentasi menggunakan algoritma RANSAC; kemiringan garis menghasilkan estimasi sudut *roll* dalam derajat absolut, sedangkan intersep vertikalnya menghasilkan estimasi nilai *pitch*.

Sebuah dataset baru berisi 4775 *frame* LAPAN-TUBSAT (rekaman 2013–2015) yang dianotasi manual disusun, mencakup rentang sudut *roll* -75° hingga $+75^{\circ}$, lalu dibagi menjadi 3820 *frame* latih dan 955 *frame* uji (*seed* = 42). Evaluasi menggunakan metrik *Intersection over Union* (IoU) untuk kualitas segmentasi dan *Mean Absolute Error* (MAE) sudut untuk akurasi estimasi orientasi. HorizonSegNet mencapai *mean* IoU 98,21% dan rata-rata MAE *roll* $0,61^{\circ}$ peningkatan 93,4% dibandingkan *baseline* regresi langsung HLE-Net V2 (MAE $9,28^{\circ}$). Sekitar 95% *frame* uji memenuhi toleransi operasional ADCS 2° , menunjukkan kelayakan praktis *pipeline* rekomendasi yang diusulkan. Dengan latensi 66,4 ms/*frame* pada CPU, sistem layak dijalankan di *ground station* sebagai rekomendasi koreksi sikap bagi operator tanpa modifikasi perangkat keras satelit. Hasil penelitian ini diharapkan berkontribusi pada pengembangan sistem orientasi satelit berbasis visual yang ringan dan mampu bekerja secara mandiri, terutama untuk satelit mikro dengan keterbatasan perangkat keras.

Kata kunci: deteksi horizon, EfficientNet, estimasi *attitude*, LAPAN-TUBSAT, *segmentasi* semantik



SUMMARY

SURYO PRAKOSO PUTRA. Deep Learning-Based Horizon Detection Model for Satellite Attitude Control. Supervised by IMAS SUKAESIH SITANGGANG, HARI AGUNG ADRIANTO, and MOHAMMAD MUKHAYADI.

The attitude, or orientation of a satellite relative to the Earth, is a critical component of the attitude control system, particularly for micro-satellites with limited navigation hardware such as LAPAN-TUBSAT, whose star tracker and sun sensor have degraded after nearly two decades in orbit. One approach to support automatic orientation correction is visual Earth-horizon detection. This study develops a horizon detection model named HorizonSegNet, which reformulates horizon detection as a binary ground-space semantic segmentation task. The model pairs an ImageNet-pretrained EfficientNet-B0 encoder with four U-Net-style decoder blocks to produce a pixel-level segmentation mask. Each input image is segmented into two classes, Space (0) and Ground (1), with skip connections from every encoder stage forwarded to the decoder to preserve spatial information during upsampling. The horizon line is then extracted geometrically from the boundary of the segmentation mask using the Random Sample Consensus (RANSAC) algorithm; the slope of the fitted line yields the roll angle in absolute degrees, while its vertical intercept yields a relative pitch estimate pending full camera calibration.

A new dataset of 4,775 manually annotated LAPAN-TUBSAT frames (recordings from 2013–2015) was constructed, covering roll angles from -75° to $+75^\circ$, and split into 3,820 training frames and 955 test frames (seed = 42). Model performance was evaluated using Intersection over Union (IoU) for segmentation quality and the Mean Absolute Error (MAE) of the angle for orientation-estimation accuracy. HorizonSegNet achieves a mean IoU of 98.21% and a mean roll-angle MAE of 0.61° — a 93.4% improvement over the direct-regression baseline HLE-Net V2 (MAE 9.28°). Approximately 95% of the test frames fall within the 2° operational tolerance of a typical Attitude Determination and Control System (ADCS), demonstrating the practical viability of the proposed recommendation pipeline. With an inference latency of 66.4 ms per frame on a CPU, the system is suitable for deployment at the ground station as an attitude-correction recommendation tool for operators, without any modification to the satellite hardware. The results of this study are expected to contribute to the development of lightweight, vision-based satellite orientation systems capable of operating autonomously, particularly for micro-satellites with constrained hardware.

Keywords: attitude estimation, EfficientNet, horizon detection, LAPAN-TUBSAT, satellite imagery, semantic segmentation



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

MODEL DETEKSI HORIZON BERBASIS *DEEP LEARNING* UNTUK PENGENDALIAN *ATTITUDE* SATELIT

SURYO PRAKOSO PUTRA

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Magister Ilmu Komputer

**PROGRAM MAGISTER ILMU KOMPUTER
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Tim Penguji pada ujian Tesis :
Dr. Toto Haryanto, S.Kom., M.Si.



IPB University
— Bogor Indonesia —

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Judul Penelitian : Model Deteksi Horizon Berbasis *Deep Learning* untuk
Pengendalian *Attitude* Satelit
Nama : Suryo Prakoso Putra
NIM : M0503241008

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Imas Sukaesih Sitanggang, S.Si M.Kom.

Pembimbing 2:
Hari Agung Adrianto S.Kom., M.Si., Ph.D.

Pembimbing 3:
Dr.-Ing. Mohammad Mukhayadi, S.T., M.Kom.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Toto Haryanto, S.Kom, M.Si.
NIP 198211172014041001

Dekan Sekolah Sains Data, Matematika, dan
Informatika:
Prof. Dr. Ir. Agus Buono, M.Si., M.Kom.
NIP 196607021993021001

Tanggal Ujian:
16 Juli 2026

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas segala rahmat, karunia, serta hidayah-Nya sehingga tesis ini dapat diselesaikan dengan baik. Penelitian ini dilaksanakan pada periode Januari 2025 hingga Januari 2026 dengan judul "**Model Deteksi Horizon Berbasis *Deep Learning* untuk Pengendalian *Attitude* Satelit**" sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Komputer pada Program Studi Magister Ilmu Komputer.

Penyusunan tesis ini tidak terlepas dari doa, dukungan, bimbingan, serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Imas Sukaesih Sitanggang, S.Si., M.Kom., selaku Ketua Komisi Pembimbing, atas bimbingan dan dukungan selama penelitian dan penyusunan tesis ini.
2. Hari Agung Adrianto, S.Kom., M.Si., Ph.D. dan Dr.-Ing. Mohammad Mukhayadi, S.T., M.Kom., selaku anggota Komisi Pembimbing, atas segala saran, masukan, arahan, serta ilmu yang diberikan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan lebih baik.
3. Seluruh dosen dan tenaga kependidikan Program Studi Magister Ilmu Komputer IPB yang telah memberikan ilmu, pengalaman, bantuan, dan pelayanan selama penulis menempuh pendidikan.
4. Kedua orang tua tercinta, Bapak Widodo dan Ibu Patonah, atas segala kasih sayang, doa yang tiada henti, pengorbanan, dukungan moral maupun material, serta semangat yang selalu diberikan kepada penulis dalam setiap langkah kehidupan.
5. Istri tercinta, Fadilah Ardiyanti, yang senantiasa mendampingi dengan penuh kesabaran, memberikan doa, dukungan, pengertian, dan motivasi selama proses studi hingga penyelesaian tesis ini.
6. Putri tercinta, Hafshah Hanifah, yang menjadi sumber kebahagiaan, semangat, dan inspirasi bagi penulis untuk terus berusaha memberikan yang terbaik.
7. Seluruh keluarga yang memberikan dukungan, motivasi, bantuan, dan kebersamaan selama masa perkuliahan dan penyusunan tesis.
8. Rekan-rekan mahasiswa Program Magister Ilmu Komputer IPB serta seluruh sahabat yang telah memberikan dukungan, motivasi, bantuan, dan kebersamaan selama masa perkuliahan dan penyusunan tesis.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih memiliki keterbatasan. Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga tesis ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.

Bogor, Agustus 2026

Suryo Prakoso Putra



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xii
I PENDAHULUAN	14
1.1 Latar Belakang	14
1.2 Perumusan Masalah	17
1.3 Tujuan Penelitian	17
1.4 Manfaat Penelitian	17
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	18
II TINJAUAN PUSTAKA	19
2.1 <i>Attitude</i> Satelit	19
2.2 Horizon Bumi sebagai Referensi <i>Attitude</i>	20
2.3 Segmentasi Semantik Berbasis <i>Deep Learning</i>	22
2.4 Algoritma <i>Robust Line Fitting</i>	26
2.5 Penelitian Terdahulu	27
III METODE PENELITIAN	31
3.1 Tahapan Penelitian	31
3.2 Dataset	35
3.3 Pra-pemrosesan dan Augmentasi Data	36
3.4 Perancangan Arsitektur HorizonSegNet	37
3.5 Fungsi <i>Loss</i>	41
3.6 Prosedur Pelatihan	41
3.7 Pendekatan Awal: HLE-Net	42
3.8 Ekstraksi Garis Horizon dan Estimasi Sudut (<i>Roll & Pitch</i>)	43
3.10 Metrik Evaluasi	45
3.11 Peralatan Penelitian	46
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1 Implementasi Lingkungan Penelitian	47
4.2 Pengembangan HLE-Net: Serangkaian Eksperimen Sistematis	47
4.3 Pengembangan HorizonSegNet	53
4.4 Hasil Evaluasi HorizonSegNet	57
4.5 Perbandingan HLE-Net V2 dan HorizonSegNet	64
4.6 Analisis <i>Pipeline</i> Estimasi <i>Attitude</i> Satelit	67
4.7 Keterbatasan Penelitian	70
V SIMPULAN DAN SARAN	72
5.1 Simpulan	72
5.2 Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	73
RIWAYAT HIDUP	77