

KLASIFIKASI BOOSTED TOP JET TAGGING MENGUNAKAN PARTICLENET DAN XGBOOST

ARJUNA DWI PUTRA WICAKSONO



**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@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 SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “KLASIFIKASI BOOSTED TOP JET TAGGING MENGGUNAKAN PARTICLENET DAN XGBOOST” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun 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 skripsi ini.

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

Bogor, Juli 2026

ARJUNA DWI PUTRA WICAKSONO





ABSTRAK

ARJUNA DWI PUTRA WICAKSONO. Klasifikasi *Boosted Top Jet Tagging* Menggunakan ParticleNet dan XGBoost. Dibimbing oleh TONY IBNU SUMARYADA WIJAYA PUSPITA dan SITTI YANI.

Penelitian ini bertujuan membandingkan kinerja dua pendekatan *machine learning* untuk klasifikasi *boosted top jet*, yaitu ParticleNet berbasis *graph neural network* dan XGBoost berbasis *gradient boosting decision tree* menggunakan dataset ATLAS Top Tagging Open Data. Model ParticleNet memanfaatkan informasi *low level constituent* berupa partikel penyusun jet. Sementara itu, model XGBoost menggunakan *high level jet* hasil *feature engineering*. Evaluasi performa model dilakukan menggunakan beberapa metrik klasifikasi, yaitu *Area Under the Curve* (AUC), *signal efficiency*, dan *background rejection*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ParticleNet memberi kinerja klasifikasi yang lebih unggul dengan nilai AUC dan *background rejection* yang lebih tinggi pada berbagai tingkat *signal efficiency*. Namun, model ini memerlukan sumber daya komputasi dan kompleksitas training yang lebih besar. Disisi lain, XGBoost tetap memberikan performa yang kompetitif dengan biaya komputasi yang lebih rendah serta interpretabilitas model yang lebih baik. Secara keseluruhan, ParticleNet lebih efektif untuk *boosted top tagging*, sedangkan XGBoost tetap menjadi alternatif yang lebih efisien dan mudah diinterpretasikan.

Kata kunci: boosted top tagging, ParticleNet, XGBoost, low level constituent, high level features, Machine learning, Area Under the Curve.

ABSTRACT

ARJUNA DWI PUTRA WICAKSONO. Klasifikasi Boosted Top Jet Tagging Menggunakan ParticleNet dan XGBoost. Supervised by TONY IBNU SUMARYADA WIJAYA PUSPITA and SITTI YANI.

This research aims to compare the performance of two machine learning approaches for boosted top jet classification: ParticleNet based on graph neural network and XGBoost based on gradient boosting decision trees, using the ATLAS Top Tagging Open Data. ParticleNet model utilizes low level constituent information in the form of jet constituent particles and applies dynamic graph convolution to capture complex spatial relationships among particles. whereas, XGBoost model use the high level features obtained through feature engineering. Model evaluation was conducted using several classification metrics, including Area under the Curve (AUC), signal efficiency and background rejection. The result show that ParticleNet achieves superior classification performance compared to XGBoost, with higher AUC and background rejection across various signal efficiency value. On the other hand, XGBoost still demonstrates competitive performance with lower level computational cost and better model interpretability. Overall, ParticleNet are more effective for boosted top tagging, while XGBoost remain as a computationally efficient and interpretable alternative.

Keywords: boosted top tagging, ParticleNet, XGBoost, low level constituent, high level features, machine learning, Area Under the Curve





@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.

© 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 apapun tanpa izin IPB.



KLASIFIKASI BOOSTED TOP JET TAGGING MENGUNAKAN PARTICLENET DAN XGBOOST

ARJUNA DWI PUTRA WICAKSONO

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Fisika

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@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.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

1. Abd Djamil Husin, S.Si., M.Si.
2. Nur Aisyah Nuzulia, S.Si., M.Si



- 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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

LEMBAR PENGESAHAN USULAN PENELITIAN

Judul Skripsi : Klasifikasi Boosted Top Jet Tagging Menggunakan ParticleNet dan XGBoost

Nama : ARJUNA DWI PUTRA WICAKSONO
NIM : G7401221013

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Prof. Dr. R. Tony I. Sumaryada W.P., S.Si., M.Si.
NIP. 197205191997021001

Pembimbing 2:

Dr. Sitti Yani, S.Si., M.Si.
NIP. 198606242019032019

Diketahui oleh

Kepala Departemen Fisika:

Dr. Ir. Irmansyah, M.Si.
NIP. 196809161994031001

Tanggal Ujian: 21 Juli 2026

Tanggal Lulus:





PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga penulis dapat menyusun proposal kolokium dengan judul “Klasifikasi Boosted Top Jet Tagging Menggunakan ParticleNet dan XGBoost” berhasil diselesaikan. Usulan penelitian ini diajukan sebagai salah satu syarat dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir dan mendapatkan gelar sarjana di Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB University.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Bapak Prof. Dr. R. Tony Ibu Sumaryada W.P, S.Si., M.Si. dan ibu Dr. Sitti Yani, S.Si., M.Si yang telah membimbing dan memberi banyak saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pembimbing akademik, moderator seminar, dan penguji luar komisi pembimbing. Di samping itu, ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada Bapak Setyo Handayani dan Ibu Asiyah selaku Bapak dan ibu penulis, Satria Yudistira selaku Kakak penulis, dan seluruh teman dan keluarga yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya selama proses penulisan ini. Semoga penulisan proposal penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya dan pembaca umumnya, Aamiin.

Bogor, Juli 2026

Arjuna Dwi Putra Wicaksono





DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Quark dan Interaksi Dasar	4
2.2 Jet	5
2.3 Peluruhan Signal Jet (Boosted Top Jet)	8
2.4 Pembentukan Jet QCD	9
2.5 Boosted Top Tagging	9
2.6 Machine Learning	10
2.7 ParticleNet	11
2.8 Boosted Decision Trees	13
III METODE	14
3.1 Waktu dan Tempat	14
3.2 Alat dan Bahan	14
3.3 Prosedur Penelitian	14
3.4 Dataset	15
3.5 Data Preprocessing	17
3.6 Arsitektur Model	17
3.7 Pelatihan Model	18
3.8 Evaluasi Model	19
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Dataset	21
4.2 Data Preprocessing	23
4.3 Arsitektur Model	29
4.4 Pelatihan Model	32
4.5 Evaluasi Model ParticleNet dan XGBoost	35
4.6 Perbandingan Performa Model ParticleNet dan Model XGBoost	48
V SIMPULAN & SARAN	49
5.1 Kesimpulan	49

5.2 Saran

DAFTAR PUSTAKA
RIWAYAT HIDUP

@Hak cipta milik IPB University

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.



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Skema Peluruhan Hadronik dan Leptonik Quark Top (Zohc 2020)	8
Gambar 2 Ilustrasi modul Edge Convolution (EdgeConv) sebagai komponen utama ParticleNet. (Holmberg et al. 2023)	11
Gambar 3 Diagram Alir Proses Pengembangan Model	15
Gambar 4 Data yang terdapat pada file .h5	22
Gambar 5 Distribusi jumlah partikel per jet sebelum truncation	24
Gambar 6 Information Retained After N_Max = 80 Truncation	25
Gambar 7 Training vs Validation Loss per Epoch Model ParticleNet	36
Gambar 8 Training vs Validation Loss per Epoch Model XGBoost	36
Gambar 9 Model ParticleNet Weighted Validation AUC vs Unweighted Validation AUC per Epoch	37
Gambar 10 Model XGBoost Weighted Validation AUC vs Unweighted Validation AUC per Epoch	37
Gambar 11 Kurva ROC Model ParticleNet	39
Gambar 12 Kurva ROC Model XGBoost	40
Gambar 13 Kurva Hubungan antara signal efficiency dan background rejection model ParticleNet dan XGBoost.	42
Gambar 14 Distribusi skor output Model ParticleNet untuk jet QCD dan boosted top jet	43
Gambar 15 Distribusi skor output Model XGBoost untuk jet QCD dan boosted top jet	44
Gambar 16 Cumulative Training Time per Epoch Model ParticleNet.	45
Gambar 17 Cumulative Training Time per Epoch Model XGBoost.	46
Gambar 18 Features Importance Model XGBoost	47



DAFTAR TABEL

Tabel 1	Data high level features	22
Tabel 2	Data low level constituent	23
Tabel 3	Fitur pada input koordinat spasial (coords)	26
Tabel 4	Fitur pada input partikel (features)	26
Tabel 5	Fitur yang digunakan sebagai input model XGBoost.	27
Tabel 6	Struktur input tensor pada model ParticleNet	29
Tabel 7	Konfigurasi arsitektur model ParticleNet	30
Tabel 8	Konfigurasi utama model XGBoost	31
Tabel 9	Konfigurasi pelatihan model ParticleNet	33
Tabel 10	Konfigurasi pelatihan model XGBoost	34
Tabel 11	Nilai Background Rejection Model ParticleNet pada beberapa working point signal efficiency	41