

PENDEKATAN *NEURAL NETWORK* UNTUK EVOLUSI BINTANG: KLASIFIKASI FASE EVOLUSI SERTA PREDIKSI USIA DAN MASSA BINTANG

DZULFIQAR YUDHA PRANATA



**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN
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 SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Pendekatan *Neural Network* untuk Evolusi Bintang: Klasifikasi Fase Evolusi serta Prediksi Usia dan Massa Bintang” 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 skripsi ini.

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

Bogor, Juni 2026

Dzulfiqar Yudha Pranata
G7401221009

- 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.

ABSTRAK

DZULFIQAR YUDHA PRANATA. Pendekatan *Neural Network* untuk Evolusi Bintang: Klasifikasi Fase Evolusi serta Prediksi Usia dan Massa Bintang. Dibimbing oleh TONY I SUMARYADA WP dan SITTI YANI.

Survei astronomi berskala besar seperti *Gaia Data Release 3 (DR3)* menuntut metode komputasi efisien untuk mengatasi keterbatasan pendekatan konvensional yang rentan terhadap degenerasi parameter fisis bintang. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model *neural network (NN)* untuk mengklasifikasikan fase evolusi serta memprediksi massa dan usia bintang secara simultan. Model dievaluasi menggunakan parameter astrometri, fotometri, dan astrofisika *Gaia DR3*, meliputi magnitudo absolut, indeks warna, *Renormalised Unit Weight Error (RUWE)*, suhu efektif, gravitasi permukaan, dan metalisitas. Hasil evaluasi menunjukkan arsitektur *Pre-Norm FT-Transformer* memberikan klasifikasi fase terbaik dengan akurasi 95,00%, serta identifikasi sempurna pada populasi *white dwarf*. Untuk regresi, *Pre-Norm ResNet Multilayer Perceptron (MLP)* mengestimasi massa secara akurat ($R^2 = 0,938$; $MAE = 0,074 M_{\odot}$). Namun, estimasi usia pada bintang tua memiliki ketidakpastian lebih tinggi ($R^2 = 0,888$; $MAE = 0,827$ Gyr) akibat heteroskedastisitas dan degenerasi lintasan evolusi. Hasil ini membuktikan ketangguhan model NN dalam memetakan data observasi astrofisika berskala besar.

Kata kunci: Evolusi bintang, *Gaia DR3*, Klasifikasi fase, *Neural network*, Regresi parameter

ABSTRACT

DZULFIQAR YUDHA PRANATA. A Neural Network Approach to the Study of Stellar Evolution: Evolutionary Phase Classification and Stellar Age and Mass Prediction. Supervised by TONY I SUMARYADA WP and SITTI YANI.

Large-scale surveys like *Gaia Data Release 3 (DR3)* require efficient computational methods to overcome conventional approaches' susceptibility to stellar parameter degeneracy. This study develops neural network (NN) models to simultaneously classify stellar evolutionary phases and predict mass and age. The models were evaluated using *Gaia DR3* astrometric, photometric, and astrophysical parameters, including absolute magnitude, color indices, *RUWE*, effective temperature, surface gravity, and metallicity. The *Pre-Norm FT-Transformer* achieved the best classification accuracy (95.00%), perfectly identifying white dwarfs. For regression, the *Pre-Norm ResNet MLP* accurately estimated mass ($R^2 = 0.938$; $MAE = 0.074 M_{\odot}$). However, age estimation for older stars exhibited higher uncertainty ($R^2 = 0.888$; $MAE = 0.827$ Gyr) due to heteroscedasticity and evolutionary track degeneracy. These findings demonstrate the robustness of the developed NNs in mapping large-scale astrophysical observational data.

Keywords: Evolutionary phase, *Gaia DR3*, Neural network, Parameter regression, stellar evolution



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.

PENDEKATAN *NEURAL NETWORK* UNTUK EVOLUSI BINTANG: KLASIFIKASI FASE EVOLUSI SERTA PREDIKSI USIA DAN MASSA BINTANG

DZULFIQAR YUDHA PRANATA

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

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN
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 Dr. Yessie Widya Sari, M.Si.



Judul Skripsi : Pendekatan *Neural Network* untuk Evolusi Bintang: Klasifikasi Evolusi serta Prediksi Usia dan Massa Bintang

Nama : Dzulfiqar Yudha Pranata

NIM : G7401221009

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.

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

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

Pembimbing 2:

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

Diketahui oleh

Ketua Departemen Fisika:

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



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, skripsi yang berjudul “Pendekatan *Neural Network* untuk Evolusi Bintang: Klasifikasi Fase Evolusi serta Prediksi Usia dan Massa Bintang” ini dapat diselesaikan dengan baik. Penyusunan skripsi ini ditujukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Sains pada Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB University.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam menyelesaikan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, serta dukungan tulus dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan apresiasi dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Alm Bapak Syahrial dan Ibu Nuraeni, kakak dan adik penulis, Muhammad Nurul Fajryansyah dan Guntur Akbar Pradipta, serta seluruh keluarga besar yang tiada hentinya mengalirkan doa, dukungan materi, kasih sayang, serta motivasi yang menjadi kekuatan terbesar bagi penulis untuk menyelesaikan studi ini.
2. Bapak Prof. Dr. R. Tony I. Sumaryada, W.P., selaku dosen pembimbing pertama dan Ibu Dr. Sitti Yani, S.Si M.Si., selaku dosen pembimbing kedua, yang telah meluangkan waktu dengan penuh kesabaran untuk memberikan arahan, ilmu, serta masukan yang sangat berharga selama proses penelitian hingga skripsi ini selesai
3. Bapak Abd. Djamil Husin, S.Si., M.Si., selaku dosen penguji pertama, dan Ibu Dr. Yessie Widya Sari, M.Si., selaku dosen penguji kedua, atas evaluasi, saran, serta kritikan membangun yang menyempurnakan kualitas karya tulis ini.
4. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen serta staf akademis di lingkungan Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, yang telah membekali penulis dengan berbagai ilmu pengetahuan dan membantu kelancaran masa perkuliahan
5. Teman-teman terdekat penulis, Najwa, Azka, Furqon, Joseph, dan Bang Fajri, yang selalu hadir memberikan dukungan emosional, bantuan, kebersamaan, dan keceriaan yang mewarnai perjalanan dinamika perkuliahan penulis.
6. Teman-teman se-bimbingan, Robert, dan Arjuna yang telah membantu penulis berjuang bersama dalam menyelesaikan tugas akhir.
7. Teruntuk diri penulis sendiri, terima kasih atas kerja keras untuk menuntaskan tanggung jawab studi ini dengan performa terbaik.

Bogor, Juni 2026

Dzulfiqar Yudha Pranata



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
I PENDAHULUAN	11
1.1 Latar Belakang	11
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Evolusi Bintang	4
2.2 Klasifikasi Bintang dan Parameter Astrofisika	7
2.3 Dataset Gaia DR3	8
2.4 Algoritma <i>Machine Learning</i> dan <i>Neural Network</i>	9
III METODE	12
3.1 Waktu dan Tempat	12
3.2 Alat dan Bahan	12
3.3 Prosedur Kerja	12
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Pengumpulan Data dan Pembersihan Data	23
4.2 Pra-Pemrosesan Data	27
4.3 Analisis Data Eksploratif (EDA) Data Pelatihan	30
4.4 Hasil Pelatihan dan Evaluasi Kinerja Model	37
V SIMPULAN DAN SARAN	46
5.1 Simpulan	46
5.2 Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN	52
RIWAYAT HIDUP	55

DAFTAR TABEL

1	Tabel 1 Parameter kunci yang digunakan dan tujuan penggunaan	13
2	Tabel 2 Skenario pengambilan data	14
3	Tabel 3 Confusion matrix	22
4	Tabel 4 Sumber data untuk setiap evolusi bintang	23
5	Tabel 5 Kriteria dan prioritas pelabelan fase evolusi bintang	25
6	Tabel 6 Fitur astrofisika yang digunakan dalam penelitian	29
7	Tabel 7 Karakteristik dataset untuk tugas klasifikasi dan regresi	29
8	Tabel 8 Pembagian dataset	30

DAFTAR GAMBAR

1	Gambar 1 Diagram Hertzsprung-Russell (HR Diagram) (ESO 2007)	5
2	Gambar 2 Spektral klasifikasi bintang (Biorender 2024)	7
3	Gambar 3 Distribusi data fotometrik Gaia DR3 pada koordinat galaktik (De Angeli <i>et al.</i> 2023)	8
4	Gambar 4 Algoritma neural network (Bikku 2016)	9
5	Gambar 5 Arsitektur model <i>multilayer perceptron</i>	10
6	Gambar 6 Arsitektur model transformer	10
7	Gambar 7 Tahapan Penelitian	12
8	Gambar 8 Distribusi spasial data Gaia DR3 pada sistem koordinat galaktik: (a) distribusi massa bintang dan (b) kepadatan sumber.	26
9	Gambar 9 Distribusi kelas fase evolusi bintang data Gaia DR3	27
10	Gambar 10 Diagram Hertzsprung-Russell data Gaia DR3 setelah tahapan pra-pemrosesan data	31
11	Gambar 11 Distribusi kelas fase evolusi bintang setelah tahapan pra-pemrosesan data	32
12	Gambar 12 Plot Distribusi <i>Kernel Density Estimation</i> (KDE) untuk parameter suhu efektif T_{eff} dan gravitasi permukaan $\log g$ berdasarkan fase evolusi bintang	33
13	Gambar 13 Plot Distribusi <i>Kernel Density Estimation</i> (KDE) untuk parameter indeks warna fotometri (GBP-GRP dan GBP-G) berdasarkan fase evolusi bintang	33
14	Gambar 14 Plot distribusi <i>Kernel Density Estimation</i> (KDE) untuk parameter kecerahan intrinsik (abs_{g0}) dan indikator kualitas astrometri berdasarkan fase evolusi bintang.	34
15	Gambar 15 Matriks korelasi pearson untuk parameter fisis dan astrometri pada modul pemilihan fitur klasifikasi evolusi bintang	35
16	Gambar 16 Matriks korelasi pearson untuk pemilihan fitur prediktor pada modul regresi estimasi usia dan massa bintang	36
17	Gambar 17 Proyeksi 2D t-SNE (<i>t-Distributed Stochastic Neighbor Embedding</i>) ruang fitur multidimensi berdasarkan kelas fase evolusi bintang	37
18	Gambar 18 <i>Learning curve</i> klasifikasi fase evolusi bintang pada model (a) <i>baseline</i> MLP dan (b) PreNorm ResNet MLP	38

19	Gambar 19 <i>Confusion Matrix</i> klasifikasi fase evolusi bintang pada model (a) <i>baseline</i> MLP dan (b) Pre-Norm ResNet MLP	39
20	Gambar 20 <i>Learning curve</i> klasifikasi fase evolusi bintang pada model (a) <i>baseline</i> transformer dan (b) PreNorm FT-transformer	41
21	Gambar 21 <i>Confusion matrix</i> klasifikasi fase evolusi bintang pada model (a) <i>baseline</i> transformer dan (b) PreNorm FT-Transformer	42
22	Gambar 22 Evaluasi kinerja model regresi Pre-Norm ResNet MLP pada unit fisik aktual untuk prediksi usia dan massa bintang	44

DAFTAR LAMPIRAN

1	Lampiran 1 Dataset hasil kueri Gaia DR3	53
2	Lampiran 2 Dataset model klasifikasi fase evolusi bintang	53
3	Lampiran 3 Dataset model regresi usia dan massa bintang	54

