

## Artikel Penelitian

Marwan Gebran\*, Frederic Paletou, Ian Bentley, Rose Brienza, dan Kathleen Connick

# Aplikasi deep learning untuk penentuan parameter bintang: Aplikasi II pada spektrum bintang AFGK yang diamati

<https://doi.org/10.1515/astro-2022-0209>

diterima 27 Juni 2022; diterima 25 Oktober 2022

**Abstrak:** Dalam artikel lanjutan ini, kami menyelidiki penggunaan jaringan saraf convolutional untuk menurunkan parameter dari spektrum yang diamati. Dengan menggunakan hiperparameter yang telah ditentukan sebelumnya, kami telah membangun sebuah arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan yang cocok untuk menurunkan  $T_{\text{eff}}$ ,

$\log g$ ,  $[M / H]$ , dan  $v_e$  di sini. Jaringan dibatasi dengan menerapkannya pada basis data spektrum sintetik AFGK pada resolusi yang berbeda. Kemudian, parameter bintang A dari basis data Polarbase, SOPHIE, dan ELODIE diturunkan, serta parameter bintang FGK dari survei spektroskopi bintang-bintang di lingkungan matahari. Akurasi rata-rata model jaringan pada parameter bintang ditemukan serendah 80 K untuk  $T_{\text{eff}}$ , 0,06 dex untuk  $\log g$ ,

0,08 dex untuk  $[M / H]$ , dan 3 km/detik untuk  $v_e$  di sini untuk bintang-bintang AFGK.

**Kata kunci:** metode analisis data, statistik, metode, deep learning, teknik spektroskopi, parameter fundamental bintang

## 1 Pendahuluan

Kecerdasan buatan (AI) menjadi alat penting dalam ilmu pengetahuan karena kemampuan otomatisasi dan kapasitasnya untuk menangani data dalam jumlah besar. Dalam konteks astronomi, sebagian dari AI, pembelajaran mesin (ML), dan pembelajaran mendalam (DL) digunakan secara luas untuk survei berbasis darat dan langit

(Baron 2019). Dalam penelitian kami sebelumnya, Gebran *dkk.* (2022) (selanjutnya disebut sebagai Makalah I), kami membangun jaringan syaraf tiruan (deep neural network/DNN) untuk memperoleh parameter,<sup>1</sup> bintang seperti temperatur efektif ( $T_{\text{eff}}$ ), gravitasi permukaan ( $\log g$ ), metalitas ( $[M / H]$ ), dan kecepatan rotasi ekuator yang diproyeksikan ( $v_e$  di sini), untuk bintang-bintang B dan A. Dalam Makalah I, kami membatasi sebagian besar dari hiperparameter yang digunakan dalam konstruksi NN untuk memastikan bahwa akurasi terbaik untuk mendapatkan label bintang dapat dicapai.

Banyak alat dan teknik yang sedang dikembangkan untuk mendapatkan parameter dasar bintang, dan sebagian besar didasarkan pada pendekatan statistik atau ML/DL. Daftar lengkap studi terbaru dapat ditemukan di

dalam Pendahuluan Makalah I. Baru-baru ini, Li *dkk.* (2022b) menggunakan kombinasi metode least absolute shrinkage dan operator seleksi dan multilayer perceptron (MLP) untuk memperkirakan parameter atmosfer bintang dari teleskop spektroskopi serat multi-objek area langit luas (LAMOST) DR8 spektrum resolusi rendah. Straumit *dkk.* (2022) telah mengirimkan algoritme analisis spektral, ZETA-PAYNE, yang dikembangkan

untuk mendapatkan label bintang dari langit digital sloan kelima survei spektrum bintang-bintang dengan tipe spektrum OBAF menggunakan alat ML. Li *dkk.* (2022a) menerapkan teknik ML, regresi Gaussian process (GP), untuk mengubah kisi-kisi model yang jarang menjadi fungsi kontinu. Mereka juga menggunakan regresi GP untuk

untuk menentukan usia dan massa bintang. Kjærsgaard *dkk.* (2021) mempresentasikan pendekatan autoencoder NN untuk mengekstraksi spektrum transmisi tellurik dari sekumpulan besar presisi mengamati spektrum matahari dari spektograf kecepatan radial planet pencari planet dengan akurasi tinggi (HARPS-N). Hu *dkk.* (2022) mempresentasikan metode berbasis data berdasarkan jaringan saraf Memori Jangka Pendek Panjang untuk menganalisis deret waktu spektral supernova Tipe Ia (SN Ia). Metode ini memungkinkan rekonstruksi yang akurat dari urutan spektral SN Ia berdasarkan pengamatan tunggal spektrum di sekitar cahaya maksimum. Baru-baru ini, Xiong *et al.*

\* Penulis korespondensi: Marwan Gebran, Departemen Kimia dan Fisika, Saint Mary's College, Notre Dame, IN 46556, AS,

e-mail: mgebrane@saintmarys.edu

Frederic Paletou: Irap, Université de Toulouse, Observatoire Midi-Pyrénées, CNRS, CNES, 14 av. E. Belin, F-31400 Toulouse, Prancis  
Ian Bentley, Rose Brienza, Kathleen Connick: Departemen Kimia dan Fisika, Saint Mary's College, Notre Dame, IN 46556, USA

1 Apabila berurusan dengan DNN, parameter bintang sering disebut label bintang.

(2022) mempresentasikan jaringan saraf tiruan residual untuk mengekstrak informasi spektral dan memperkirakan atmosfer bintang

parameter bersama dengan 15 kelimpahan unsur kimia untuk spektrum resolusi menengah dari LAMOST.

Sebagian besar teknik otomatis yang ditemukan dalam literatur yang membahas tentang penurunan parameter fundamental ( $T_{\text{eff}}$ ,  $\log g$ , dan  $[M / H]$ ) tanpa mempertimbangkan  $v_e$  di *sini*. Profil rotasi biasanya ditemukan dengan menerapkan transformasi seperti transformasi Fourier (Zorec dan

Royer 2012) atau menggunakan hukum rotasi (Zorec *et al.* 2017). Dalam

penelitian kami sebelumnya (Aydi *et al.* 2014, Gebran *et al.* 2016, Kassounian *et al.* 2019, Gebran *et al.* 2022), kami memiliki menurunkan  $v_e$  di *sini* menggunakan pemasangan profil garis.

Dalam penelitian ini, kami melengkapi penelitian Paper I dengan menggunakan kombinasi hyperparameter terbaik untuk menemukan arsitektur NN terbaik. Tujuan utama dari penelitian kami

adalah mengembangkan model yang konsisten yang mampu melakukan pra

menentukan parameter bintang yang akurat dan tepat, yaitu titik awal yang memandu sebagian besar proyek fisika bintang. Tentu saja, sumber ketidakpastian lainnya dapat mempengaruhi hasil prediksi ketika diterapkan pada pengamatan nyata, seperti yang akan dibahas dalam artikel ini. Setelah arsitektur dan

Setelah parameter ditetapkan, kami menerapkan teknik kami pada spektrum yang diamati AFGK (Gebran *dkk.* 2016, Kassounian *dkk.* 2019, Paletou *dkk.* 2015).

Konstruksi basis data pelatihan dijelaskan di Bagian 2. Langkah-langkah prapemrosesan dirinci di Bagian

3. Konstruksi model NN dengan semua detailnya dibahas di Bagian 4. Penerapan metode ini untuk

Bintang-bintang AFGK dapat ditemukan di Bagian 5. Diskusi dan kesimpulan

clution dapat ditemukan di Bagian 6.

## 2 Basis data pelatihan

Sebuah kisi-kisi terdiri dari 12 basis data pelatihan dibangun untuk tujuan penelitian ini. Selain memodifikasi bintang

label ( $T_{\text{eff}}$ ,  $\log g$ , dan  $[M / H]^2$ ,  $v_e$  di *sini*), kita memiliki kon-menyusun serangkaian kisi-kisi dengan rentang bintang yang sama

namun dengan kekuatan resolusi yang berbeda. Tujuannya adalah untuk menganalisis efek resolusi pada akurasi label bintang yang diturunkan dan untuk memeriksa kemampuan ketika diterapkan pada teknik rendah, sedang, dan tinggi spektrometer resolusi.

Kami mengikuti strategi yang sama seperti di Makalah I. Kami

pertama kali menghitung serangkaian model atmosfer ATLAS9 (Kurucz 1992) dengan menggunakan fungsi distribusi opasitas

Castelli dan Kurucz (2003) dan dengan parameter panjang pencampuran 0,5 untuk  $7.000 \text{ K} \leq T_{\text{eff}} \leq 8.500 \text{ K}$ , dan 1,25 untuk  $T_{\text{eff}} \leq 7.000 \text{ K}$  (Smalley 2004). Dengan menggunakan SYNSPEC48 (Hubeny dan Lanz 1992), kami telah menghitung sintesis spektrum untuk bintang-bintang AFGK. Kami berakhir dengan kisi-kisi 80.000 spektrum sintetis, untuk setiap daya penyelesaian, dengan parameter yang berkisar secara acak di antara nilai-nilai yang dijelaskan dalam Tabel 1. Kami menggunakan daftar baris yang sama dengan yang digunakan

dalam Makalah I. Kisaran panjang gelombang dipilih antara 4.450 dan 5.400. Rentang panjang gelombang ini adalah memang sangat sensitif terhadap semua parameter bintang dalam spesifikasi

tral range dari bintang-bintang AFGK (Paletou *dkk.* 2015, Gebran *dkk.* 2016, Kassounian *dkk.* 2019, Gebran *dkk.* 2022). Ini juga tidak sensitif terhadap kecepatan mikroturbulen, yang diadopsi menjadi  $\xi_t = 2 \text{ km/s}$  untuk bintang A dan  $\xi_t = 1 \text{ km/s}$  untuk bintang FGK (Gebran *et al.* 2016, 2014). Sebuah contoh dari

spektrum yang dihitung untuk daya penyelesaian yang berbeda tidak

yang diputar pada Gambar 1.

## 3 Analisis komponen utama (PCA) untuk pemrosesan awal

Sebelum menerapkan NN ke basis data pelatihan, teknik reduksi dimensi diterapkan. Langkah ini terdiri dari

mengurangi ukuran spektrum dari ukuran sampling  $N_{(f)}$  menjadi  $n_k < N_{(f)}$ . Tergantung pada daya penyelesaian,  $N_{(f)}$  berkisar antara 4.750 dan 19.000 titik data. Titik data tereduksi  $n_k$  ditemukan dengan memproyeksikan fluks setiap spektrum

ke 50 komponen utama (PC) pertama. Secara teknis, kami menerapkan PCA ini pada basis data pelatihan dan menemukan nilai eigen

vektor  $e_k(f_i)$  dari matriks varians-kovarians  $C$ :

$$C = (M - \bar{M})^T (M - \bar{M}), \quad (1)$$

Tabel 1: Tabel 1: Rentang parameter digunakan untuk perhitungan basis data pelatihan

Parameter	Jangkauan	Langkah
$T_{\text{eff}}$ (K)	[4,000, 11,000]	50
$\log g$ (dex)	[2.0, 5.0]	0.05
$[M / H]$ (dex)	[-1.5, 1.5]	Acak Acak
$v_e$ di <i>sini</i> (km/s)	[0, 300]	
$\lambda$ (Å)	4,450-5,400	$\frac{\lambda}{\lambda_{\text{maks}}}$ Menyelesaikan kekuatan

Kolom ketiga menampilkan langkah-langkah dalam rentang parameter. Perhatikan bahwa langkah-langkah dalam  $T_{\text{eff}}$  dan  $\log g$  adalah langkah-langkah dalam model ATLAS9 atmo-bidang. Banyak database yang dibangun untuk kekuatan penyelesaian yang berbeda mulai dari 1.000 hingga 115.000. Langkah acak berarti tidak ada batasan pada pemilihan angka.

□ □

2  $[M / H]$  mengacu pada metalitas secara keseluruhan dan bukan pada kelimpahan besi. Semua kelimpahan unsur diskalakan menurut  $[M / H]$ .

di mana basis data pelatihan  $M$  adalah matriks  $N_{\text{spektrum}} \times N_{(fi)}$  yang berisi fluks spektrum sintesis. Nilai  $n_k$  ditemukan dengan menganalisis kesalahan yang direkonstruksi (Gebran

*et al.* 2022). Memiliki  $n_k = 50$  mengurangi rata-rata yang direkonstruksi

kesalahan ke nilai kurang dari 0,5%. Sebagai teknik yang mirip dengan

PCA, seseorang juga dapat menggunakan bagian encoder dari autoencoder untuk mengurangi dimensi database (Kjærsgaard *et al.* 2021). Kami telah memilih PCA agar sesuai dengan temuan kami sebelumnya di Gebran *dkk.* (2016, 2022).

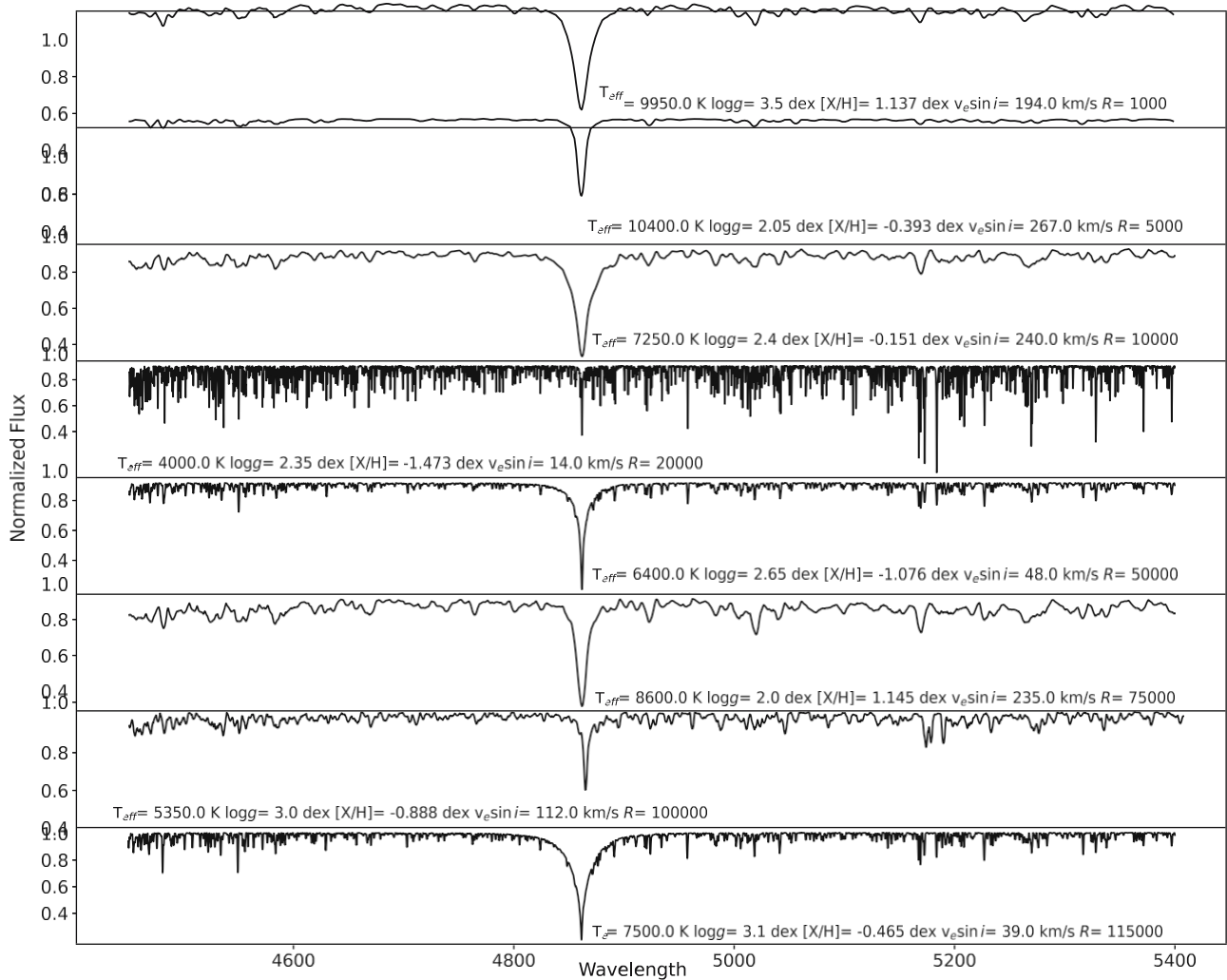
## 4 DL

Kami mulai dengan menerapkan penambahan data sebagai teknik regularisasi pada semua basis data pelatihan (lihat Bagian 4.1.1 dari Makalah I untuk penjelasan teknis). Hal ini dilakukan dengan cara

untuk memperhitungkan kebisingan dalam pengamatan nyata spektrum dan beberapa modifikasi yang dapat terjadi pada bentuk spektrum yang diamati karena normalisasi yang buruk atau reduksi data yang tidak tepat. Setiap spektrum (termasuk spektrum yang ditambah) di setiap basis data diwakili oleh 50 titik data, dan mereka berhubungan ke  $T_{\text{eff}}$  tertentu,  $\log g$ ,  $[M/H]$ , dan  $v_e \sin i$ . Hal ini berlaku untuk semua pangkat penyelesaian. NN kemudian digunakan untuk menghubungkan titik-titik data ini ke label yang sesuai. Empat yang berbeda

NN dibangun, satu untuk setiap label bintang ( $T_{\text{eff}}$ ),  $\log g$ ,  $[M/H]$ ,  $v_e \sin i$ .

Inisialisasi, pengoptimalisasi, laju pembelajaran, fraksi putus sekolah, lapisan penyatuan, fungsi aktivasi, fungsi kerugian, epochs, dan batch dibatasi sesuai dengan metodologi pada Makalah I. Parameter jaringan ini diturunkan untuk setiap arsitektur jaringan yang diuji dalam penelitian ini.



Gambar 1: Contoh spektrum sintesis yang dihitung dengan parameter bintang dan resolusi spektral yang berbeda. Spektrum bebas derau ini dinormalisasi ke kontinum lokal.

## 4.1 Arsitektur

Jumlah arsitektur yang tak terbatas dapat diterapkan untuk tujuan kita. Tujuan utamanya adalah menemukan transformasi yang paling akurat antara matriks koefisien spektral (50 yang diproyeksikan) dan label. Rancangan terbaik akan dipilih berdasarkan kesederhanaannya (ukuran dan waktu penghitungan) dan keakuratan hasilnya.

NN yang sangat padat, Jaringan Saraf Tiruan Konvolusional (CNN), dan kombinasi keduanya diuji untuk setiap label bintang. Dalam setiap kasus, kami melakukan iterasi pada jumlah lapisan, dan jumlah neuron di setiap lapisan, dan ukuran filter dalam kasus CNN. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, parameter jaringan diturunkan untuk setiap NN.

Untuk setiap jaringan dan setiap daya penyelesaian, setiap basis data yang ditambah dibagi menjadi 70% untuk pelatihan, 20% untuk validasi, dan 10% untuk pengujian. Rasio sinyal terhadap noise Gaussian dipilih secara acak antara 5 dan 300 dan diterapkan pada setiap spektrum dari 10% spektrum uji untuk memeriksa keakuratan teknik ini pada data yang bising.

Semua perhitungan kami dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak

bahasa pemrograman sumber, Python, khususnya dengan antarmuka Keras<sup>3</sup> pada TensorFlow<sup>4</sup>. Kami telah menggunakan paket KerasTuner<sup>5</sup> (O'Malley *et al.* 2019), sebuah kerangka kerja optimasi hiperparameter yang dapat diskalakan yang memecahkan masalah

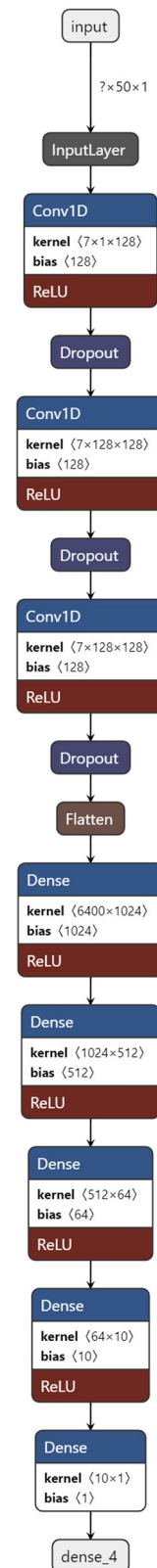
titik-titik kesulitan dari pencarian hyperparameter. Hal ini digunakan untuk mendapatkan jumlah lapisan yang dioptimalkan serta ukuran filter dalam kasus CNN. Menghubungkan jumlah lapisan dan dimensi filter dengan ukuran basis data serta ukuran setiap spektrum dalam basis data tidak

tugas yang mudah. Untuk menghindari pemasangan yang berlebihan dan kurang pas, kedua parameter ini harus dioptimalkan. KerasTuner membantu dalam hal ini dan menghindari kerumitan fase coba-coba yang memakan waktu.

Setelah melakukan iterasi pada bentuk arsitektur dan mendapatkan parameter yang dioptimalkan untuk setiap jaringan, hasilnya adalah sebuah arsitektur unik yang dapat diterapkan pada semua parameter bintang. Gambar 2 menunjukkan arsitektur NN untuk menurunkan  $T_{\text{eff}}$ . Arsitektur ini serupa untuk memprediksi

$\log g$ ,  $[M/H]$ , dan  $v_e$  di sini. Meskipun keempat parameter tersebut

diprediksi untuk jaringan yang memiliki arsitektur yang sama, model-model ini berbeda dalam fungsi aktivasi, kernel inisialisasi, fungsi kerugian, pengoptimalisasi, fraksi putus sekolah, epoch, dan nomor batch (Gebran *et al.* 2022). Nilai yang diadopsi untuk parameter jaringan adalah



Gambar 2: Arsitektur jaringan syaraf tiruan yang digunakan dalam penelitian ini untuk memprediksi  $T_{\text{eff}}$ ,  $\log g$ ,  $[M/H]$ , dan  $v_e$  di sini. Parameter-parameter ini diprediksi dengan jaringan memiliki arsitektur yang sama tetapi dengan parameter yang berbeda seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Penjelasan mengenai dimensi kernel dan bias dapat ditemukan dalam penelitian Wu (2017).

□ □

<sup>3</sup> <https://keras.io/>.

<sup>4</sup> <https://www.tensorflow.org/>.

<sup>5</sup> [https://keras.io/keras\\_tuner/](https://keras.io/keras_tuner/).

Tabel 2: Kumpulan parameter yang digunakan untuk empat jaringan, untuk mendapatkan  $T_{\text{eff}}$ ,  $\log g$ ,  $[M/H]$ , dan  $v_e \sin i$ ; parameter-parameter ini diperoleh dengan menggunakan teknik yang dijelaskan dalam Makalah I

Parameter	$T_{\text{eff}}$	$\log g$	$[M/H]$	$v_e \sin i$
Inisialisasi kernel	he_normal	he_normal	Seragam acak	he_uniform
Fungsi kerugian	Rata-rata kesalahan logaritmik kuadrat	Rata-rata kesalahan logaritmik kuadrat	Rata-rata kesalahan absolut	Rata-rata kesalahan kuadrat
Pengoptimal	Adam	Adamax	Adam	Adamax
Zaman	350	75	75	75
Batch	128	128	32	64
Fungsi aktivasi	Relu	tanh	tanh	tanh
Fraksi putus sekolah	0.3	0.3	0.2	0.3

diperoleh dengan menggunakan teknik yang dijelaskan dalam Makalah I. Parameter-parameter ini dirangkum dalam Tabel 2.

## 4.2 Efek resolusi

Survei spektroskopi didasarkan pada instrumen yang

memiliki kekuatan penyelesaian yang berbeda. Untuk alasan itu, kami

telah menerapkan teknik kami pada database yang berbeda yang memiliki rentang parameter yang serupa (Tabel 1), kecuali untuk daya penyelesaian. Pengujian kami berisi spektrum dengan resolusi rendah hingga 1.000 dan resolusi tinggi hingga 115.000.

Setelah jaringan dilatih menggunakan 70% data, kami telah memperoleh akurasi parameter untuk data uji validasi, uji, dan uji derau. Akurasi terbaik yang dicapai sebagai fungsi dari resolusi ditampilkan pada Gambar 3. Untuk setiap label bintang, akurasi yang diperoleh untuk data uji berderau merupakan representasi dari batang kesalahan yang seharusnya diberikan pada spektrum yang diamati. Sebagai contoh, ketika menganalisis spektrum pada daya resolusi 50.000,

kecepatan rotasi yang diproyeksikan ekuator harus diberi kesalahan  $\sigma_{v_e \sin i_m} \sim 2,5$  km/detik. Subskrip  $m$  berhubungan dengan fakta bahwa ini terkait dengan model. Untuk daya penyelesaian lebih besar dari 5.000, nilai akurasi selalu dalam urutan yang sama, dan rata-ratanya adalah 80 K untuk

$T_{\text{eff}}$ , 0,06 dex untuk  $\log g$ , 0,08 dex untuk  $[M/H]$ , dan 3 km/s untuk  $v_e \sin i$ .

## 5 Aplikasi pada spektrum yang diamati

Setelah empat jaringan diterapkan pada data sintetis dan arsitektur serta parameter yang ditemukan, kami menggunakannya untuk

memprediksi parameter bintang dari spektrum yang diamati. Kami menggunakan bintang-bintang AFGK yang telah dipelajari dengan baik yang diamati dengan instrumen yang berbeda pada resolusi yang berbeda. Menerapkan prediksi ke

Spektrum yang diamati mengasumsikan bahwa kode transfer radiatif adalah

mampu menghasilkan spektrum sintetis yang mirip dengan yang diamati

yang menggunakan parameter bintang tertentu. Kami telah menunjukkan dalam penelitian sebelumnya (Gebran *et al.* 2016, Kassounian *et al.* 2019) bahwa SYNPEC48 mampu mereproduksi spektrum

Bintang AFGK memiliki akurasi yang baik, namun kode spektrum sintetis lain yang dapat diandalkan dapat digunakan jika diperlukan. Kami dapat menyebutkan

Model PHOENIX (Husser *et al.* 2013) yang cocok untuk

bintang-bintang yang memiliki atau TURBOSPECTRUM (Plez

$T_{\text{eff}} \leq 12.000$  K

2012) dengan semua data molekuler yang digunakan untuk raksasa

dan bintang-bintang kerdil.

Untuk bintang A, kami menggunakan daftar Gebran *dkk.* (2016) dan memilih bintang yang memiliki nilai paling tinggi.

yang ada dalam literatur. Akhirnya, kami menemukan 89 bintang A yang teramati dengan lebih dari sembilan nilai  $T_{\text{eff}}$  dalam katalog Vizier. Bintang-bintang A ini diamati dengan NARVAL dan

Spektropolarimeter resolusi tinggi ESPaDOnS, yang memiliki daya penyelesaian spektral 65.000 dalam polarimetri dan 76.000 ketika digunakan untuk spektroskopi. Spektrum ini diambil dari PolarBase (Petit *et al.* 2014), sebuah observatorium bintang spektropolarimetri beresolusi tinggi.

database. Bagian lain dari spektrum bintang A diamati dengan spektograf ELODIE (Baranne *dkk.* 1996, Moul- taka *dkk.* 2004) dan SOPHIE (Perruchot *dkk.* 2011, Ilo- vaisky *dkk.* 2008) dengan daya tangkap

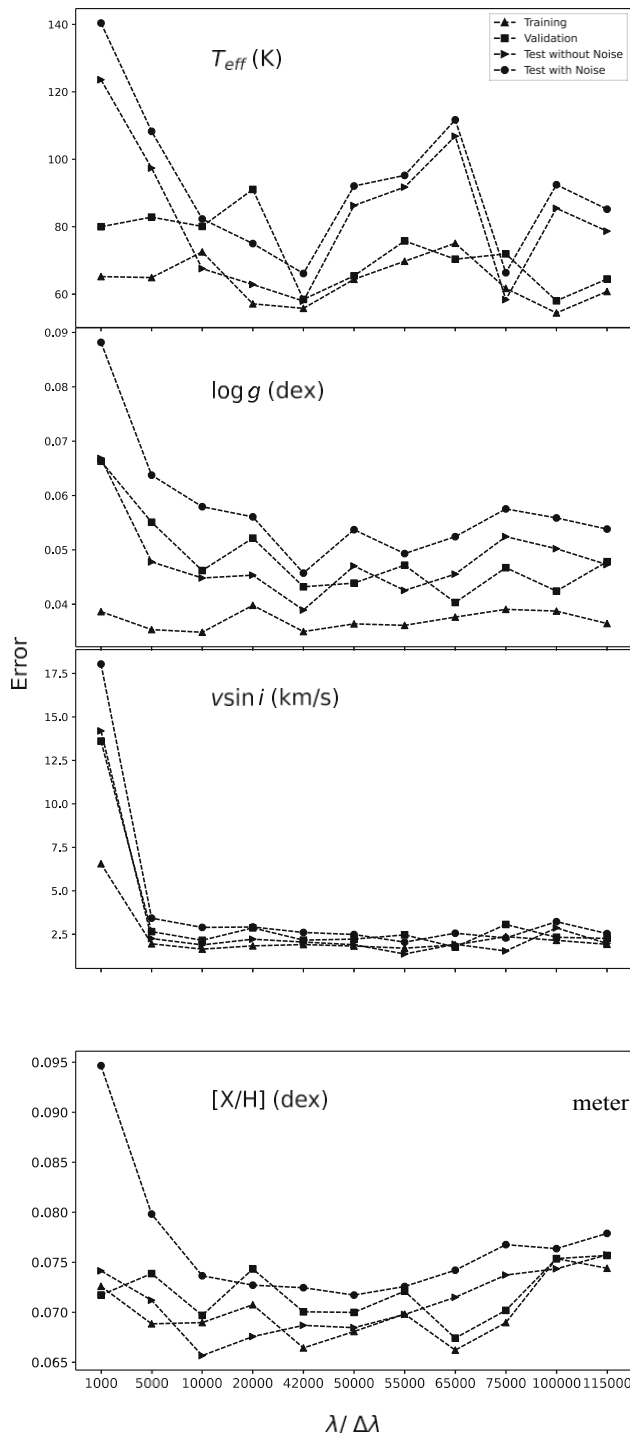
masing-masing sebesar 42.000 dan 75.000. Rincian tentang pengamatan dapat ditemukan di Gebran *dkk.* (2016) dan Kassounian *dkk.* (2019). Untuk bintang-bintang FGK, kami memiliki

menggunakan 96 spektrum bintang dari Survei Spektroskopi Bintang di Lingkungan Matahari ( $S^4N$ , Allende Prieto *dkk.* 2004), yang dianalisis dalam Paletou *dkk.* (2015) dengan daya penyelesaian 50.000. Seperti yang dilakukan pada penelitian kami sebelumnya (Paletou *et al.* 2015, Gebran *et al.* 2016), bintang variabel atau bintang aktif, yang menunjukkan fitur emisi waktu dari

Kekuatan/amplitudo gema tidak disertakan.

Untuk setiap resolving power, kami menggunakan model NN yang telah dilatih. Untuk melakukan hal tersebut, pengamatan dikoreksi untuk pergeseran kecepatan radial dengan menggunakan teknik korelasi silang klasik (Tonry dan Davis 1979). Spektrum kemudian diinterpolasi dalam rentang panjang gelombang





Gambar 3: Akurasi yang diturunkan untuk  $T_{\text{eff}}$ ,  $\log g$ ,  $[M/H]$ , dan  $v_e$  di  $\sin i$  sebagai fungsi dari daya penyelesaian. Kami menyajikan nilai akurasi untuk data pelatihan (segitiga), data validasi (kotak), tes (segitiga miring ke kanan), dan data uji bising (lingkaran).

yang digunakan selama pelatihan, antara 4.450 dan 5.400 untuk bintang A dan 5.000-5.400 Å untuk bintang FGK. Rentang panjang gelombang pengamatan S<sup>4</sup>N lebih kecil dari pengamatan A bintang. Oleh karena itu, basis data yang diperkecil dengan rentang panjang gelombang yang lebih kecil diinterpolasi dari basis data aslinya

pada 50.000 resolving power dan digunakan untuk bintang-bintang FGK tertentu. Kemudian, semua spektrum yang diamati diproyeksikan ke dalam PC yang sesuai dan 50 titik data pertama disimpan untuk prediksi.

## 5.1 Bintang AFGK

Parameter bintang yang diprediksi digambarkan dalam Tabel A1 dan A2 di Lampiran. Dalam tabel-tabel ini, parameter bintang diwakili dengan median dan yang terdekat nilai yang diambil dari katalog Vizier menggunakan astroquery<sup>6</sup>

(Paletou dan Zolotukhin 2014)<sup>7</sup>.

Gambar 4 menunjukkan suhu efektif yang diprediksi dari sampel bintang, serta kisaran temperatur efektif yang diambil dari katalog (boxplot) dan mediannya. Pemilihan bintang-bintang ini didasarkan pada

jumlah nilai yang ditemukan dalam literatur. Untuk bintang A, kami memilih bintang-bintang yang memiliki lebih dari 20 nilai berbeda di Vizier. Untuk bintang FGK, kami melakukan hal yang sama pada bintang-bintang yang memiliki lebih dari 100 nilai literatur independen untuk  $T_{\text{eff}}$ . Gambar 5-7 mirip dengan Gambar 4 tapi untuk  $\log g$ ,  $[M/H]$ , dan  $v_e$  di  $\sin i$ . Sebuah bintang pada Gambar 5 memiliki lebih dari sepuluh

Nilai-nilai yang dikatalogkan untuk bintang  $\log g$  dan  $F$  memiliki lebih dari

50. Untuk  $[M/H]$  dan  $v_e$  di  $\sin i$ , kami telah memilih bintang-bintang A yang memiliki lebih dari sepuluh nilai yang dikatalogkan untuk keduanya

parameter. Untuk bintang-bintang FGK, kami memilih bintang-bintang yang memiliki nilai lebih dari 50 dan 15 untuk  $[M/H]$  dan  $v_e$  di  $\sin i$ .

Ada banyak sekali literatur yang membahas tentang semua parameter. Untuk memperkirakan keakuratan hasil kami, kami menggunakan

pendekatan rata-rata tertimbang yang serupa dengan yang dijelaskan dalam Gebran *dkk.* (2016). Secara kuantitatif, dan untuk memberikan

Dengan memberikan bobot lebih pada nilai-nilai yang dikatalogkan yang memiliki jumlah kemunculan yang banyak dan penyebaran nilai yang kecil, dispersi dan simpangan baku sesuai untuk parameter bintang  $X$  dihitung sebagai berikut:

$$= \frac{\sum_i w_i (X^{\text{prediksi}} - X^{\text{median}})}{\sum_i w_i}$$

di mana

$$w_i = \frac{1}{\text{IQR}_i}$$

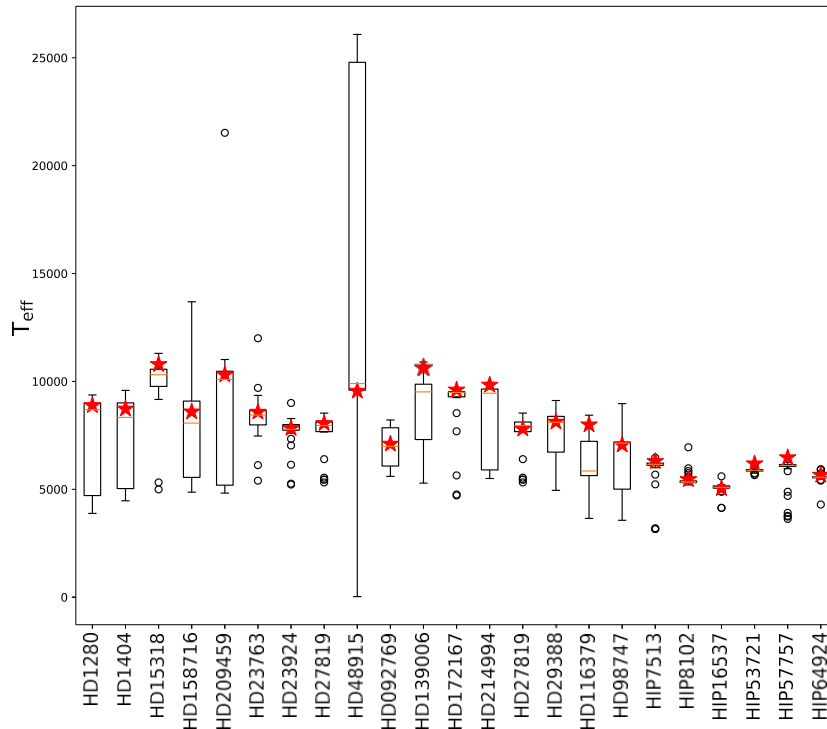
IQR<sub>*i*</sub> adalah rentang interkuartil yang didefinisikan sebagai perbedaan

antara kuartil ketiga dan pertama dari setiap set nilai. Standar deviasi dihitung sebagai berikut:

□ □

6 <https://astroquery.readthedocs.io>.

7 <https://arxiv.org/abs/1408.7026>.



Gambar 4: Perbandingan antara temperatur efektif (bintang) yang kami prediksi, dan nilai yang kami peroleh dari katalog Vizier yang tersedia. Nilai-nilai yang dikatalogkan direpresentasikan sebagai plot kotak klasik. Objek-objek yang kami pelajari dicantumkan di sepanjang sumbu horisontal. Garis horizontal di dalam setiap kotak menunjukkan median (nilai  $Q_2$ ), sementara setiap kotak memanjang dari kuartil pertama,  $Q_1$ ), hingga kuartil ketiga  $Q_3$ ). Nilai-nilai ekstrem, masih berada di dalam

1,5 kali rentang interkuartil dari  $Q_1$  atau  $Q_3$ , dihubungkan ke kotak dengan garis putus-putus. Pencila dilambangkan dengan simbol "o".

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{\sum_i w_i (X^{\text{prediksi}} - X^{\text{median}})^2}{\sum_i w_i}}$$

Bintang yang hanya memiliki satu nilai yang dikatalogkan untuk parameter tertentu tidak dipertimbangkan dalam perhitungan perbedaan.

Hasil dispersi serta deviasi standar ditampilkan pada Tabel 3. Nilai-nilai dikatalogkan semuanya berasal dari sumber yang berbeda, dan setiap penulis menggunakan teknik yang berbeda (fotometri, spektroskopi, spektrofotometri, asteroseismologi, dll.). Hal ini mengarah ke sebuah dispersi dan deviasi yang besar antara nilai prediksi kami dengan nilai yang ada dalam literatur. Cara yang lebih baik untuk mengestimasi

Cara untuk mencocokkan dispersi ini adalah dengan melakukan perbandingan dengan sampel yang digunakan pada Gambar 4-7. Sampel ini berisi bintang-bintang yang memiliki jumlah nilai katalog independen terbesar. Dispersi dan standar deviasi baru ditampilkan pada Tabel 3 yang digambarkan dengan subskrip "lim". Dalam hal ini, dispersi berkurang secara drastis, mencapai rata-rata 150 K, 0,01 dex, 0,04 dex, dan 3,0 km/detik untuk  $T_{\text{eff}}$ ,  $\log g$ ,

$[M/H]$ , dan  $v_e$  di sini, masing-masing, dan dengan standar deviasi yang lebih kecil.

penyimpangan yang lebih kecil dibandingkan dengan keseluruhan sampel.

Dispersi yang ditemukan antara  $v_e$  di sini yang diprediksi untuk FGK dan yang ada di literatur terutama dijelaskan oleh fakta bahwa  $v_e$  di sini termasuk efek makroturbulensi,

sedangkan beberapa penulis memperoleh kedua parameter tersebut secara terpisah.

(lihat, misalnya, Allende Prieto *dkk.* 2004). Pada kasus bintang A, nilai  $v_e$  di sini untuk setiap spektrum yang bergaris tajam (*mis*,

$v_e$  di sini  $\leq 5$  km/s) harus dianggap sebagai batas atas

karena, efek makroturbulensi diabaikan. Untuk sedang

dan rotator cepat, makroturbulensi tidak berpengaruh signifikan terhadap bentuk garis (Takeda *et al.* 2018, Frémat *et al.* 2022).

Jika hanya mempertimbangkan bintang A,  $\Delta_{\text{lim}}$  dan  $\sigma_{\text{lim}}$  pada Tabel 3 menjadi 1,3 dan 5,0 km/detik. Hasil ini menunjukkan bahwa kita bisa mendapatkan kembali parameter bintang AFGK

bintang dengan akurasi yang baik menggunakan model terlatih kami. Bagaimana-

pernah, seperti yang dijelaskan dalam Makalah I, ukuran basis data sangat

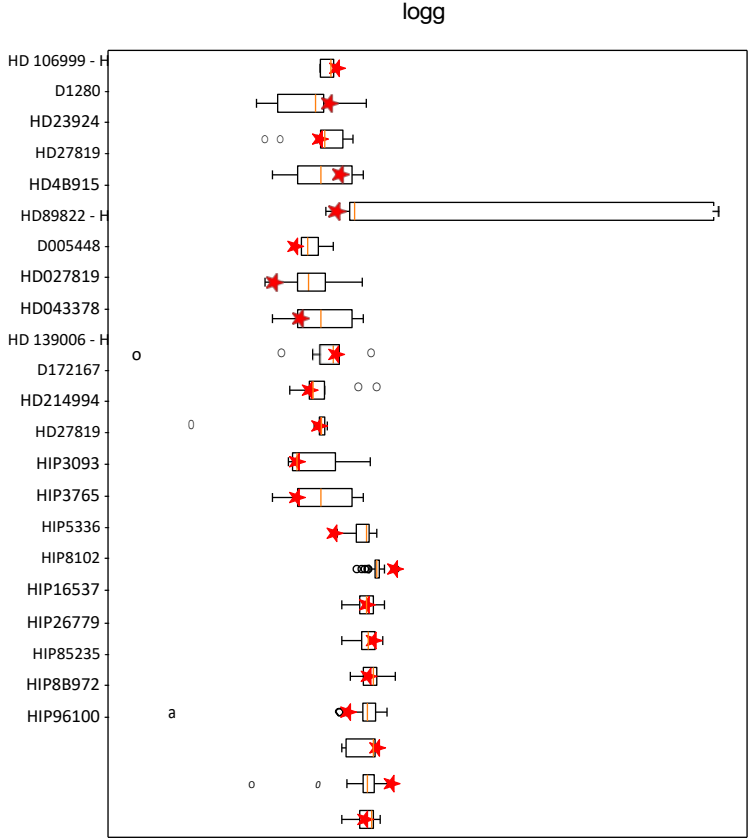
sangat penting untuk konvergensi model serta untuk akurasi parameter bintang yang dipulihkan. Ukuran

database tergantung pada banyak faktor, termasuk tipe spektral bintang, rentang panjang gelombang, dan jenis parameter yang telah ditentukan sebelumnya. Kami telah menggunakan basis data dari ~ 80.000

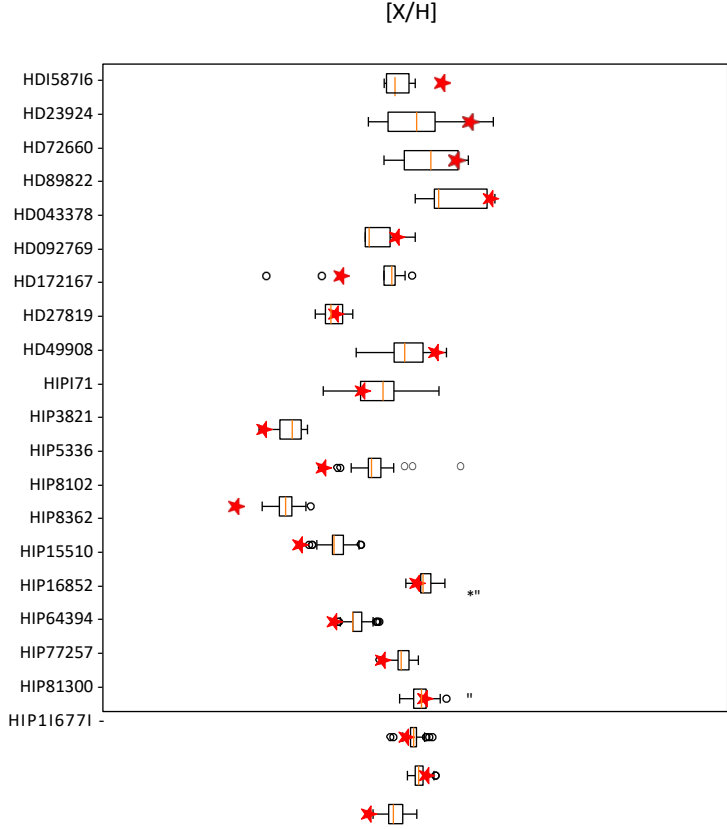
spektrum dalam penelitian kami, tetapi jumlah ini harus dipantau.

## 6 Diskusi dan kesimpulan

Ada dua sumber kesalahan yang harus diberikan pada parameter bintang yang diprediksi. Yang pertama berkaitan dengan model ( $\sigma_{\text{parameter}(m)}$ ),

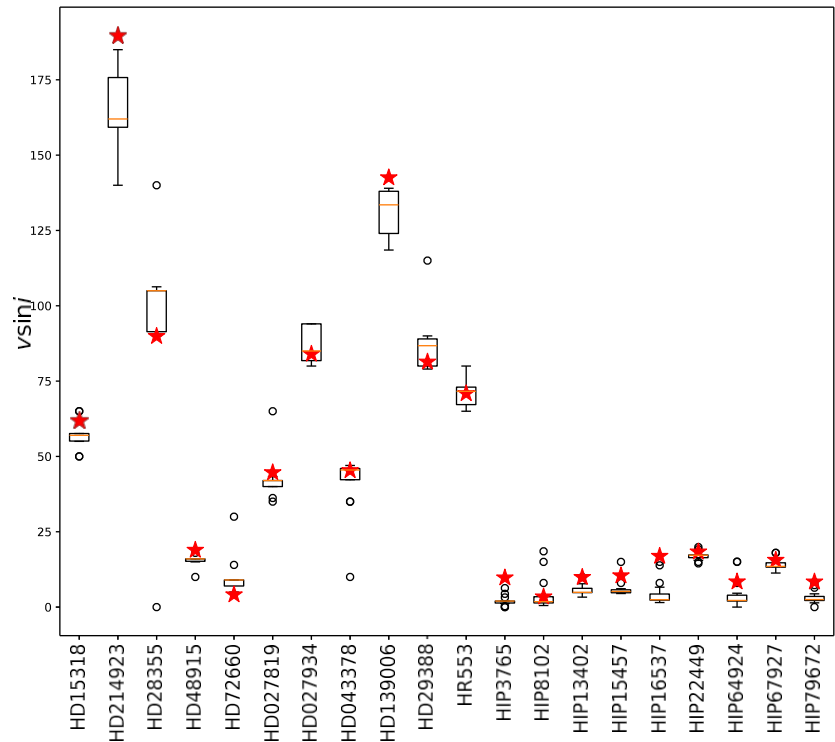


Gambar 5: Sama seperti Gambar 4, tetapi untuk kayu gelondongan.



Gambar 6: Sama seperti Gambar 4, tetapi untuk [M/H].





Gambar 7: Sama seperti Gambar 4 tetapi untuk  $v_e$  di *sini*.

Tabel 3: Dispersi dan deviasi standar untuk perbandingan antara parameter yang kami prediksi dan parameter yang ada di katalog

	$T_{\text{eff}}$ (K)	$\log g$ (dex)	$[M / H]$ (dex)	$v_e \sin i$ (km/s)
$\Delta$	160	0.40	0.15	12
	300	0.55	0.35	15
$\Delta_{\text{lim}}$	150	0.01	0.04	3.0
$i_{\text{lim}}$	250	0.15	0.14	5.5

Dua baris terakhir berhubungan dengan sampel yang dikatalogkan secara terbatas, yang digunakan untuk memplot Gambar 4-7.

Bagian 4.2) dan yang lainnya berhubungan dengan seberapa dekat radiasinya kode transfer (*yaitu*, SYNSPEC48,  $\sigma_{\text{parameter}_{\text{rtc}}}$ ) mewakili pengamatan.  $\sigma_{\text{parameter}_{\text{rtc}}}$  dapat diturunkan dengan menggunakan daftar bintang yang telah dipelajari dengan baik dengan parameter bintang yang mapan selama rentang yang luas dalam Diagram Hertzsprung-Russell. Ini di luar ruang lingkup penelitian ini, tetapi kita harus menyadari bahwa ini Sumber kesalahan dapat bergantung pada panjang gelombang karena setiap kode transfer radiatif menggunakan daftar baris yang berbeda dengan data atom yang berbeda.

Model (*yaitu*, NN) dan kesalahan transfer radiatif tidak dapat diinduksi.

penden dan dapat ditambahkan secara kuadratik untuk menemukan akurasi total yang kami temukan di Bagian 5.1:

$$\sigma_{\text{parameter}_{\text{total}}} = \left( \sigma_{\text{parameter}_m}^2 + \sigma_{\text{parameter}_{\text{rtc}}}^2 \right)^{\frac{1}{2}}.$$

Sementara membandingkan dengan nilai median dari literatur, kami menemukan bahwa  $T_{\text{eff}}$  diturunkan dengan akurasi 150 K,  $\log g$  dengan 0,01 dex,  $[M/H]$  dengan 0,04 dex, dan  $v_e$  di *sini* dengan 3,0 km/detik. Beberapa penyimpangan ini lebih kecil dari kesalahan yang ditemukan dalam model (80 K untuk  $T_{\text{eff}}$ , 0,06 dex untuk  $\log g$ , 0,08 dex untuk  $[M/H]$ , dan 3,0 km/dtk untuk  $v_e$  di *sini*), tetapi kita harus mempertimbangkan keakuratan sebagai batas minimum untuk parameter bintang dan kemudian menghitung akurasi total tergantung pada kekhususan kode transfer radiasi.

Kami telah menggunakan berbagai macam tipe spektral dan menemukan nilai akurasi yang dapat diterima. Seseorang dapat menggunakan kombinasi perpustakaan bintang dengan data sintetis disesuaikan untuk setiap jenis spektral dan rentang luminositas atau basis data yang besar dari bintang-bintang yang diamati dengan parameter bintang yang akurat. Namun, NN terbukti menjadi cara yang cepat (lihat Makalah I untuk waktu komputasi) dan akurat untuk mendapatkan parameter bintang dan dapat menangani jumlah yang besar data. Hasil ini sangat menjanjikan, karena kurang akurat dibandingkan dengan hasil yang biasanya ditemukan dengan teknik fotometrik (Smalley 2005, Jin-Meng *et al.* 2021, Green *et al.* 2021), spektroskopi (Gill *et al.* 2018, Gebran *et al.* 2016, Ting *dkk.* 2019, Kassounian *dkk.* 2019, Tabernero *et al.* 2022), atau kombinasi keduanya (Adelman *et al.*

Dalam penelitian selanjutnya, kami akan menguji pengaruh daerah spektral tertentu pada parameter bintang. Hal ini akan dilakukan melalui penyandi otomatis, suatu jenis pembelajaran tanpa pengawasan.

teknik, yang mengarah pada data yang lebih "cerdas" dan ringkas. konstruksi dasar.

Salah satu aplikasi yang mudah adalah penggunaan untuk mendapatkan parameter bintang dari spektrum Gaia (Collaboration *et al.* 2016). Spektrometer kecepatan radial (Cropper *et al.* 2018) yang ada di dalam Gaia akan memberikan spektrum resolusi menengah ( $R \sim 11.000$ ) di wilayah triplet CaII (berkisar antara 8.470 hingga 8.710). Tujuh ebanjak jutaan bintang telah tersedia spektrumnya dalam Rilis Data 3 (DR3, Kolaborasi *dkk.* 2022, Frémat *dkk.* 2022).

Ucapan terima kasih: Kami sangat berterima kasih kepada para pemberi saran dalam artikel ini atas komentar mereka yang sangat berguna.

Informasi pendanaan: Penelitian ini didukung oleh program Beasiswa Penelitian Musim Panas Neuhoff di Saint Mary's College.

Kontribusi penulis: Semua penulis telah menerima tanggung jawab atas seluruh isi naskah ini dan pengajuan suntingan yang telah disetujui.

Konflik kepentingan: Penulis menyatakan bahwa tidak ada konflik kepentingan.

## Referensi

- Adelman SJ, Pintado OI, Nieva MF, Rayle KE, Sanders SE. 2002. Tentang temperatur efektif dan gravitasi permukaan bintang-bintang deret utama B dan A yang dangkal dan normal. *A&A*. 392:1031-1037.
- Allende Prieto C, Barklem PS, Lambert DL, Cunha K. 2004.  $S^4N$ : Survei spektroskopi bintang-bintang di lingkungan matahari. The terdekat 15 pc. *A&A*. 420:183-205.
- Aydi E, Gebran M, Monier R, Royer F, Lobel A, Blomme R. 2014. Prosedur otomatis untuk mendapatkan parameter fundamental bintang B dan A: Aplikasi pada gugus muda NGC 3293. Dalam: Ballet J, Martins F, Bournaud F, Monier R, Reylé, C, editor, SF2A-2014: Prosiding Pertemuan Tahunan Prancis Masyarakat Astronomi dan Astrofisika; 2014 Jun 3-6; Paris, Perancis. Paris: SF2A. hlm. 451-455.
- Baranne A, Queloz D, Mayor M, Adrianzyk G, Knispel G, Kohler D, *dkk.* 1996. Elodie: Spektrograf untuk kecepatan radial yang akurat pengukuran. *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 119(2):373-390. Baron D. 2019. Pembelajaran Mesin dalam Astronomi: sebuah pendekatan praktis untuk view. *arXiv e-prints*, *arXiv*:1904.07248.
- Castelli F, Kurucz RL. 2003. Kisi-kisi baru dari model ATLAS9 atmo-bola. Dalam: Piskunov N, Weiss WW, Gray DF, editor, Prosiding Simposium ke-210 Persatuan Astronomi Internasional yang diselenggarakan di Universitas Uppsala, Uppsala, Swedia, 17-21 Juni 2002. IAU oleh Masyarakat Astronomi Pasifik. hlm. A20.
- Cropper M, Katz D, Sartoretti P, Prusti T, de Bruijne JHJ, Chassat F, *dkk.* 2018. Rilis data Gaia 2. Spektrometer kecepatan radial Gaia- meter. *A&A*. 616:A5.
- Frémat Y, Royer F, Marchal O, Blomme R, Sartoretti P, Guerrier A, *dkk.* 2022. Rilis Data Gaia 3: Sifat-sifat parameter kelebaran garis diperoleh dengan spektrometer kecepatan radial (RVS). *arXiv e-prints*, *arXiv*:2206.10986.
- Kolaborasi Gaia, Creevey OL, Sarro LM, Lobel A, Pancino E, Andrae R, *dkk.* 2022. Gaia Data Release 3: A Golden Sample of Astrophysical Parameters. *arXiv e-prints*, *arXiv*:2206.05870.
- Kolaborasi Gaia, Prusti T, de Bruijne JHJ, Brown AGA, Vallenari A, Babusiaux C, *dkk.* 2016. Misi Gaia. *A&A*. 595:A1.
- Gebran M, Connick K, Farhat H, Paletou F, Bentley I. 2022. Aplikasi pembelajaran mendalam untuk penentuan parameter bintang: I-membatasi hiperparameter. *Buka Astron.* 31(1):38-57.
- Gebran M, Farah W, Paletou F, Monier R, Watson V. 2016. Sebuah untuk inversi parameter atmosfer bintang A/M. *A&A*. 589:A83.
- Gebran M, Monier R, Royer F, Lobel A, Blomme R. 2014. Mikroturbulensi pada bintang A/F Am/Fm. Dalam: Mathys G, Griffin ER, Kochukhov O, Monier R, Wahlgren GM, editor, Menempatkan Bintang dalam Konteks: Evolusi, Lingkungan, dan Bintang-bintang Terkait, Prosiding Konferensi Internasional, Moskow: Publishing House "Pero". hlm. 193-198.
- Gill S, Maxted PFL, Smalley B. 2018. Parameter atmosfer bintang FGK menggunakan analisis wavelet spektrum CORALIE. *A&A*. 612:A111.
- Green GM, Rix H-W, Tschesche L, Finkbeiner D, Zucker C, Schlafly EF, *et al.* 2021. Model bintang yang digerakkan oleh data. *ApJ*. 907(1):57.
- Heiter U, Jofré P, Gustafsson B, Korn AJ, Soubiran C, Thévenin F. 2015. Bintang-bintang pembanding Gaia FGK: Temperatur efektif dan gravitasi permukaan. *A&A*. 582:A49.
- Hu L, Chen X, Wang L. 2022. Studi spektroskopi supernova tipe Ia menggunakan jaringan saraf LSTM. *ApJ*. 930(1):70.
- Hubeny I, Lanz T. 1992. Metode linearisasi lengkap yang dipercepat untuk menghitung atmosfer bintang model NLTE. *A&A*. 262(2):501-514.
- Husser TO, Wende-vonBerg S, Dreizler S, Homeier D, Reiners A, Barman T. *et al.* 2013. Perpustakaan baru yang luas dari PHOENIX atmosfer bintang dan spektrum sintetis. *A&A*. 553:A6.
- Ilovaisky S, Prugniel P, Soubiran C, Koleva M, Le Coroller H. 2008. Arsip ELODIE-SOPHIE di observatorium virtual. Dalam: Guainazzi M, Osuna P, editor, Spektroskopi Astronomi dan Observatorium Virtual, Prosiding Lokakarya EURO-VO, yang diselenggarakan di Pusat Astronomi Antariksa Eropa ESA, Villafranca del Castillo, Spanyol, Badan Antariksa Eropa. p. 47.
- Jin-Meng Y, Xiao-Qing W, Min Z. 2021. Regresi temperatur efektif di APOGEE dan LAMOST. *New Astron.* 86:101568.
- Kassounian S, Gebran M, Paletou F, Watson V. 2019. Regresi Invers Irisan: aplikasi untuk parameter bintang fundamental. *Buka Astron.* 28(1):68-84.
- Kjaergaard RD, Bello-Arufe A, Rathcke AD, Buchhave LA, Clemmensen LKH. 2021. Pencampuran Spektral Tanpa Pengawasan untuk Koreksi Telluric Menggunakan Autoencoder Jaringan Saraf. *arXiv e-prints*, *arXiv*:2111.09081.

- Kurucz RL. 1992. Data atom dan molekul untuk perhitungan opasitas. *RMXAA*. 23:45.
- Li T, Davies GR, Lytle AJ, Ball WH, Carboneau LM, Garcia RA. 2022a. Pemodelan bintang dengan regresi proses Gaussian: menambah kisi-kisi model bintang. *MNRAS*. 511(4):5597-5610.
- Li X, Wang Z, Zeng S, Liao C, Du B, Kong X, et al. 2022b. Estimasi parameter atmosfer bintang dari spektrum resolusi rendah LAMOST DR8 dengan  $20 \leq \text{SNR} < 30$ . *arXiv e-prints*, arXiv: 2204.06301.
- Moultaka J, Ilovaisky SA, Prugniel P, Soubiran C. 2004. Arsip ELODIE. *PASP*. 116(821):693-698.
- O'Malley T, Bursztein E, Long J, Chollet F, Jin H, Invernizzi L, dkk. 2019. Kerastuner. <https://github.com/keras-team/keras-tuner>.
- Paletou F, Böhm T, Watson V, Trouilhet JF. 2015. Inversi parameter fundamental bintang dari spektrum resolusi tinggi ESPaDOnS dan Narval. *A&A*. 573:A67.
- Paletou F, Zolotukhin I. 2014. Menggunakan observatorium virtual dengan python: melakukan kueri terhadap basis data astronomi jarak jauh. *arXiv e-prints*, arXiv:1408.7026:1408.7026.
- Perruchot S, Bouchy F, Chazelas B, Diiliaz RF, Hébrard G, Arnaud K, dkk. 2011. Pengukuran kecepatan radial presisi tinggi dengan spektograf SOPHIE menggunakan serat berpenampang segi delapan. In: Shaklan S, editor. *Teknik dan Instrumentasi untuk Deteksi Exoplanet V*, vol 8151 dari Society of Photo-Optical Seri Konferensi Insinyur Instrumentasi (SPIE), hal. 815115.
- Petit P, Louge T, Théado S, Paletou F, Manset N, Morin J. et al. 2014. PolarBase: basis data spektropolarimetri resolusi tinggi pengamatan bintang. *PASP*. 126(939):469.
- Plez B. 2012 Turbospektrum: Kode untuk sintesis spektral. *Astrofisika*. Kode Sumber Catatan Perpustakaan ascl:1205.004.
- Smalley B. 2004. Pengamatan konveksi pada bintang-bintang tipe A. Dalam: Zverko J, Ziznovsky J, Adelman SJ, Weiss WW, editor, *The A-Star Puzzle yang diselenggarakan di Poprad, Slovakia, 8-13 Juli 2004*. Simposium IAU, No. 224. Cambridge, Inggris: Universitas Cambridge Press. hlm. 131-138.
- Smalley B. 2005. Penentuan  $\text{teff}$  dan  $\log g$ . *Memorie della Societa Astronomica Italiana Supplementi*. 8:130.
- Straumit I, Tkachenko A, Gebruers S, Audenaert J, Xiang M, Zari E, dkk. 2022. Zeta-Payne: Algoritma analisis spektrum otomatis untuk program pemetaan bimasakti dari survei SDSS-V. *AJ*. 163(5):236.
- Tabernero HM, Marfil E, Montes D, González Hernández JI. 2022. STEPARSYN: Kode Bayesian untuk menyimpulkan parameter atmosfer bintang menggunakan sintesis spektral. *A&A*. 657:A66.
- Takeda Y, Kawanomoto S, Ohishi N, Kang D-I, Lee B-C, Kim K-M, et al. 2018. Kelimpahan karbon, nitrogen, dan oksigen fotosfer dari bintang-bintang urutan utama tipe A\*. *Publ Astron Soc Jpn*. 70(5):91.
- Ting Y-S, Conroy C, Rix H-W, Cargile P. 2019. The Payne: pengendalian diri sistem *ab initio* fitting spektrum bintang. *APJ*. 879(2):69.
- Tonry J, Davis M. 1979. Survei pergeseran merah galaksi. I. Reduksi data teknik. *AJ*. 84:1511-1525.
- Wu J. 2017. Pengantar jaringan saraf konvolusi. Dalam: *Laboratorium Kunci Nasional untuk Teknologi Perangkat Lunak Baru*. China: Universitas Nanjing, vol. 5, No. 23, hlm. 495.
- Xiong S, Li X, Liao C. 2022. Model RRNet untuk eksploitasi informasi spektral dan estimasi spektrum resolusi menengah LAMOST para- meter. *arXiv:2205.15490*.
- Zorec J, Frémat Y, Domiciano de Souza A, Royer F, Cidale L, Hubert AM, dkk. 2017. Studi kritis distribusi kecepatan rotasi bintang Be. II: Rotasi diferensial dan beberapa efek tersembunyi yang mengganggu interpretasi parameter  $V \sin i$ . *A&A*. 602:A83.
- Zorec J, Royer F. 2012. Kecepatan rotasi bintang-bintang tipe A. IV. Evolusi kecepatan rotasi. *A&A*. 537:A120.

## Lampiran

Tabel A1: Nilai prediksi untuk  $T_{\text{eff}}$ ,  $\log g$ ,  $[M/H]$ , dan  $v_e$  di sini untuk bintang-bintang A dengan nilai median dan nilai terdekat dari katalog Vizier

HIP	HD	$T_{\text{eff}}$ (K)	$T_{\text{eff}}^m$ (K)	$T_{\text{eff}}^m$ (K)	$\log g$ (dex)	$\log g^{gc}$ (dex)	$\log g^m$ (dex)	$[M/H]$ (dex)	$[X/H]^c$ (dex)	$[M/H]^m$ (dex)	$v_e \sin i$ (km/s)	$v \sin^{ic}$ (km/s)	$v \sin^{im}$ (km/s)
HIP100108	HD193369	10,109	7,718	10,100	4.08	4.30	4.29	0.14	0.04	0.04	120.4	102.0	110.0
HIP102098	HD197345	7,081	7,823	7,572	2.22	2.51	2.13	0.61	0.06	0.48	31.3	34.7	34.7
HIP102208	HD199095	10,610	8,934	10,500	4.03	3.95	3.95	0.03	0.0	0.00	27.4	32.0	30.0
HIP103298	HD199254	7,842	8,145	7,900	3.37	4.01	3.50	-0.24	-0.2	-0.40	165.8	148.0	159.0
HIP104139	HD200761	9,959	9,595	10,001	3.74	4.11	4.00	0.28	0.26	0.26	145.6	104.0	130.0
HIP106297	HD205117	10,091	9,370	9,800	4.02	3.90	4.00	-0.10	0.00	-0.10	138.5	83.5	90.0
HIP10670	HD14055	10,174	9,340	10,772	4.17	4.08	4.19	-1.31	-0.58	-1.20	233.2	246.0	240.0
HIP10793	HD14252	8,638	8,380	8,749	3.35	4.74	3.40	-0.01	-0.05	0.00	23.5	22.0	25.0
HIP108875	HD209459	10,307	10,093	10,350	3.16	3.55	3.48	-0.95	-0.1	-0.42	2.0	11.0	3.8
HIP109521	HD210715	8,099	7,901	8,200	4.01	4.13	4.09	0.15	-0.10	-0.01	155.5	138.0	144.0
HIP111123	HD213320	10,826	10,125	10,864	3.79	4.05	3.76	1.11	0.41	0.49	22.1	21.0	23.0
HIP111169	HD213558	9,852	9,197	9,840	4.23	4.00	4.20	0.19	-0.28	0.00	149.1	128.0	150.0
HIP112029	HD214923	10,396	11,032	10,723	3.26	3.87	3.50	-0.24	0.00	-0.30	189.6	162.0	185.0
HIP112051	HD214994	9,834	9,452	9,866	3.67	3.68	3.65	1.44	0.08	0.42	5.1	10.0	5.0
HIP114745	HD219485	10,361	9,396	10,000	3.81	3.82	3.81	0.05	0.00	0.03	25.5	23.0	25.0
HIP11484	HD15318	10,790	10,308	10,900	3.64	4.00	3.48	0.00	-0.10	-0.04	61.7	57.0	65.0
HIP12706	HD016970	8,587	8,407	8,551	4.29	4.18	4.30	-0.13	-0.01	-0.01	192.0	186.0	190.0
HIP1366	HD1280	8,887	8,697	8,857	4.05	3.89	4.00	0.39	-0.69	0.14	101.9	102.0	102.0
HIP1473	HD1404	8,728	8,332	8,770	4.17	4.18	4.17	0.28	-0.09	0.05	138.3	119.0	123.0
HIP15154	HD20149	9,661	8,631	9,800	3.43	3.65	3.50	0.05	0.00	0.06	22.1	23.0	23.0
HIP16322	HD21686	10,199	9,468	10,000	3.61	4.00	3.67	-0.22	-0.2	-0.40	237.9	244.0	244.0
HIP17791	HD23763	8,581	8,441	8,591	4.33	4.03	4.10	0.33	-0.14	0.01	139.5	104.0	110.0
HIP18717	HD25175	10,460	8,034	10,500	3.44	3.83	3.59	-0.10	-0.51	-0.16	56.9	55.0	55.0
HIP19949	HD26764	10,123	8,215	9,825	3.57	3.39	3.67	-0.66	-0.65	-0.65	241.7	229.0	249.0
HIP20542	HD27819	8,056	7,957	8,050	4.18	3.96	4.11	0.44	-0.07	0.20	50.1	42.0	43.3
HIP20542	HD27819	7,799	7,957	7,800	3.67	3.96	3.70	0.13	-0.07	0.17	44.5	42.0	43.3
HIP20635	HD027934	7,737	8,105	7,800	3.35	3.81	3.40	0.35	-0.01	0.05	84.0	85.0	85.0
HIP20901	HD28355	7,170	7,705	7,592	3.95	4.00	3.97	0.23	0.30	0.20	89.9	105.0	90.0
HIP20901	HD028355	6,823	7,705	6,262	3.23	4.00	3.22	0.13	0.30	0.20	92.7	105.0	92.8
HIP21029	HD28527	7,466	8,086	7,700	3.58	3.91	3.69	0.09	0.13	0.10	66.1	86.0	70.0
HIP21589	HD29388	8,120	8,100	8,200	3.64	3.88	3.69	0.27	-0.05	0.13	81.3	86.8	80.0
HIP21683	HD029488	7,731	7,947	7,800	3.76	3.80	3.80	0.23	0.09	0.10	137.7	128.0	128.3
HIP21683	HD29488	7,687	7,947	7,614	3.46	3.80	3.67	0.02	0.09	0.09	141.9	128.0	128.3
HIP23497	HD32301	7,795	7,863	7,800	3.66	3.88	3.80	0.53	-0.01	0.15	130.4	124.5	131.0
HIP24340	HD33641	7,536	7,560	7,560	3.96	3.92	3.96	0.19	-0.03	0.12	94.8	84.5	92.0
HIP29997	HD042818	10,830	9,370	10,834	4.02	4.16	4.03	-0.57	0.30	0.30	265.6	255.0	260.0
HIP30060	HD043378	10,278	9,120	9,580	4.13	4.10	4.15	-0.12	-0.30	-0.10	45.3	45.5	45.0
HIP32104	HD48097	10,091	7,508	9,463	4.31	4.10	4.34	0.00	-0.10	-0.01	120.0	101.0	110.0
HIP32349	HD48915	9,554	9,900	9,580	4.14	4.35	4.20	0.45	0.33	0.50	18.9	16.0	18.0
HIP32921	HD49908	10,035	5,685	10,200	3.48	3.52	3.52	-0.34	-0.21	-0.3	154.2	117.0	140.0
HIP36145	HD58142	9,340	9,462	9,266	3.30	3.67	3.55	0.12	0.00	0.00	21.0	18.6	19.0
HIP41152	HD070313	8,747	8,038	8,720	4.05	4.00	4.03	0.46	-0.48	-0.01	119.1	112.0	114.0
HIP42028	HD72660	9,160	9,513	9,200	3.66	4.00	3.60	0.26	0.10	0.21	4.1	9.0	5.0
HIP4436	HD5448	8,163	7,118	8,222	4.29	3.81	4.20	0.24	-0.17	0.10	68.7	75.0	69.3
HIP45493	HD079439	6,751	7,630	7,450	4.09	4.04	4.10	-0.46	-0.04	-0.	175.4	159.0	159.0
HIP50448	HD88983	7,628	7,890	7,600	3.73	3.89	3.89	-0.19	-0.19	-0.18	126.1	114.0	133.0
HIP50933	HD89822	9,661	10,000	9,741	3.65	3.80	3.66	0.48	0.15	0.46	3.9	10.0	4.6
HIP51200	HD090470	8,241	7,845	8,337	4.01	4.20	4.20	0.06	-0.01	-0.01	125.2	90.0	110.0
HIP52422	HD092769	7,100	6,990	7,600	4.42	4.13	4.30	-0.48	-0.1	-0.60	223.7	207.0	212.0
HIP5310	HD006695	8,773	8,304	8,720	3.99	4.30	3.91	0.07	-0.20	-0.01	164.2	149.0	150.0
HIP53485	HD94766	7,927	7,908	7,917	4.56	4.06	4.21	0.12	-0.05	0.00	94.7	85.0	85.0

(Lanjutan)

Tabel A1: *Lanjutan*

HIP	HD	$T_{\text{eff}}$ (K)	$T_{\text{eff}}^c$ (K)	$T_{\text{eff}}^m$ (K)	$\log g$ (dex)	$\log g^{gc}$ (dex)	$\log g^m$ (dex)	$[M/H]$ (dex)	$[X/H]^c$ (dex)	$[M/H]^m$ (dex)	$v_e \sin i$ (km/s)	$v \sin^{ic}$ (km/s)	$v \sin^{im}$ (km/s)
HIP54326	HD96399	7,414	6,662	7,400	3.62	3.72	3.40	-0.39	-0.49	-0.40	78.0	70.0	70.0
HIP54425	HD96681	7,963	7,638	7,829	3.41	3.66	3.40	-0.03	-0.14	-0.01	79.1	80.0	80.0
HIP55263	HD98377	8,813	8,297	8,800	4.68	4.01	4.13	-0.11	-0.10	-0.10	55.3	50.0	50.0
HIP5542	HD6961	7,578	7,962	7,597	3.74	3.64	3.80	0.51	-0.20	0.11	103.3	103.0	103.0
HIP55488	HD98747	7,056	7,136	6,992	4.03	3.91	4.15	-0.47	-0.12	-0.20	39.0	35.0	35.0
HIP56429	HD100518	7,942	7,637	7,986	3.60	3.61	3.50	-0.13	-0.16	-0.02	8.2	11.2	8.0
HIP57743	HD102841	7,173	7,400	7,181	4.41	3.70	4.55	-0.28	-0.30	-0.30	123.5	90.0	90.0
HIP59923	HD106887	7,823	8,291	7,900	3.93	4.20	3.80	0.46	0.21	0.21	86.2	82.0	84.1
HIP59988	HD106999	8,109	6,519	8,116	4.14	4.07	4.12	0.05	-0.21	0.08	50.4	47.7	51.4
HIP60327	HD107655	9,153	8,607	9,281	3.78	4.00	3.97	0.79	-0.09	0.08	56.1	46.0	50.0
HIP62874	HD112002	8,045	7,716	8,000	4.15	3.99	4.00	0.11	-0.45	0.10	54.7	50.0	50.0
HIP65304	HD116379	7,993	5,848	8,000	3.82	4.25	3.80	0.08	-0.27	-0.02	89.2	80.0	80.0
HIP65466	HD116706	8,907	8,480	8,909	3.92	3.93	3.93	0.35	-0.20	-0.01	56.3	54.0	55.0
HIP6686	HD8538	7,945	7,980	7,980	3.72	3.61	3.73	0.01	-0.45	-0.11	127.6	110.0	123.0
HIP67004	HD119537	8,740	8,661	8,661	3.97	3.99	3.99	0.20	-0.44	0.03	17.9	13.5	16.4
HIP73156	HD132145	9,434	9,230	9,376	3.95	4.13	4.00	-0.24	0.00	0.00	15.3	15.0	15.0
HIP75043	HD136729	8,295	8,247	8,279	3.88	4.19	3.85	-0.33	0.09	-0.30	161.3	159.0	161.0
HIP76267	HD139006	10,635	9,515	10,900	3.82	3.86	3.82	-0.26	0.20	-0.01	142.5	133.5	139.0
HIP78554	HD143894	9,246	8,652	9,226	3.97	3.93	3.93	0.28	0.38	0.38	149.2	128.0	130.0
HIP79332	HD145647	9,674	7,645	9,560	3.93	3.41	3.95	-0.40	-0.30	-0.36	46.8	43.0	45.0
HIP84036	HD155375	8,704	8,477	8,700	4.49	4.06	4.08	0.40	0.20	0.22	28.1	27.9	28.0
HIP84821	HD157087	8,592	8,185	8,600	3.38	3.10	3.44	0.11	-0.05	0.00	8.9	15.0	12.0
HIP85666	HD158716	8,593	8,068	8,600	3.82	4.26	3.82	0.17	-0.13	0.00	5.1	15.0	6.0
HIP8903	-	8,107	8,352	8,061	3.88	3.94	3.90	0.34	0.08	0.16	70.8	71.6	71.6
HIP91262	HD172167	9,608	9,485	9,657	3.93	3.96	3.93	-0.51	-0.54	-0.50	23.2	23.0	23.0
HIP92396	HD174567	10,395	9,208	10,500	3.46	3.55	3.50	0.44	0.00	0.15	9.6	15.0	12.0
HIP93526	HD176984	9,876	8,723	9,880	3.40	3.47	3.44	-0.10	-0.14	0.00	28.9	24.2	30.0
HIP9480	HD012111	7,586	7,700	7,700	3.99	4.02	3.95	0.04	-0.31	-0.21	71.2	71.6	71.6
HIP97229	HD186689	7,466	7,906	7,700	4.01	4.21	4.21	-0.10	-0.04	-0.05	32.5	31.0	31.0
HIP9977	HD013041	8,420	8,216	8,309	3.72	3.86	3.77	-0.41	-0.45	-0.40	164.8	133.0	135.0
-	HD23924	7,826	7,782	7,850	3.94	4.00	3.94	0.35	0.01	0.38	36.0	44.8	33.0

Tabel A2: Nilai prediksi untuk  $T_{\text{eff}}$ ,  $\log g$ ,  $[M/H]$ , dan  $v_e$  di sini untuk bintang-bintang FGK dengan nilai tengah dan nilai terdekat dari katalog Vizieir

ID Bintang	$T_{\text{eff}}$ (K)	$T_{\text{eff}}^{\text{m}}$ (K)	$T_{\text{eff}}^{\text{m}}$ (K)	$\log g$ (dex)	$\log g^{\text{gc}}$ (dex)	$\log g^{\text{m}}$ (dex)	$[M/H]$ (dex)	$[X/H]^c$ (dex)	$[M/H]^m$ (dex)	$v_e \sin i$ (km/s)	$v \sin i^c$ (km/s)	$v \sin i^m$ (km/s)
HIP10138	5,194	5,188	5,195	4.91	4.56	4.91	0.01	-0.23	-0.09	7.0	2.3	3.9
HIP102422	4,937	4,971	4,940	2.54	3.40	2.99	0.30	-0.18	0.13	4.7	3.4	4.8
HIP105858	5,909	6,159	5,910	3.47	4.35	3.92	-1.10	-0.67	-0.84	24.0	3.7	10.0
HIP10644	5,871	5,702	5,845	3.92	4.29	3.92	-0.7	-0.43	-0.58	31.6	4.7	10.0
HIP10798	5,186	5,373	5,286	4.52	4.61	4.53	-0.84	-0.47	-0.80	8.8	2.7	3.6
HIP109176	6,664	6,479	6,693	3.72	4.23	4.02	-0.21	-0.10	-0.19	20.5	6.2	10.0
HIP110109	6,106	5,850	6,019	3.74	4.39	4.13	-0.70	-0.21	-0.44	8.3	2.0	2.7
HIP114622	4,755	4,829	4,749	2.12	4.50	2.59	0.92	0.05	0.20	9.0	2.0	8.0
HIP116771	6,273	6,186	6,279	3.58	4.12	3.75	-0.30	-0.14	-0.27	11.1	6.7	10.0
HIP12777	6,328	6,264	6,329	3.66	4.32	3.22	-0.16	-0.01	-0.1	12.6	8.9	10.2
HIP12843	5,523	6,371	6,144	3.74	4.29	4.00	0.15	0.05	0.15	25.0	25.6	25.0
HIP13402	5,171	5,180	5,170	4.54	4.56	4.55	0.62	0.08	0.21	9.9	4.9	10.0
HIP14632	6,340	5,963	6,045	3.61	4.16	3.35	0.66	0.09	0.29	8.5	4.3	10.0
HIP14879	6,160	6,170	6,165	3.50	3.95	3.57	-0.40	-0.21	-0.3	10.5	4.4	7.3
HIP15330	6,071	5,720	5,854	4.28	4.53	4.30	-0.84	-0.22	-0.34	12.2	2.7	3.0
HIP15371	6,155	5,866	6,066	3.96	4.48	4.22	-0.77	-0.23	-0.34	9.1	2.6	3.0
HIP15457	5,908	5,718	5,908	3.60	4.50	4.33	-0.16	0.06	-0.16	10.4	5.2	8.0
HIP15510	6,198	5,401	6,041	4.51	4.45	4.50	-0.52	-0.40	-0.49	7.0	1.5	4.0
HIP1599	6,234	5,957	6,151	3.70	4.42	4.02	-0.43	-0.19	-0.45	16.4	3.0	15.0
HIP16537	5,039	5,084	5,034	4.51	4.57	4.51	0.27	-0.11	0.06	16.9	2.5	15.0
HIP16852	6,183	5,997	6,200	3.47	4.09	3.85	-0.21	-0.09	-0.21	8.3	4.3	8.0
HIP171	5,853	5,438	5,798	4.40	4.38	4.40	-0.97	-0.79	-0.98	15.1	3.0	5.0
HIP17378	4,734	5,037	4,750	2.35	3.77	3.27	0.36	0.10	0.25	24.7	2.3	15.0
HIP17420	4,957	4,979	4,957	3.86	4.57	4.41	0.36	-0.11	0.10	9.4	3.0	5.7
HIP2021	6,042	5,848	5,924	3.42	3.95	3.45	0.00	-0.09	0.00	9.2	3.3	5.0
HIP22263	6,300	5,834	6,131	3.72	4.49	4.30	-0.48	0.01	-0.19	13.0	3.2	6.4
HIP22449	5,857	6,424	5,820	3.52	4.29	3.77	0.02	0.00	0.02	18.3	17.2	18.5
HIP23311	4,790	4,790	4,790	2.09	4.55	4.23	1.18	0.28	0.44	21.4	2.0	5.2
HIP23693	5,838	6,153	5,727	3.66	4.44	4.06	-0.32	-0.17	-0.34	17.7	15.4	17.3
HIP24813	6,167	5,858	5,979	3.67	4.20	3.98	0.51	0.05	0.26	3.7	2.0	3.1
HIP26779	5,301	5,243	5,300	4.27	4.50	4.26	0.49	0.09	0.21	15.5	2.5	5.4
HIP27072	6,381	6,306	6,384	3.64	4.31	3.99	-0.23	-0.05	-0.22	12.7	7.7	10.4
HIP27913	5,892	5,949	5,895	3.74	4.44	4.21	-0.40	-0.03	-0.18	13.0	8.9	10.7
HIP29271	5,628	5,569	5,621	3.70	4.43	4.20	0.77	0.10	0.25	18.4	1.8	2.3
HIP3093	5,018	5,221	5,024	4.11	4.49	4.15	0.51	0.15	0.26	7.6	1.2	8.0
HIP37279	6,770	6,596	6,775	3.47	4.00	3.74	-0.27	-0.01	-0.29	10.7	5.5	10.1
HIP37349	4,812	4,932	4,826	2.74	4.60	2.68	0.83	-0.01	0.09	6.6	3.8	5.6
HIP3765	5,024	4,978	5,020	4.82	4.61	4.82	0.06	-0.24	-0.04	9.7	2.0	6.3
HIP3821	6,022	5,925	6,034	3.65	4.40	4.00	-0.59	-0.28	-0.60	10.5	2.8	9.2
HIP40693	5,428	5,402	5,428	3.79	4.48	3.66	0.16	-0.03	0.14	9.0	2.0	6.7
HIP4148	4,688	4,952	4,822	3.50	4.61	4.49	0.32	-0.11	0.00	8.7	1.8	4.5
HIP41926	5,080	5,243	5,155	4.69	4.56	4.68	-0.73	-0.40	-0.48	8.8	2.7	6.8
HIP42438	5,765	5,876	5,759	3.66	4.47	4.40	-0.3	-0.06	-0.29	13.8	10.0	13.2
HIP42808	5,018	4,969	5,005	4.73	4.60	4.66	0.75	-0.03	0.10	8.9	3.8	9.6
HIP46853	6,217	6,336	6,225	3.29	3.87	3.50	-0.42	-0.16	-0.31	12.3	8.6	10.0
HIP51459	6,301	6,156	6,301	3.57	4.39	3.96	-0.32	-0.13	-0.28	9.3	4.3	10.0
HIP5336	5,335	5,316	5,336	4.49	4.49	4.49	-1.1	-0.83	-0.98	19.3	5.4	15.0
HIP53721	6,186	5,882	6,140	3.70	4.30	4.07	0.52	0.01	0.31	6.2	2.8	5.6
HIP544	5,546	5,481	5,551	3.44	4.55	3.99	0.64	0.12	0.22	8.9	4.1	6.2
HIP56452	5,128	5,158	5,129	4.80	4.56	4.68	-0.92	-0.38	-0.57	8.1	3.5	6.7
HIP56997	5,605	5,507	5,609	3.71	4.54	3.45	-0.48	-0.05	-0.50	33.5	2.4	15.0
HIP57443	5,982	5,629	5,970	4.21	4.44	4.21	-0.83	-0.29	-0.66	10.3	0.7	3.0
HIP57757	6,470	6,109	6,246	3.55	4.10	3.86	0.52	0.13	0.33	8.3	4.0	10.0
HIP58576	5,332	5,510	5,361	3.37	4.40	3.65	0.94	0.25	0.35	8.4	2.0	5.2

(Lanjutan)



Tabel A2: Lanjutan

ID Bintang	$T_{\text{eff}}$ (K)	$T_{\text{eff}}^c$ (K)	$T_{\text{eff}}^m$ (K)	$\log g$ (dex)	$\log g^{gc}$ (dex)	$\log g^{gm}$ (dex)	$[M/H]$ (dex)	$[X/H]^c$ (dex)	$[M/H]^m$ (dex)	$v_e \sin i$ (km/s)	$v \sin^{ic}$ (km/s)	$v \sin^{im}$ (km/s)
HIP61317	6,063	5,881	6,061	3.70	4.39	3.38	-0.56	-0.19	-0.39	2.1	2.8	2.1
HIP61941	5,502	6,875	5,433	3.64	4.26	3.88	-0.40	-0.09	-0.44	28.6	28.3	29.7
HIP64241	5,687	6,343	5,250	3.64	4.09	3.99	0.01	-0.23	0.0	20.9	19.9	20.5
HIP64394	6,517	6,009	6,225	3.72	4.40	4.24	0.06	0.04	0.06	10.7	4.4	10.0
HIP64924	5,660	5,558	5,660	3.75	4.40	3.50	-0.17	-0.01	-0.13	8.4	2.2	8.0
HIP67927	6,076	6,047	6,078	3.49	3.78	3.53	0.82	0.25	0.47	15.5	13.5	15.4
HIP68184	4,776	4,831	4,792	2.20	4.55	4.38	1.00	0.12	0.33	25.4	1.3	9.0
HIP71681	5,203	5,551	5,203	4.11	4.31	4.16	0.57	0.21	0.27	11.3	2.7	4.5
HIP72659	5,616	5,483	5,595	4.23	4.56	4.37	-0.67	-0.14	-0.83	15.7	4.6	16.0
HIP72848	5,290	5,260	5,291	4.10	4.53	4.11	0.60	0.08	0.14	9.5	4.5	6.3
HIP73695	6,160	5,495	6,200	3.78	4.23	4.10	-0.54	-0.30	-0.42	6.2	3.7	3.7
HIP7513	6,296	6,155	6,269	3.65	4.13	3.90	0.24	0.09	0.19	13.7	9.6	11.9
HIP77257	6,206	5,901	6,131	3.57	4.15	4.00	-0.06	-0.01	-0.05	8.3	3.1	10.0
HIP7751	4,969	5,043	4,970	4.58	4.63	4.61	-0.27	-0.20	-0.26	8.5	3.9	6.8
HIP77952	5,492	7,107	5,377	2.77	4.16	3.76	0.11	-0.2	-0.20	79.2	75.0	75.0
HIP78072	6,117	6,278	6,146	3.67	4.13	3.91	-0.36	-0.18	-0.32	13.9	10.0	11.9
HIP78775	5,321	5,294	5,321	4.72	4.58	4.71	-0.85	-0.67	-0.76	6.6	2.0	7.0
HIP7918	6,232	5,880	6,179	3.73	4.30	4.10	0.68	0.0	0.2	7.1	3.2	5.0
HIP79190	5,033	5,060	5,024	4.91	4.55	4.66	-0.18	-0.37	-0.21	8.7	1.6	5.0
HIP79672	6,213	5,799	6,053	3.71	4.43	4.16	-0.32	0.04	-0.29	8.3	2.5	8.3
HIP7981	5,154	5,201	5,155	3.34	4.50	3.25	0.13	-0.04	0.12	10.4	1.7	10.0
HIP80337	6,525	5,882	6,060	3.68	4.50	4.40	-0.30	0.03	-0.19	17.5	1.6	3.9
HIP80686	6,417	6,090	6,459	3.68	4.45	4.24	-0.30	-0.08	-0.19	10.8	3.2	3.3
HIP8102	5,456	5,330	5,459	4.57	4.51	4.57	-0.74	-0.52	-0.68	3.4	1.8	3.5
HIP81300	5,087	5,272	5,080	4.15	4.57	4.39	0.07	0.02	0.07	8.0	2.0	4.1
HIP81693	5,994	5,764	5,906	3.20	3.74	3.53	0.77	0.02	0.10	8.4	4.3	10.0
HIP8362	5,257	5,374	5,257	3.56	4.54	4.30	0.01	0.05	0.01	7.2	1.3	10.0
HIP84405	5,009	5,089	5,007	4.80	4.60	4.64	-0.48	-0.23	-0.38	7.7	2.5	5.1
HIP84720	5,285	5,209	5,273	4.76	4.53	4.61	-0.77	-0.34	-0.46	8.6	1.9	4.5
HIP84862	6,270	5,703	6,079	3.90	4.26	3.80	-0.70	-0.37	-0.79	2.9	1.7	3.0
HIP85235	5,072	5,290	5,194	4.61	4.57	4.61	-0.74	-0.44	-0.52	5.0	1.3	3.4
HIP86036	6,490	5,893	6,077	3.65	4.39	4.13	0.11	-0.03	0.08	13.5	4.5	6.0
HIP86400	4,863	4,883	4,864	2.24	4.52	4.30	0.50	-0.08	0.17	13.7	2.5	4.1
HIP86974	5,361	5,508	5,342	2.86	3.97	3.72	0.82	0.23	1.29	7.8	3.9	8.0
HIP88601	5,174	5,250	5,182	3.82	4.54	4.30	0.30	-0.01	0.19	11.0	3.5	13.0
HIP88972	5,034	5,000	5,035	4.78	4.50	4.74	0.37	-0.17	0.07	5.0	2.1	4.1
HIP91438	5,918	5,636	5,884	4.26	4.49	4.25	-0.90	-0.24	-0.3	34.1	2.8	4.0
HIP96100	5,261	5,271	5,260	4.47	4.55	4.49	-0.70	-0.22	-0.43	7.2	2.3	6.7
HIP97944	5,052	4,767	5,081	2.13	4.20	2.00	0.93	-0.03	0.38	33.7	2.0	10.2
HIP98036	5,082	5,100	5,082	2.60	3.55	3.04	0.13	-0.1	-0.04	6.6	2.5	4.6
HIP99461	4,949	4,971	4,952	4.80	4.55	4.73	-0.10	-0.51	-0.21	9.9	1.8	3.9
HIP99825	5,233	5,091	5,179	4.14	4.51	4.37	0.46	0.00	0.14	18.0	2.0	4.3