

Pengamatan Fotometri Bintang Variabel Periode Singkat: EH Librae

Sulthan Julieri Djumari¹, Hakim Luthfi Malasan^{1,2,4,5}, Ridlo Wahyudi Wibowo^{1,2,3,*}, Aditya Abdilah Yusuf², Adhitya Oktaviandra², Alka Budi Wahidin^{1,2,3}

¹Program Studi Sains Atmosfer dan Keplanetan, Fakultas Sains, Institut Teknologi Sumatera, Lampung

²Observatorium Astronomi ITERA Lampung (OAIL), Institut Teknologi Sumatera, Lampung

³Kelompok Keilmuan Sains Keplanetan, Institut Teknologi Sumatera, Lampung

⁴Kelompok Keilmuan Sistem Akuisisi dan Data Sains Dirgantara, Institut Teknologi Sumatera, Lampung

⁵Kelompok Keilmuan Astronomi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung, Jawa Barat

*E-mail korespondensi: ridlo.wibowo@sap.itera.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.20527/flux.v21i1.17865>

Submitted: 29th November, 2023; Accepted: 26th February, 2024

ABSTRAK- EH Librae [BD-00 2911; $\alpha_{J2000} = 14^h58^m55.92^s$; $\delta_{J2000} = -0^\circ56'53.01''$] merupakan bintang variabel berdenyut tipe δ Scuti yang terletak di rasi Libra dan memiliki periode 0,0884129 hari. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh dan menganalisis kurva cahaya, menurunkan nilai periode, dan menentukan parameter fisis EH Librae. Pengamatan dilakukan menggunakan ITERA Robotic Telescope 0,25m Ritchey-Cretien dengan CCD ATIK 383L+ pada pita BVR. Teknik fotometri bukaan digunakan untuk mengukur fluks dari EH Librae. Kurva cahaya dibangun menggunakan metode fotometri diferensial, dan penentuan nilai periode dilakukan dengan periodogram Lomb – Scargle. Data sekunder dari *Transiting Exoplanet Survey Satellite* (TESS) digunakan sebagai tambahan untuk menurunkan parameter fisis EH Librae. Hasil dari penelitian ini adalah kurva cahaya EH Librae pada pita BVR dengan nilai magnitudo $V = 9,506 - 10,071 \pm 0,002$. Dari indeks warna $(B - V) = 0,271$ diturunkan nilai temperatur efektif $T_{\text{eff}} = (7,7 \pm 0,4) \times 10^3$ K. Diagram O – C tidak menunjukkan perubahan nilai periode yang signifikan. Parameter fisis yang diturunkan yaitu $R = 2,12 R_{\odot}$; $M = 1,4 M_{\odot}$; dan $\log g = 3,93$ cgs melalui metode asteroseismologi dengan $\nu_{\text{max}} = 846 \mu\text{Hz}$ dan $\Delta\nu = 51,9 \mu\text{Hz}$.

KATA KUNCI: asteroseismologi; bintang variabel; delta scuti; EH librae; fotometri.

ABSTRACT- EH Librae [BD-00 2911; $\alpha_{J2000} = 14^h58^m55.92^s$; $\delta_{J2000} = -0^\circ56'53.01''$] is a pulsating variable δ Scuti stars which is located in the constellation of Libra and has a period of 0.0884129 days. The aim of this research is to obtain and analyze the light curve, deduce the period, and derive the physical parameters of EH Librae. Observations were made using the ITERA Robotic Telescope 0.25m Ritchey-Cretien with CCD ATIK 383L+ on the BVR band. Aperture photometry was performed to measure the flux of EH Librae. Light curve was constructed using the differential photometry method, and the determination of the period was carried out using the Lomb – Scargle method. Secondary data from the *Transiting Exoplanet Survey Satellite* (TESS) is used as an addition to derive the physical parameters of EH Librae. The results of this study are the light curve of EH Librae on the BVR band with Magnitude, $V = 9.506 - 10.071 \pm 0.002$. Using the index color $(B - V) = 0.271$, we derived the $T_{\text{eff}} = (7.7 \pm 0.4) \times 10^3$ K. O – C diagram shows no significant changes in the period. Derivation of physical parameters are $R = 2.12 R_{\odot}$; $M = 1.4 M_{\odot}$; and $\log g = 3.93$ cgs was carried out using asteroseismology method with $\nu_{\text{max}} = 846 \mu\text{Hz}$ and $\Delta\nu = 51.9 \mu\text{Hz}$.

KEYWORDS: asteroseismology; delta scuti; EH librae; photometry; variable star.

PENDAHULUAN

Bintang pada umumnya bersinar dengan cahaya yang konstan, tetapi banyak juga bintang yang berubah – ubah kecerlangannya. Bintang yang bervariasi kecerlangannya dikenal sebagai bintang variabel. Bintang variabel dapat dipelajari dengan mengukur perubahan kecerlangannya dari waktu ke waktu yang kemudian dijadikan sebuah grafik yang disebut sebagai kurva cahaya. GCVS (*General Catalogue of Variable Stars*) (Samus et al., 2017) mencatat lebih dari 50.000 bintang variabel, baik ekstrinsik maupun intrinsik, yang kemudian diklasifikasikan berdasarkan karakteristik fisisnya. Fotometri merupakan salah satu cabang dasar astronomi yang melibatkan pengukuran fluks yang dipancarkan oleh benda langit sebagai fungsi panjang gelombang. Pengamatan fotometri pada landas bumi sering dilakukan pada bintang variabel periode singkat karena pada umumnya pengamatan landas bumi hanya memiliki jendela pengamatan yang relatif singkat.

Bintang variabel tipe δ Scuti merupakan salah satu objek yang umum dipelajari dalam asteroseismologi. Bintang jenis ini diketahui menunjukkan beberapa jenis osilasi, seperti Osilasi Radial yang disebabkan oleh kontraksi dan ekspansi bintang secara radial, dan Osilasi Dipol yang disebabkan oleh belahan bintang yang berkontraksi dan mengembang secara bergantian. Melalui asteroseismologi, dapat diselidiki mode denyut bintang non-radial dan radial. Dalam osilasi bintang, eksplorasi teori tentang struktur, dinamika, dan evolusi bintang, serta menentukan fisis interior bintang dapat dilakukan (Chaplin & Miglio, 2013).

Bintang variabel periode singkat EH Librae atau EH Lib merupakan bintang variabel δ Scuti amplitudo tinggi (*High Amplitude δ Scuti*) yang memiliki perubahan magnitudo yang tinggi dengan magnitudo pada pita $V = 9,35 - 10,08$ dan kelas spektral A5 – F3 pada GCVS. (Joner, 1986) mengamati EH Librae dalam sistem standar fotometri *uvby*

dan menurunkan nilai periode $P_0 = 0,088413246$ hari. Bintang ini juga menjadi objek beberapa studi fotometri seperti yang dilakukan oleh (Broglia & Conconi, 1977), (Wilson, Milone, & Fry, 1993), dan (Pena et al., 2017).

Pengamatan fotometri bintang variabel EH Librae dilakukan pada pita *BVR*. Tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh dan menganalisis kurva cahaya, menurunkan nilai periode, dan menentukan parameter fisis EH Librae. Selain itu, melakukan analisis lebih lanjut dengan data dari *Transiting Exoplanet Survey Satellite* (TESS) untuk mendapatkan parameter fisis dengan menggunakan asteroseismologi seperti radius, massa, dan gravitasi permukaan.

Pengamatan bintang variabel EH Librae dilakukan pada 21 Maret, 10 April, dan 11 April 2023 di Observatorium Astronomi ITERA Lampung, menggunakan ITERA Robotic Telescope (IRT). IRT merupakan sebuah teleskop berdiameter 0,25 m ($f/8$) Ritchey-Cretien. Teleskop ini dilengkapi dengan CCD ATIK 383L+, pita *UBVRI*, teleskop pemandu dengan CMOS ZWO ASI 178MM, dan Pikulan ekuatorial Sky-Watcher EQ8-R Pro. Kombinasi ini memberikan medan pandang seluas $30,22' \times 23,22'$ dengan skala citra $0,55''/\text{piksel}$. Pengamatan dilakukan dengan bantuan perangkat lunak seperti NINA, Cartes du Ciel, dan PHD2 Guiding.

Akuisisi data melibatkan pengambilan data citra deret waktu dari objek penelitian. Pengamatan dilakukan pada pita *B*, *V*, dan *R*. Selain citra objek, citra kalibrasi seperti *bias*, *dark*, *flat - field*, dan *darkflat* juga diperoleh. Citra kalibrasi ini penting untuk reduksi berbagai derau dan artefak instrumen yang dapat mempengaruhi keakuratan data yang dikumpulkan selama proses pengambilan citra objek. Perangkat lunak AstroImageJ atau AIJ (Collins, Kielkopf, Stassun, & Hessman, 2017) digunakan untuk reduksi citra dan fotometri bukaan.

Fotometri bukaan dilakukan untuk menghitung fluks bintang target, bintang pembanding, dan bintang cek. Fotometri

bukaan mengumpulkan dan menjumlahkan *counts* yang teramati pada radius tertentu dengan sumber titik cahaya objek sebagai pusatnya. Untuk menentukan nilai dari radius serta cincin anulus, dibutuhkan analisis terhadap *Full – Width at Half Maximum* (FWHM) dari bintang. Cincin anulus hanya memuat langit latar belakang. Konsep dari fotometri bukaan adalah dengan menghitung intensitas bintang dan langit latar belakang yang berada di dalam cincin radius dan cincin anulus, nilai intensitas dari bintang kemudian dikurangi dengan nilai langit latar belakang. Intensitas bersih tersebut mewakili jumlah cahaya yang dipancarkan oleh bintang itu sendiri, tanpa derau dari langit ataupun polusi cahaya.

Setelah reduksi citra dan perhitungan fluks dilakukan, kurva cahaya bintang akan dikonstruksi. Selanjutnya, kurva cahaya akan dianalisis untuk menentukan nilai periode dan menurunkan parameter fisis bintang menggunakan bahasa pemrograman Python. Analisis periode dilakukan dengan metode Lomb – Scargle (Lomb, 1976) (Scargle, 1982). Periodogram Lomb – Scargle merupakan metode yang memungkinkan perhitungan daya spektrum seperti transformasi Fourier dari data deret waktu yang tidak merata, menghasilkan cara intuitif untuk menentukan periode osilasi. Lomb – Scargle dipilih karena kelebihan dari metode ini dalam menganalisis pada data deret waktu yang tidak merata, sehingga cocok digunakan pada pengamatan landas bumi yang memiliki batasan terhadap waktu pengamatan. Astropy (Astropy Collaboration, 2022) (Vanderplas, 2018) digunakan untuk perhitungan periodogram.

Dalam asteroseismologi, parameter utamanya yaitu separasi frekuensi ($\Delta\nu$), dan frekuensi maksimum dari osilasi (ν_{\max}) yang dapat diekstrak dari data dengan kualitas menengah. Jika estimasi nilai dari $\Delta\nu$ dan ν_{\max} didapatkan, bersamaan dengan estimasi dari temperatur efektif (T_{eff}), estimasi langsung dari radius (R), massa (M), dan gravitasi permukaan (g) dari bintang dapat diturunkan

(Chaplin & Miglio, 2013). Untuk mendapatkan ν_{\max} dan $\Delta\nu$, digunakan data fotometri dengan presisi tinggi yang disediakan oleh TESS, dan metode Lomb – Scargle digunakan untuk mengekstraksi periodogram.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan data dilakukan selama 3 malam, yaitu tanggal 21 Maret 2023, 10 April 2023, dan 11 April 2023. Total data yang berhasil diperoleh berjumlah 1062 citra EH Librae pada panjang gelombang B , V , dan R . Selain pengambilan citra objek, dilakukan pula pengambilan citra kalibrasi yang diperlukan untuk mereduksi berbagai derau yang dihasilkan selama pengambilan citra objek, yaitu citra *bias*, *dark*, *flat – field*, dan *darkflat*. Hal ini dilakukan untuk memperoleh citra objek yang telah bersih dari derau sehingga dapat dilakukan analisis lebih jauh dengan citra tersebut.

Dalam mengkonstruksi kurva cahaya, teknik fotometri diferensial digunakan. Pada dasarnya, fotometri diferensial melibatkan perhitungan fluks diferensial dari bintang target terhadap bintang pembanding. Kurva cahaya dikonstruksi dengan membuat grafik magnitudo diferensial sebagai fungsi waktu. BD-00 2909 [α (J2000.0) = $14^{\text{h}} 58^{\text{m}} 34,21^{\text{s}}$, δ (J2000.0) = $-00^{\circ} 51' 22,38''$] dipilih sebagai bintang pembanding karena terletak relatif dekat dengan bintang target pada citra, dan memiliki kelas spektral yang hampir sama dengan EH Librae (kelas spektral F5). Bintang ini juga digunakan sebagai bintang pembanding pada penelitian terdahulu (Broglia & Conconi, 1977). BD-00 2910 [α (J2000.0) = $14^{\text{h}} 58^{\text{m}} 39,79^{\text{s}}$, δ (J2000.0) = $-01^{\circ} 01' 17,62''$] dipilih sebagai bintang cek untuk pengecekan non-variabilitas bintang pembanding yang digunakan. Nilai magnitudo dalam sistem standar fotometri BVR dapat diturunkan melalui metode berikut. Pertama, koefisien ekstingsi dapat diabaikan karena bintang target dan bintang pembanding terletak pada bagian langit yang sama, sehingga massa udara dari kedua bintang bernilai relatif sama. Kedua, jika bintang target dan bintang pembanding memiliki indeks warna yang serupa, maka

koefisien warna dapat disederhanakan. Dengan memastikan kondisi tersebut terpenuhi, selisih magnitudo instrumen antara bintang target dan bintang pembanding memiliki nilai yang sama dengan selisih magnitudo tampak kedua objek tersebut. Hal ini memungkinkan untuk perhitungan yang akurat pada penurunan nilai kecerlangan bintang menggunakan pendekatan fotometri diferensial. Tabel 1 menyajikan nilai magnitudo dalam pita *BVR* yang diturunkan dari hasil observasi. Galat magnitudo dihitung dari hubungan antara rasio sinyal dan derau dari pengamatan (Castro et al., 2020). Nilai magnitudo yang diturunkan tidak memiliki perbedaan yang signifikan ketika dibandingkan dengan nilai yang diturunkan oleh (Broglia & Conconi, 1977) yaitu Magnitudo $V = 9,55 - 10,08$.

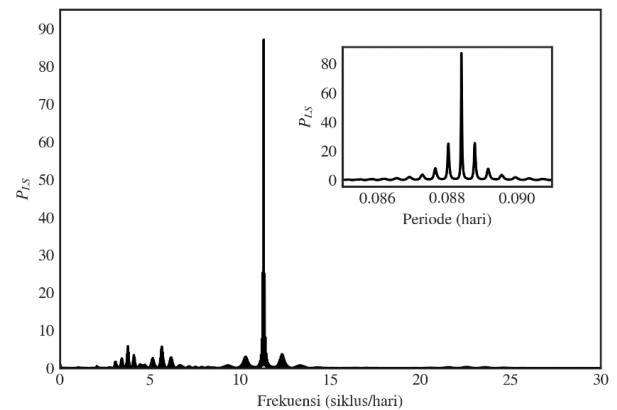
Tabel 1 Magnitudo EH Librae pada pita *BVR*.

Pita	Maksimum	Minimum	Galat
<i>Blue</i>	9,724	10,415	0,002
<i>Visual</i>	9,506	10,071	0,002
<i>Red</i>	9,531	10,008	0,002

EH librae terletak pada lintang tinggi galaktika ($b = 48^\circ$), *reddening* antar – bintang dapat dikalibrasi dengan cukup sederhana. (Kahraman Alicavus et al., 2017) menurunkan nilai $E_{(B-V)} = 0,02$ mag, sehingga indeks warna EH Librae yang diturunkan yaitu $(B - V) = 0,271 \pm 0,003$ dan $(V - R) = 0,048 \pm 0,003$ yang menandakan bahwa EH Librae memiliki kelas spektral A8. Dengan menggunakan hubungan antara indeks warna $(B - V)$ dan temperatur efektif, nilai temperatur efektif dapat diturunkan menggunakan metode oleh (Ballesteros, 2012), dihasilkan nilai $T_{\text{eff}} = (7,7 \pm 0,4) \times 10^3$ K. Galat yang diturunkan berasal dari standar deviasi pada setiap titik data sepanjang siklus. Penelitian oleh (Pena et al., 2017) menurunkan nilai temperatur efektif EH Librae sebesar $T_{\text{eff}} = (7,5 \pm 0,3) \times 10^3$ K.

Analisis periodogram Lomb – Scargle dilakukan untuk menurunkan nilai periode yang didapatkan dari pengamatan yang telah dilaksanakan. Data yang digunakan adalah nilai magnitudo EH Librae pada pita *V*. Kurva cahaya dibangun dengan memplot nilai

magnitudo sebagai fungsi waktu dalam *Heliocentric Julian Date* (HJD). Hasil dari perhitungan periodogram tersebut adalah $P = 0,0884129$ hari dan $f = 11,3105699$ siklus/hari, dan disajikan pada Gambar 1. Dapat dilihat bahwa tidak ada perubahan yang signifikan pada nilai periodisitas EH Librae jika dibandingkan dengan penelitian oleh (Joner, 1986) yang menurunkan nilai periode EH Librae yaitu sebesar $P = 0,088413246$ hari.



Gambar 1 Analisis periodogram EH Librae

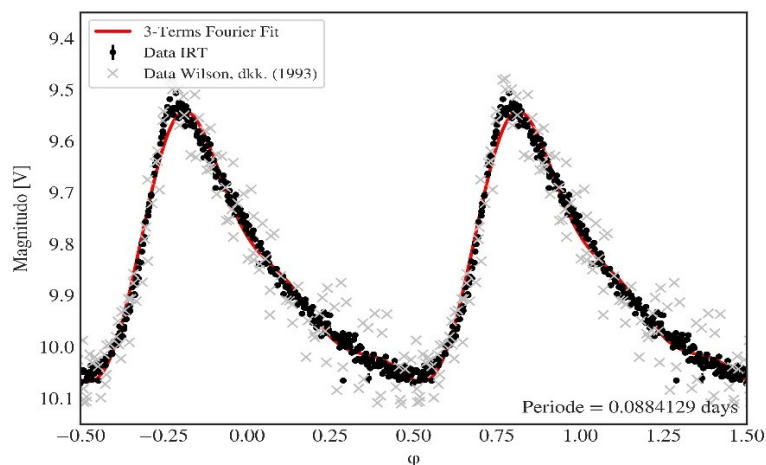
Setelah menurunkan nilai magnitudo EH Librae dalam sistem standar fotometri pada pita *V*, kemudian diplot sebagai fungsi waktu yang telah dilipat sebesar nilai periode yang didapatkan dari analisis periodogram Lomb – Scargle. Didapatkan sebuah kurva cahaya untuk EH Librae Gambar 2 Kurva cahaya EH Librae dengan sumbu horizontal menunjukkan fase periodisitas EH Librae yang didapatkan dengan waktu pengamatan yang dilipat terhadap nilai periode EH Librae, dan sumbu vertikal sebagai magnitudo *V*. Garis merah merupakan model *fitting* yang dibangun dengan metode Lomb – Scargle. Kurva cahaya yang didapatkan oleh (Wilson, Milone, & Fry, 1993) juga dibuat dalam satu grafik dengan kurva cahaya yang didapatkan dari penelitian ini. Pada grafik tersebut, terlihat bahwa data yang diakuisisi oleh penelitian ini tidak memiliki perbedaan yang signifikan dengan hasil penelitian terdahulu.

Sebuah diagram *O-C* (*observed-calculated*) dibangun dengan memplot kuantitas *O - C* sebagai fungsi waktu. Nilai *O - C* mewakili selisih antara waktu pengamatan peristiwa tertentu (misalnya gerhana, maksimum, atau

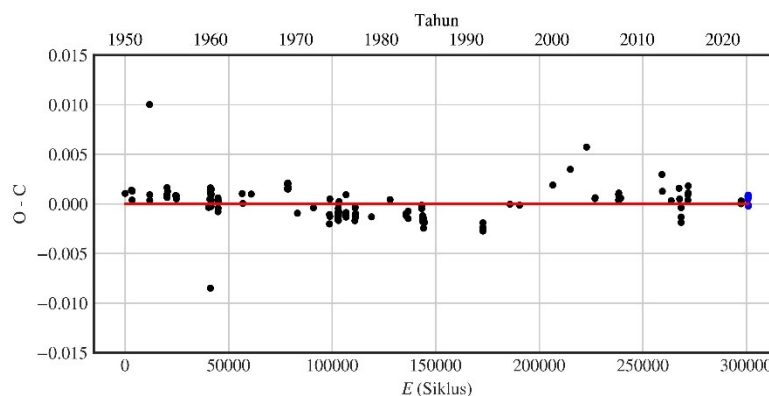
minimum) dan waktu yang dihitung atau diprediksi berdasarkan periodisitas yang diperoleh dari analisis sebelumnya (Sterken, 2005). Data yang digunakan dalam membuat diagram $O - C$ adalah data waktu maksimum (*Time of maxima*) dari kecerlangan objek yang diamati oleh penelitian terdahulu dan pengamatan mandiri yang dilakukan pada penelitian ini. Waktu maksimum tersebut diambil dari tahun 1950 sejak *epoch* (waktu maksimum pertama yang diamati) hingga tahun 2023. Data tersebut kemudian dibuat

grafik waktu maksimum pengamatan terhadap siklus E . Grafik tersebut disajikan dalam Gambar 3. Waktu maksimum pengamatan terhadap siklus EH Librae, dengan titik biru menandai data dari pengamatan mandiri. Dengan menggunakan metode regresi linear, diturunkan persamaan ephemeris baru EH Librae, yaitu Pers. 1.

$$\text{HJD}_{\text{max}} = 2433438,6065 + 0,0884132629 \times E \quad (1)$$



Gambar 2 Kurva cahaya EH Librae

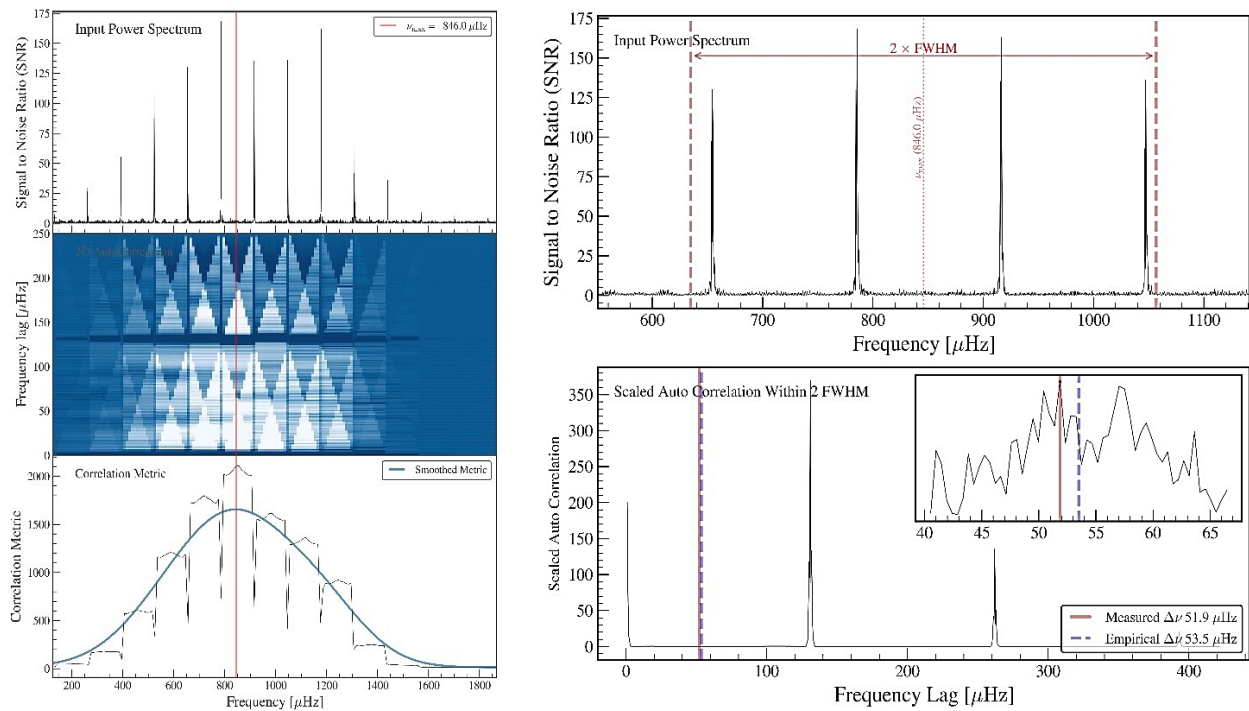


Gambar 3 Diagram $O - C$ EH Librae

Berdasarkan hasil analisis regresi linear diperoleh garis lurus terhadap siklus variabilitas EH Librae. Hal ini menyiratkan bahwa tidak ada perubahan nilai periode yang signifikan dari EH Librae pada tahun 1950 hingga tahun 2023. Nilai $O - C$ saat pengamatan yang didapatkan adalah 0,0008; 0,0005; 0,0006; 0,0009; -0,0001; 0,0006; -0,0002; dan 0,0007 hari.

Dalam analisis asteroseismologi, digunakan data kurva cahaya yang diakuisisi

oleh *Transiting Exoplanet Survey Satellite* (TESS). Kurva cahaya tersebut dibangun dari nilai fluks dan waktu pengamatan. Data yang digunakan adalah data TESS yang diunduh dengan bantuan pustaka Light Kurve (Lightkurve Collaboration, 2018) di Python. Gambar 4 menunjukkan periodogram yang dihitung menggunakan metode Lomb - Scargle. Estimasi frekuensi osilasi maksimum memberikan hasil perhitungan ν_{max} dan estimasi separasi frekuensi yang memberikan



Gambar 4 Estimasi Frekuensi Maksimum dan Separasi Frekuensi EH Librae

hasil perhitungan $\Delta\nu$. Nilai ν_{\max} dan $\Delta\nu$ yang diturunkan untuk EH Librae secara berurutan adalah 846 μHz dan 51,9 μHz . Bersamaan dengan nilai temperatur efektif EH Librae, nilai $\nu_{\max,\odot} = 3.090 \mu\text{Hz}$, $\Delta\nu_{\odot} = 135,1 \mu\text{Hz}$ (Huber et al., 2010), dan nilai T_{eff} Matahari = 5.777,2 K (Prša et al., 2016), estimasi parameter fisis seperti radius, massa, dan gravitasi permukaan EH Librae dapat diturunkan dari persamaan hubungan penskalaan oleh (Chaplin & Miglio, 2013). Nilai yang diturunkan adalah $R = 2,12 R_{\odot}$; $M = 1,4 M_{\odot}$; dan $\log g = 3,93$ cgs. Jika dibandingkan dengan penelitian oleh (McNamara, 2000) yang menurunkan parameter fisis EH Librae yaitu $R = 2.24 R_{\odot}$; $M = 1,53 M_{\odot}$; dan $\log g = 4,04$ cgs. Nilai yang diturunkan memiliki nilai yang serupa dengan yang diturunkan pada penelitian ini.

KESIMPULAN

Pengamatan fotometri bintang variabel EH Librae dilakukan menggunakan ITERA Robotic Telescope (IRT) pada pita B , V , dan R , delapan waktu kecerlangan maksimum berhasil diamati. Analisis kurva cahaya yang diperoleh dilakukan menggunakan metode fotometri diferensial, sehingga nilai indeks warna ($B - V$) dan ($V - R$) diturunkan. Nilai periode EH Librae ditentukan dengan metode

Lomb–Scargle, serta nilai $O-C$ yang didapatkan selama pengamatan tidak menunjukkan perubahan yang signifikan dalam periodisitasnya. Parameter fisis dari bintang seperti radius, massa, dan gravitasi permukaan diturunkan dengan metode asteroseismologi. Hasil tersebut memberikan informasi penting terkait karakteristik EH Librae yang membantu memahami perilaku bintang ini.

Data deret waktu yang lebih panjang dan lebih presisi sangat diperlukan dalam menganalisis lebih jauh perilaku EH Librae. Hal ini juga berlaku dalam pengamatan objek langit lainnya seperti bintang variabel berdenyut, bintang variabel gerhana biner, dan kejadian transit eksoplanet. Dalam menganalisis periodogram, diperlukan data deret waktu dari pengamatan mandiri yang panjang, memiliki rasio sinyal–derau yang tinggi, dan menghindari fase Bulan purnama. Data yang lebih panjang dan presisi dapat menghasilkan periodogram yang lebih akurat dan derau yang lebih rendah. Penelitian fotometri dan spektroskopi di masa mendatang sangat penting untuk dilakukan untuk mempelajari sifat dan properti dari bintang ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Hendra A. Prastyo dan Achmad Z. Rozzykin atas masukannya terhadap penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada peneliti terdahulu yang menyediakan data untuk kepentingan studi ini. Penelitian kami didukung oleh hibah penelitian ITERA No: B/763r/IT9.C1/PT.01.03/2022.

DAFTAR PUSTAKA

- Astropy Collaboration. (2022). The Astropy Project: Sustaining and Growing a Community-oriented Open-source Project and the Latest Major Release (v5.0) of the Core Package. *The Astrophysical Journal*, 935, 20.
- Ballesteros, F. J. (2012). New Insights Into Black Bodies. *Europhysics Letters Association*, 97(3).
- Brogli, P., & Conconi, P. (1977). Photometry of the Dwarf Cepheid EH Librae. *Astronomy & Astrophysics Supplement Series*, 29, 321.
- Castro, P. J., Payne, T. E., Frey, V. C., Kinatader, K. K., & Godar, T. J. (2020). Calculating Photometric Uncertainty. *Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technologies Conference (AMOS)*. Maui.
- Chaplin, W. J., & Miglio, A. (2013). Asteroseismology of Solar-Type and Red-Giant Stars. *Astronomy and Astrophysics*, 51.
- Collins, K. A., Kielkopf, J. F., Stassun, K. G., & Hessman, F. V. (2017). Astroimagej: Image Processing And Photometric Extraction For Ultra-Precise Astronomical Light Curves. *The Astronomical Journal*, 153, 77.
- Huber, D., Bedding, T. R., Stello, D., Mosser, B., Mathur, S., Kallinger, T., Koch, D. (2010). Asteroseismology of Red Giants from the First Four Months of Kepler Data: Global Oscillation Parameters for 800 Stars. *The Astrophysical Journal*, 723, 1607.
- Joner, M. D. (1986). The Nature of the Dwarf Cepheid EH Librae. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 98, 651-657.
- Kahraman Alicavus, F., Niemczura, E., Polinska, M., Helminiak, K. G., Lampens, P., Molenda-Zakowicz, J., Kambe, E. (2017). High-Resolution Spectroscopy and Abundance Analysis of δ Scuti Stars Near the γ Doradus Instability Strip. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 470, 4408.
- Lightkurve Collaboration. (2018). Lightkurve: Kepler and TESS Time Series Analysis in Python. *Astrophysics Source Code Library*.
- Lomb, N. R. (1976). Least-Squares Frequency Analysis of Unequally Spaced Data. *Astrophysics and Space Science*, 39, 447-462.
- McNamara, D. H. (2000). The High Amplitude Delta Scuti Stars. *ASP Conference Series*. Vienna.
- Pena, J. H., Villareal, C., Pina, D. S., Renteria, A., Soni, A., Guillen, J., & Calderon, J. (2017). Secular Variation and Physical Characteristics Determination of the HADS Star EH Lib. *Information Bulletin On Variable Stars*, 63, 1.
- Prša, A., Harmanec, P., Torres, G., Mamajek, E., Asplund, M., Capitaine, N., . . . Stewart, S. G. (2016). Nominal Values for Selected Solar and Planetary Quantities: IAU 2015 Resolution B3. *The Astronomical Journal*, 152, 7.
- Samus, N., Kazarovets, E. V., Durlevich, O. V., Kireeva, N., & Pastukhova, E. N. (2017). General Catalogue of Variable Stars: Version GCVS 5.1. *Astronomy Reports*, 61, 80 - 88.
- Scargle, J. D. (1982). Studies in Astronomical Time Series Analysis. II. Statistical Aspects of Spectral Analysis of Unevenly Spaced Data. *Astrophysical Journal*, 263, 835-853.
- Sterken, C. (2005). The O - C Diagram: Basic Procedures. *The Light-Time Effect in Astrophysics: ASP Conferences Series*.

Brussels.

Vanderplas, J. T. (2018). Understanding the Lomb-Scargle Periodogram. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 236, 28.

Wilson, W. J., Milone, E. F., & Fry, D. J. (1993). Studies of Large-Amplitude Delta Scuti Variables. I. A Case Study of EH Librae. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 105, 809.