

DOI: doi.org/10.21009/03.SNF2018.02.PA.09

# STUDI SPEKTROSKOPI PADA GARIS EMISI BETA LYRAE

Robiatul Muztaba<sup>1, a)</sup>, Aprilia<sup>2</sup>, Hakim L. Malasan<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Program Studi Sains Atmosfer dan Keplanetan, Observatorium Astronomi Lampung, Institut Teknologi Sumatera, Jalan Terusan Ryacudu, Desa Way Hui, Kecamatan Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung 35365.*

<sup>2</sup>*Program Studi Astronomi, Observatorium Bosscha, Institut Teknologi Bandung, Jl. Tamansari No. 64 Kelurahan Tamansari, Kecamatan Bandung Wetan, Kota Bandung, Jawa Barat 40116.*

Email: <sup>a)</sup>[robiatul.muztaba@aps.itera.ac.id](mailto:robiatul.muztaba@aps.itera.ac.id)

## Abstrak

Telah dilakukan studi mengenai pembentukan garis emisi pada Beta Lyrae. Beta Lyrae menjadi objek penelitian yang menarik selama 200 tahun terakhir dari berbagai metode pengamatan sinar-X, UV, optic, radio, dan inframerah. Kami memaparkan hasil pengamatan spektroskopi Beta Lyrae menggunakan spektrograf NEO R-1000 yang dipasang pada teleskop C-11 di Observatorium Bosscha. Pengamatan dilakukan selama bulan Agustus hingga September pada tahun 2015. Hasil pengamatan spektroskopi Beta Lyrae juga dibandingkan dengan data dari BeSS untuk melihat variasi perubahan spektrumnya terhadap waktu. Kemunculan profil garis invers P-Cygni pada panjang gelombang He I 5876 menjadi salah satu kasus yang menarik pada Beta Lyrae. Kami menduga bahwa profil invers P-Cygni dalam tahap evolusi spektrum sebelumnya berupa profil P-Cygni. Perubahan spektrum profil P-Cygni menjadi invers P-Cygni mengindikasikan bahwa keadaan lapisan gas terluar yang tidak stabil secara dinamik akibat proses transfer massa atau terjadi perubahan kecepatan rotasi yang berdampak pada perubahan laju kehilangan massa. Selain itu, juga terdapat fitur garis emisi yang kuat di panjang gelombang H $\alpha$   $\lambda$  6563. Puncak profil garis H $\alpha$  tersebut mengalami pergeseran panjang gelombang. Pergeseran garis dapat mengindikasikan adanya efek tekanan atau akibat dari ejeksi lapisan bintang.

**Kata-kata kunci:** Beta Lyrae, Garis Emisi, Spektroskopi, P-Cygni.

## Abstract

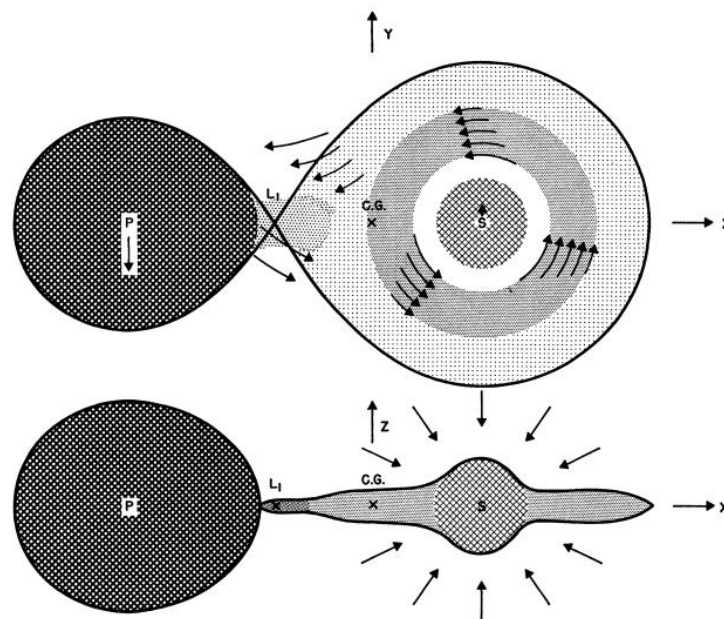
A study has been conducted on the formation of an emission line in Beta Lyrae. Beta Lyrae has been a fascinating object of research over the past 200 years from various observational methods such as X-ray, UV, optic, radio, and infrared. We presented Beta Lyrae spectroscopic observations using the NEO R-1000 spectrograph mounted on the C-11 telescope at the Bosscha Observatory. Observations were made during August to September in 2015. The results of spectroscopic observations of Beta Lyrae is also compared with data from Bess to see the variation of the spectrum changes over time. The appearance of the P-Cygni inverse line profile at He I 5876 wavelength became one of the interesting cases on Beta Lyrae. We suspect that P-Cygni's inverse profile in the previous spectrum evolution stage is a P-Cygni profile. Changing the P-Cygni profile spectrum to P-Cygni inverse indicates that the state of the outermost layer of the unstable gas dynamically due to mass transfer or rotational velocity changes affecting the change in mass loss rate. In addition, there is also a feature of a strong emission line at the wavelength of H $\alpha$   $\lambda$  6563. The peak profile of the H $\alpha$  line undergoes a wavelength shift. The shift line may indicate the effect of pressure or as a result of ejection layers of the star.

**Keywords:** Beta Lyrae, Emission Line, Spectroscopy, P-Cygni.

## PENDAHULUAN

Beta Lyrae pertama kali ditemukan pada tahun 1789 oleh J. Goodricke. Beta Lyrae menjadi objek penelitian yang menarik selama 200 tahun terakhir dari berbagai metode pengamatan sinar-X, UV, optik, radio dan inframerah. Beta Lyrae termasuk kelompok bintang ganda gerhana. Sistem Beta Lyrae memiliki komponen bintang pasangannya yang lebih besar daripada bintang primernya [1,2]. Sistem tersebut mirip dengan sistem bintang ganda tipe Algol.

Sistem Beta Lyrae terdiri dari bintang primer yang memiliki kelas spektrum B6-8II dan bintang pasangannya yang memiliki kelas spektrum B0V [3,4]. Bintang Primer pada sistem Beta Lyrae memiliki massa sebesar  $5,967 \times 10^{33}$  g ( $3M_{\odot}$ ) dan massa bintang pasangannya sebesar  $2,5857 \times 10^{34}$  g ( $13M_{\odot}$ ) [5]. Bintang primer pada sistem Beta Lyrae telah mengisi seluruh selubung ekuipotensial Rochenya, sedangkan bintang pasangannya memiliki massa yang lebih besar, sama seperti bintang primer pada tipe Algol. Salah satu model sistem Beta Lyrae dapat diilustrasikan seperti yang terlihat pada GAMBAR 1 [6]. Bintang sekunder memiliki massa lebih besar daripada bintang primernya. Sudut inklinasi pada sistem tersebut tidak sepenuhnya  $90^{\circ}$ . Oleh sebab itu, permukaan piringan yang terproyeksi bola langit menjadi daerah signifikan yang teramati dari Bumi. Piringan rotasi pada sistem Beta Lyrae mirip seperti cincin namun memiliki kerapatan dan kededapan yang tinggi. Disini kami melakukan studi literatur mengenai pembentukan piringan yang diduga merupakan sumber munculnya garis-garis emisi pada Beta Lyrae. Selain itu, kami juga menganalisis hasil pengamatan spektroskopi yang dilakukan di Observatorium Bosscha dan data spektroskopi yang tersedia di Database of Be Star Spectra (BeSS) (<http://basebe.obspm.fr/basebe/>).

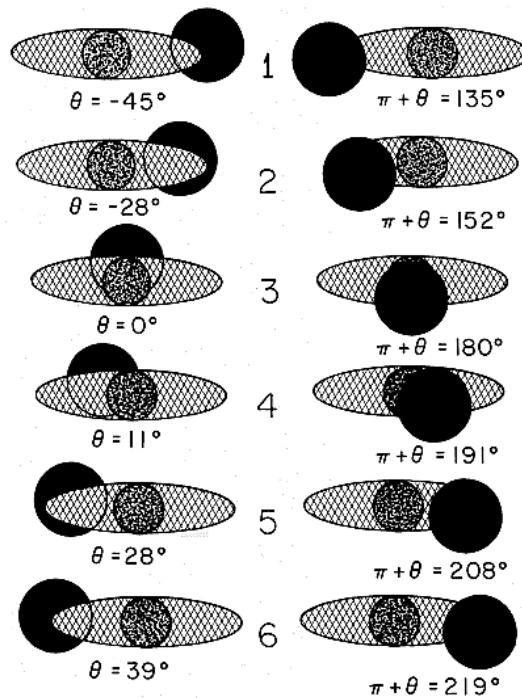


**GAMBAR 1.** Model sistem Beta Lyrae yang memiliki inklinasi tidak sepenuhnya  $90^{\circ}$  terhadap bidang orbit P dan S berturut-turut sebagai bintang primer dan sekunder. Atas: Model pole-on. Bawah: Model edge-on [6]

## KAJIAN PUSTAKA

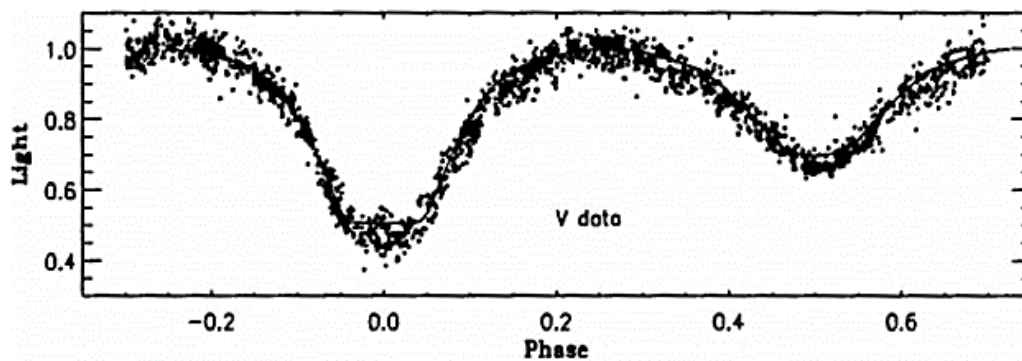
### Beta lyrae sebagai bintang ganda gerhana

Bintang berpasangan dibagi menjadi sistem bintang yang terdiri dari dua atau lebih bintang yang saling mengitari pusat massa sistem akibat gravitasi keduanya (7). Sistem bintang yang terdiri dari dua bintang disebut sebagai bintang ganda. Bintang ganda gerhana itu sendiri merupakan suatu fenomena bintang ganda yang memiliki orientasi orbit dengan sudut inklinasi ( $\theta$ ) tertentu terhadap arah pandang pengamat seperti yang ditunjukkan oleh GAMBAR 2.



GAMBAR 2. Skema ilustrasi area yang terproyeksi bola langit untuk masing-masing fenomena gerhana oleh bintang primer, dan sekunder. (7).

Beberapa fitur yang menarik pada kurva cahaya Beta Lyrae saat gerhana : Pertama, penurunan kurva cahaya lebih curam daripada saat peningkatan. Hal ini disebabkan karena material gas mengalir keluar dari bintang primernya. Material gas yang keluar tersebut memiliki peran penting dalam pembentukan piringan pada bintang sekunder. Kedua, adanya variasi kurva cahaya. Penurunan kurva cahaya bervariasi antara 0,8 – 11 magnitudo pada cahaya biru, dan terkadang tidak didapati adanya variasi kurva cahaya. Fenomena variasi kurva cahaya dapat bergantung pada periode sistem suatu bintang ganda. Jika sistem tersebut memiliki periode yang pendek, maka tidak akan terjadi variasi kurva cahaya. Sebaliknya, jika sistem tersebut memiliki periode yang panjang, maka akan terjadi variasi kurva cahaya. Pada jangka waktu yang panjang suatu sistem bintang ganda akan mengalami perubahan periode yang cukup besar seperti 44 i Boö, VW Cep, SW Lac, dan AB And. Perubahan periode dan kurva cahaya suatu sistem bintang ganda terjadi secara mendadak dan tidak teratur. Beta Lyrae memiliki periode orbit sebesar 12,93 hari selama mengelilingi pusat massa sistem. Selain itu juga terjadi peningkatan periode orbit secara konstan sebesar 19 detik setiap tahunnya [8].

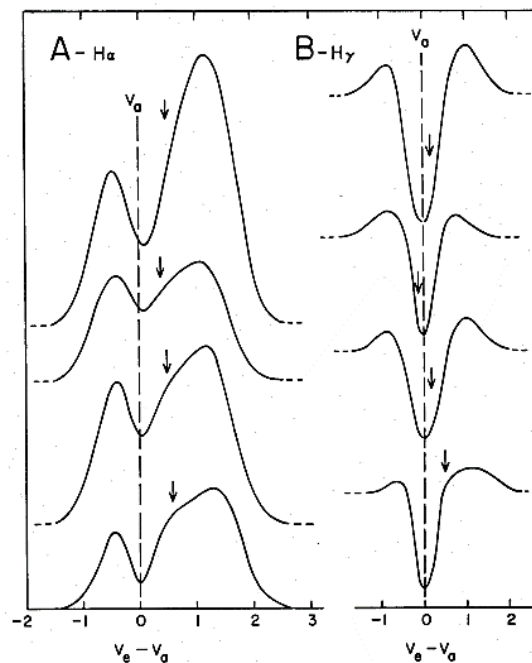


GAMBAR 3. Kurva cahaya pada Beta Lyrae [9].

### Pembentukan Garis Emisi $H\alpha$ dan $H\beta$ Beta Lyrae

Dari hasil studi spektroskopi dapat dijelaskan keberadaan piringan pada bintang B-emisi (Be) dengan mudah yaitu adanya garis pergeseran ungu yang diamati selama fenomena gerhana menunjukkan terjadinya pelontaran material gas dari bintang primernya. Garis pergeseran ungu yang teramati berasal dari piringan ketika sudut inklinasi terhadap bidang orbit tidak  $90^\circ$ . Fenomena garis spektrum pada sistem Beta Lyrae bergantung pada keadaan piringan rotasi di sekitar daerah bintang sekundernya. Kerapatan material di bidang ekuator menurun dengan cepat pada kedua sisi piringan dan terlontar keluar menjauhi bidang tetapi akan membuat volumenya semakin besar. Keadaan ini bisa dijelaskan ketika bintang sekundernya memiliki rotasi yang sangat cepat. Saat diamati dari Bumi, terlihat proyeksi piringan yang kedap. Temperatur bintang akan lebih rendah daripada kelas spektrum B8 pada umumnya. Selain itu, kehadiran garis-garis emisi juga berasal dari material yang mengisi seluruh volum bintangnya [10,11].

Kemunculan garis emisi  $H\alpha$  dapat dijelaskan dengan sederhana jika aliran gas disekitar bintang sekunder tidak berotasi, namun sistem tersebut berotasi dan mengembang. Kecepatan pengembangan menghasilkan garis absorpsi pergeseran ungu. Jika terdapat absorpsi pergeseran ungu, maka puncak dari emisi ungu mengalami gangguan lebih besar oleh absorpsi daripada puncak emisi merah.



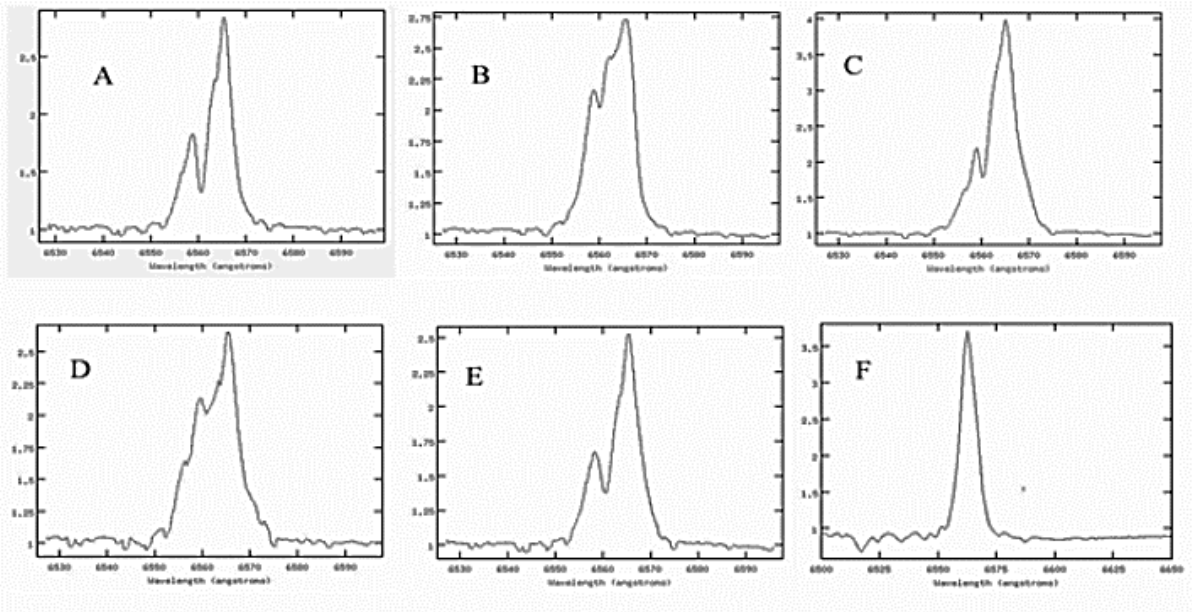
GAMBAR 4. Model perubahan fase ( $v_e - v_a$ ) pada garis  $H\alpha$  dan  $H\gamma$  [12].

Seperti yang terlihat pada GAMBAR 4 nilai tengah dari absorpsi mengalami pergeseran dari nilai awalnya disebabkan karena adanya puncak emisi (khususnya ungu) yang juga bergeser karena absorpsi. Dari hasil pengamatan pergeseran rata-rata dari kedua puncak emisi mencapai 280 km/s dari nilai awalnya 140 km/s sebagai  $v_0$  [12].

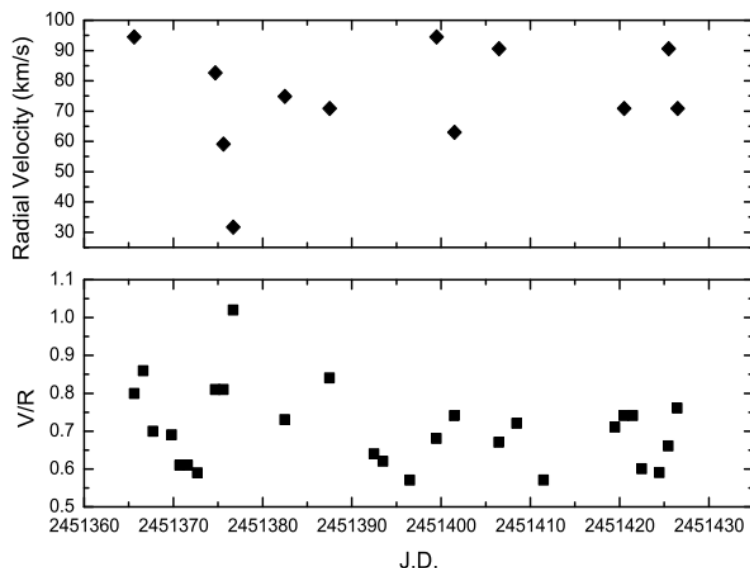
Sejak parameter kecepatan yang didapatkan dari garis emisi berbagai bintang diperoleh hubungan empirik yang menjelaskan bahwa parameter kecepatan dianggap sebagai kecepatan rotasi suatu gas yang membentuk cincin di sekitar salah satu sistem bintang ganda (salah satu bintang memiliki massa yang lebih besar) [13]. Fakta ini mendukung hipotesis kemunculan garis emisi Beta Lyrae yang berasal dari gas cincin di sekitar bintang sekundernya yang memiliki massa yang lebih [14,15]. Sejak diketahui adanya efek polarisasi pada Beta Lyrae yang disebabkan oleh hamburan elektron, radiasi yang dipancarkan ke luar selubung akan mengalami efek hamburan, akibatnya terjadi polarisasi [16]. Dari hasil pengamatan *narrow-band polarimetric* pada Beta Lyrae digaris  $H\alpha$  dan  $H\beta$ . Presentase polarisasi pada garis  $H\alpha$  lebih kecil daripada kontinum disekitarnya. Presentase polarisasi pada garis

H $\beta$  juga lebih kecil daripada kontinum disekitarnya, tetapi tidak lebih kecil daripada H $\alpha$ . Garis H $\alpha$  tidak terjadi polarisasi, sedangkan garis H $\beta$  terpolarisasi sebagian. Polarisasi minimum pada garis H $\beta$  terjadi saat gerhana bintang sekunder. Hasil dari pengamatan tersebut menunjukkan bahwa garis H $\beta$  yang dipancarkan berasal dari lapisan yang lebih dalam pada ruang lingkup selubung bintang ganda daripada garis H $\alpha$  [17].

Perubahan profil garis H $\alpha$  dari hasil observasi tahun 1996-2000 di Ritter Observatory dan profil garis H $\alpha$  hasil observasi tahun 2007 di Langkawi National Observatory dapat dilihat pada GAMBAR 5. Selain itu, Variasi V/R (rasio puncak emisi ungu terhadap puncak emisi merah), dan perubahan kecepatan radial juga dapat dilihat GAMBAR 6. Dari hasil pengukuran V/R pada profile garis H $\alpha$  didapatkan rentang variasi sebesar  $0,57 < V/R < 1,02$  dengan didominasi oleh  $V/R < 1$  [18].



GAMBAR 5. Perubahan profil garis H $\alpha$  pada Beta Lyrae dari tahun 1996(A), 1997(B), 1998(C), 1999(D), 2000(E) dan 2007(F) [18].

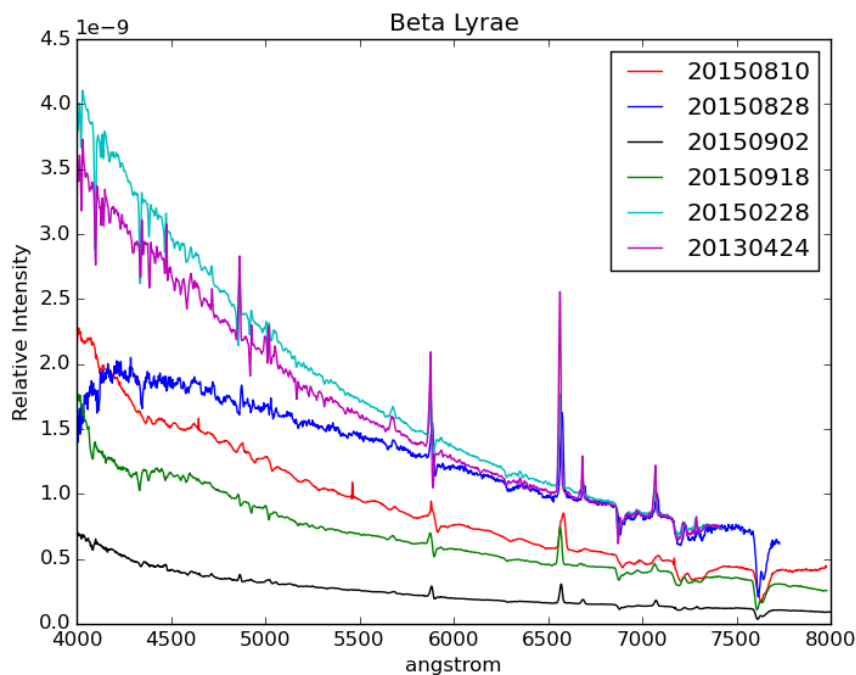


GAMBAR 6. Perubahan kecepatan radial pada pusat absorpsi (Atas), dan variasi V/R pada profil garis H $\alpha$  [18].

### DATA DAN METODE PENELITIAN

Pengamatan spektroskopi optik Beta Lyrae menggunakan spektrograf NEO R-1000 yang dipasang pada teleskop C-11 di Observatorium Bosscha. Pengamatan dilakukan selama bulan Agustus hingga September pada tahun 2015. Data spektrum pengamatan masing-masing pada tanggal 10 Agustus, 28 Agustus, 2 September, dan 18 September. Proses reduksi dan kalibrasi data mentah menggunakan perangkat lunak *Image Reduction and Analysis Facility* (IRAF) (<http://iraf.noao.edu>). Kemudian, hasil pengamatan Beta Lyrae juga dibandingkan dengan data dari BeSS untuk melihat variasi perubahan spektrumnya terhadap waktu. Data spektrum yang diambil dari BeSS merupakan data spektrum yang memiliki rentang panjang gelombang yang sama yaitu pada tanggal 24 April 2013 dan 28 Februari 2015.

Adapun hasil pengamatan spektrum Beta Lyrae yang telah terkalibrasi panjang gelombang dapat dilihat pada GAMBAR 7. Terlihat adanya fitur garis emisi pada spektrum Beta Lyrae khususnya garis emisi yang kuat di panjang gelombang  $H\alpha$   $\lambda$  6563.

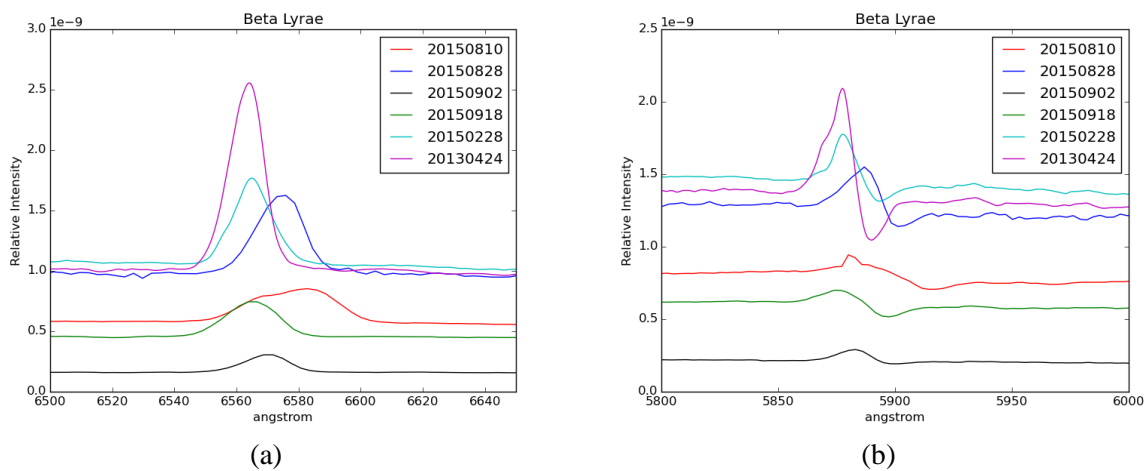


**GAMBAR 7.** Spektrum Beta Lyrae pada tanggal 10 Agustus, 28 Agustus, 2 September, dan 18 September dari hasil pengamatan di Observatorium Bosscha dan data BeSS pada tanggal 28 Februari 2015 dan 24 April 2013.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Beta Lyrae menjadi objek yang menarik sebagai laboratorium astronomi dalam berbagai teknik pengamatan maupun permodelan. Beta Lyrae terdiri dari bintang kelas spektrum B6-8II sebagai bintang primernya dan kelas spektrum B0V sebagai bintang sekundernya. Sistem Beta Lyrae mirip dengan sistem Algol termasuk ke dalam tipe semi-detached. Sistem bintang ganda semi-detached diklasifikasikan menjadi tiga berdasarkan tahapan evolusinya [19]. Beta Lyrae termasuk ke dalam kelas A. Bintang primer telah mengisi seluruh selubung Rochenya selama berada pada tahap deret utama. Sehingga telah terjadi interaksi perpindahan material gas dari bintang primer ke bintang sekundernya. Material gas tersebut tertangkap oleh rotasi bintang sekunder sehingga menghasilkan selubung baru yang membentuk piringan. Kecepatan rotasi menjadi peran utama pada kemunculan garis emisi. Kami menduga kecepatan rotasi bintang sekunder lebih cepat daripada bintang primernya. Sehingga dapat membuat selubungnya memipih sepanjang ekuator bintang. Adanya piringan inilah yang menyebabkan kemunculan garis-garis emisi.

Puncak profil garis emisi  $H\alpha$  mengalami pergeseran panjang gelombang seperti yang ditunjukkan oleh GAMBAR 8.a. Pergeseran puncak garis emisi tersebut mengindikasikan adanya efek tekanan keluar atau ejsi lapisan bintang. Selain itu juga terdapat fitur invers P-Cygni di panjang gelombang He I 5876 yang ditunjukkan oleh GAMBAR 8.b. Proses pembentukan garis emisi pada Beta Lyrae sebagai sistem bintang ganda gerhana yang telah dijelaskan sebelumnya, memiliki kemiripan proses pembentukan garis emisi yang terjadi pada bintang Be. Kehadiran garis-garis emisi pada bintang Be mengidentifikasi bahwa atmosfer bintang dikelilingi oleh sebuah selubung piringan di daerah ekuator. Hal ini dibuktikan oleh pengamatan interferometri pada bintang-bintang Be yang menunjukkan adanya selubung tipis seperti piringan. Piringan ekuator bintang Be khususnya berasal dari dalam bintang itu sendiri, sedangkan pada bintang ganda berasal dari hasil interaksi antara kedua komponen bintang yang saling mengitari titik pusat massanya. Namun, 50% dari hasil pengamatan bintang Be merupakan suatu sistem bintang ganda. Hal ini membuat Beta Lyrae juga termasuk salah satu objek bintang Be.



**GAMBAR 8.** (a) Pergeseran nilai tengah pada panjang gelombang  $H\alpha$ , dan (b) Perubahan profil invers P-Cygni di panjang gelombang He I 5876.

Perubahan profil garis  $H\alpha$  dan pengukuran V/R pada profile garis  $H\alpha$  membuktikan adanya perubahan kecepatan pengembangan sehingga terjadi garis absorpsi pergeseran ungu. Oleh karena itu, puncak dari emisi ungu mengalami gangguan lebih besar oleh absorpsi daripada puncak emisi merah.

Di sisi lain, kemunculan profil garis invers P-Cygni pada panjang gelombang He I 5876 menjadi salah satu kasus yang menarik pada Beta Lyrae. Kami menduga bahwa profil invers P-Cygni dalam tahap evolusi spektrum sebelumnya berupa profil P-Cygni. Perubahan spektrum profil P-Cygni menjadi invers P-Cygni mengindikasikan bahwa keadaan lapisan gas terluar yang tidak stabil secara dinamik akibat proses transfer massa atau terjadi perubahan kecepatan rotasi yang berdampak pada perubahan laju kehilangan massa. Pengembangan selubung gas terluar seperti daerah fotosfer yang sangat cepat membuat gas tersebut akan cepat menghilang. Hal tersebut bergantung pada seberapa cepat angin bintang. Ketika muncul profil invers P-Cygni mengindikasikan terjadinya keruntuhan material di selubung. Jika terjadi pergeseran garis ke arah biru, maka ada material yang mengembang. Penyusutan fotosfer membuat temperaturnya meningkat. Fenomena perubahan profil P-Cygni menjadi invers P-Cygni mirip dengan fenomena bintang berdenyut, namun dalam skala yang lebih besar. Fenomena denyutan selubung tersebut bisa diakibatkan oleh proses radiasi, kehilangan massa dan ejsi lapisan selubung.

### SIMPULAN

Kesimpulan dari hasil studi spektroskopi pada garis emisi Beta Lyrae sebagai berikut :

1. Sistem Beta Lyrae termasuk ke dalam tipe semi-detached

2. Munculnya garis emisi disebabkan adanya selubung yang memipih sepanjang ekuator bintang akibat proses transfer massa.
3. Puncak profil garis emisi  $H\alpha$  mengalami pergeseran panjang gelombang akibat efek tekanan atau eaksi lapisan bintang.
4. Adanya profil garis invers P-Cygni pada panjang gelombang He I 5876. Perubahan spektrum profil P-Cygni menjadi invers P-Cygni mengindikasikan bahwa keadaan lapisan gas terluar yang tidak stabil secara dinamik

Perlu studi lebih lanjut mengenai model evolusi bintang primer dan bintang sekundernya terhadap variasi laju kehilangan massa untuk memastikan perubahan kecepatan rotasi yang berdampak pada pembentukan selubung Beta Lyrae sehingga mampu menghasilkan garis emisi.

#### REFERENSI

- [1] D. S. Priya et al., "Low Resolution Spectroscopy of Selected Algol Systems," *Astrophys Space Sci.*, vol. 363, no. 69, 2018.
- [2] S. S. Huang, "On the Mass of Beta Lyrae," *The Astrophysical Journal*, vol. 136, p. 903, 1962.
- [3] I. Hubeny and M. J. Plavec, "Can a Disk Model Explain Beta Lyrae?," *The Astronomical Journal*, vol. 102, pp. 1156-1170, 1991.
- [4] P. Harmanec, "A Consistent Set of Physical Elements for The B6-8II+ B0V: E Binary Beta Lyrae," *Astronomy and Astrophysics*, vol. 237, pp. 91-96, 1990.
- [5] P. Harmanec, "The Ever Challenging Emission-line Binary  $\beta$  Lyrae," *Astronomische Nachrichten: Astronomical Notes*, vol. 323, no. 2, pp. 87-98, 2002.
- [6] S. Huang, "An Interpretation of Beta Lyrae (Beta Lyrae- Theory of Photometric and Spectrographic Behavior With Model)," *REPR. FROM ASTROPHYS. J.*, vol. 138, no. 2, pp. 342-349, 1963.
- [7] A. H. Batten, *Binary and Multiple Systems of Stars: International Series of Monographs in Natural Philosophy*, 51st ed.: Elsevier, 2013.
- [8] S. Rucinski, A. Pigulski, A. Popowicz, R. Kuschnig, and K. Pavlovski, "Beta Lyrae as seen by BRITe in 2016," in *PTA Proceedings*, vol. arXiv:1803.01244., 2018, pp. 51-56.
- [9] A. P. Linnell, "Progress on a Model for  $\beta$  Lyrae.," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 319, no. 1, pp. 255-266, 2000.
- [10] R. E. Wilson and W. Van Hamme, "Periodicities and regulatory mechanisms in  $\beta$  Lyrae," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 303, no. 4, pp. 736-754, 1999.
- [11] D. V. Bisikalo, A. A. Boyarchuk, P. Harmanec, P. Hadrava, and O. A. Kuznetsov, "Gas-Dynamical Modelling of Circumstellar Matter in  $\beta$  Lyr A," in *International Astronomical Union Colloquium*, Cambridge, 2000, pp. 697-700.
- [12] S. Kriz and F. Zdráský, "The Close Binary Beta Lyrae. I. Some Spectroscopic Results from the Second International Campaign," *Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia*, vol. 25, p. 1, 1974.
- [13] D. Mourard et al., "Physical Properties of  $\beta$  Lyrae A and Its Opaque Accretion Disk," *Astronomy & Astrophysics*, vol. 618, p. A112, 2018.
- [14] D. A. Brown and S. S. Huang, "Interpretation of Beta Lyrae. III-A Study of The Disk Around The Secondary Component," *The Astrophysical Journal*, vol. 218, pp. 461-467, 1974.
- [15] C. J. Clarke and J. E. Pringle, "Star-disc interactions and binary star formation," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 249, no. 4, pp. 584-587, 1991.



- [16] I. Appenzeller and W. A. Hiltner, "True Polarization Curves for Beta Lyrae," *The Astrophysical Journal*, vol. 149, p. 353, 1967.
- [17] I. S. McLean, "Intrinsic Linear Polarization in the H  $\alpha$ , H  $\beta$  Emission Lines of the Eclipsing Binary Beta Lyrae," *Astronomy and Astrophysics*, vol. 55, p. 347, 1977.
- [18] N. Ahmad and M. Z. Y. Zainuddin, "Spectral Lines Profiles of Be Star: Beta Lyrae," in *The Eighth Pacific Rim Conference on Stellar Astrophysics: A Tribute to Kam-Ching Leung*, August 2009, p. 297.
- [19] T. Kogure and K. C. Leung, *The Astrophysics of Emission-Line Stars*. New York: Springer, 2007.