

VARIASI V/R BINTANG Be: HR 5440, HR 6451, HR 6519, HR 7415

(V/R VARIATIONS OF Be STARS: HR 5440, HR 6451, HR 6519, HR 7415)

Ade Nur Istiqomah¹, Dhimaz Gilang Ramadhan¹, Evan Irawan Akbar^{1,2},
Geavani Eva Ramadhania¹, Agus Triono Puri Jatmiko^{1,2}, Mochamad Irfan²,
Aprilia¹, Hakim Luthfi Malasan^{1,2}

¹Program Studi Astronomi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Institut Teknologi Bandung, Indonesia

²Observatorium Bosscha, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Institut Teknologi Bandung, Indonesia

e-mail: istiqomah.adenur@gmail.com

ABSTRAK

Riwayat Artikel:

Diterima:

17 Nopember 2017

Direvisi:

12 Maret 2018

Disetujui:

28 September 2018

Diterbitkan:

19 Nopember 2018

Kata kunci:

Bintang: Be, metode:
observasi, teknik:
spektroskopi

Artikel ini menyajikan empat bintang B-emisi (Be) yang memiliki variasi V/R pada profil garis spektrum H-alpha disajikan di artikel ini, yakni HR 5440, HR 6451, HR 6519, dan HR 7415. Keempat bintang ini merupakan bagian dari daftar target program pengamatan bintang Be yang dilakukan di Observatorium Bosscha, FMIPA ITB, sejak tahun 2007. Nisbah V/R merupakan perbandingan antara intensitas emisi di puncak violet (V) terhadap puncak merah (R) pada garis emisi yang memiliki puncak ganda. Nisbah V/R dapat menjelaskan perubahan atau evolusi dari piringan ekuatorial yang menyelubungi bintang Be. Di antara keempat bintang ini, satu diantaranya telah teramati mengalami perubahan fase dari Be-shell menjadi emisi berpuncak ganda. Tiga bintang lainnya berada pada fase Be-shell dan mengalami perubahan nilai V/R .

ABSTRACT

Keywords:

Stars: Be, methods:
observation,
technique:
spectroscopy

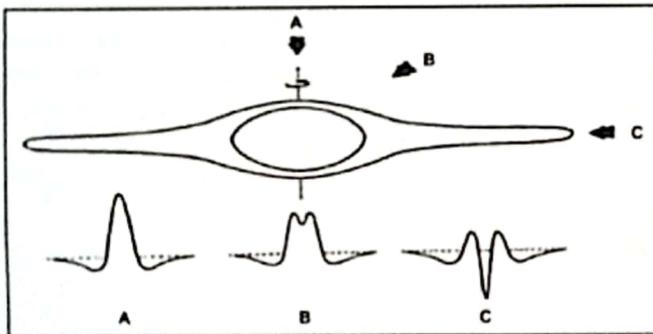
We present four B-emission (Be) stars that show V/R variations in their H-alpha lines (i.e. HR 5440, HR 6451, HR 6519, dan HR 7415). These stars are listed in the target of Be stars observational program at the Bosscha Observatory which were conducted since 2007. A V/R entity is the ratio between emission line intensity in violet (V) and red (R) of the double-peaked/Be-shell profiles. The variation on V/R can explain the evolution of the star's equatorial disk. The presence of this disk is one of the main feature of Be stars. Among these four stars, one of them has been detected changed its spectral phase from Be-shell to double-peaked, while the rest are in the Be-shell phase and exhibit V/R variations.

1. PENDAHULUAN

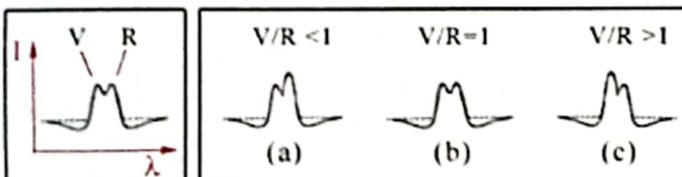
Bintang Be merupakan bintang deret utama kelas spektrum B yang memiliki garis emisi pada deret Balmer dan helium netral (HeI) (Balona, 2000; Baade, 2000). Bintang maharaksasa dengan kelas spektrum B tidak termasuk ke dalam golongan fenomena Be karena mekanisme yang diduga menghasilkan profil emisi pada kelas bintang ini berbeda (Kaufer, 2000).

Garis-garis emisi pada bintang Be disebabkan oleh piringan gas tipis yang mengembang di atas ekuator bintang. Namun hingga saat ini, belum ada penjelasan yang pasti mengenai asal piringan ekuatorial ini (Balona, 2000).

Profil garis emisi bintang Be dapat dikelompokkan menjadi tiga, yakni garis emisi berpuncak tunggal (*single-peaked*), berpuncak ganda (*double-peaked*) dan *Be-shell*. Menurut Struve (1931), perbedaan profil ini disebabkan oleh perbedaan sudut pandang pengamat saat melihat piringan gas bintang Be (lihat Gambar 1-1).



Gambar 1-1. Skema pembentukan garis emisi di bintang Be (diadaptasi dari Saad dkk. 2012 berdasarkan model dari Struve 1931). Ilustrasi ini berdasarkan model selubung bintang Be yang dilihat dari kutub (A), dari sudut inklinasi tertentu (B), dan dari ekuator (C) yang berturut-turut akan menghasilkan profil garis emisi tunggal (A), berpuncak ganda (B), dan *Be-shell* (C).



Gambar 1-2. Ilustrasi V/R pada garis emisi berpuncak ganda.

Namun kemudian diketahui dari pengamatan bahwa suatu bintang Be dapat

mengalami evolusi pada spektrumnya, misalnya berubah fase dari Be berpuncak-tunggal atau Be berpuncak-ganda menjadi *Be-shell* dan sebaliknya. Penemuan ini menyebabkan penjelasan bahwa perbedaan antara fenomena Be dengan *Be-shell* terletak pada inklinasi bintang tidak dapat lagi menjelaskan perbedaan profil emisi bintang Be.

Hasil dari berbagai pengamatan spektroskopik menunjukkan bahwa garis emisi pada bintang Be mengalami periodisitas, contohnya pada μ Cen dan σ Ori E yang terkait dengan medan magnet yang dihasilkan bintang (Balona, 2000).

Meski terdapat beberapa perbedaan antara bintang B normal dengan bintang Be, kedua jenis bintang ini sama-sama tidak memiliki selubung yang simetri bola (Zickgraf, 2000).

Pada bintang Be yang memiliki garis emisi berpuncak ganda dan *Be-shell*, dapat dihitung perbandingan antara intensitas di puncak garis emisi yang panjang gelombangnya lebih pendek terhadap garis emisi yang panjang gelombangnya lebih panjang. Perbandingan ini disebut dengan V/R (*violet to red*) yang nilainya dapat berubah seiring waktu, antara $V/R < 1$, $V/R \cong 1$, dan $V/R > 1$ (lihat Gambar 1-2).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengukur nilai V/R untuk mengetahui adakah perubahan nilai V/R dari profil emisi bintang Be. Untuk mengukur nilai V/R dan mengamati variasinya diperlukan pengamatan spektroskopi terhadap bintang Be dan bintang B normal. Oleh karena itu, pada bulan Mei-September 2017 telah dilakukan pengamatan terhadap 37 bintang dari total 57 bintang target dengan kelas spektrum yang merentang dari B1 hingga F6. Pemilihan target didasarkan pada terdapatnya kemiripan fitur (misalnya garis serapan dan temperatur efektif) pada rentang kelas spektrum B hingga F, sehingga kekeliruan dalam penentuan kelas spektrum bintang dapat terjadi. Setelah melalui proses pengolahan data, hasil pengamatan pada tahun 2017 akan dibandingkan dengan hasil pengamatan sebelumnya yang telah dipublikasikan pada tahun 2014 dan 2015, serta dengan database spektrum BeSS (*Be Star Spectra*)¹.

¹<http://basebe.obspm.fr/basebe/>

Artikel ini menyajikan empat bintang yang sebelumnya telah diketahui memiliki profil garis Be-shell dan menunjukkan variasi nilai V/R, yakni HR 5440, HR 6451, HR 6519, dan HR 7415 (lihat Tabel 1-1).

2. LANDASAN TEORI

Berdasarkan periodenya, perubahan nilai V/R ini dapat dikelompokkan menjadi variasi V/R lambat dan cepat (*slow and rapid V/R variations*). Variasi V/R lambat adalah variasi yang terjadi dalam rentang beberapa tahun sedangkan variasi V/R cepat terjadi dalam beberapa hari.

Beberapa skenario dikembangkan untuk menjelaskan variasi V/R lambat. Diantaranya model *global one-armed oscillations* (Kato, 1983; Okazaki, 1991, 1997), peristiwa *outburst* (Baade, 2000), dan skenario selubung bintang yang mengalami pengerutan dan pengembangan sehingga menyebabkan perubahan kekuatan angin bintang (Mennickent dan Vogt, 1991). Variasi V/R cepat dapat disebabkan oleh rotasi materi yang tidak homogen di selubung bintang dan dipengaruhi oleh fenomena atmosfer yang terjadi di bintang pusat, misalnya denyutan non radial dan/atau medan radiasi yang anisotropik (Baade, 2000). Untuk lebih memahami variasi V/R dan mekanisme penyebabnya diperlukan pengamatan dalam rentang waktu lama.

Selain pengukuran terhadap variasi V/R, variasi E/C juga diperlukan untuk memahami aspek fisis bintang Be. *Emission to continuum (E/C)* merupakan perbandingan antara nilai intensitas garis emisi dengan intensitas kontinum bintang (Kogure dan Leung, 2007). Pengukuran variasi V/R dan E/C akan memberikan pemahaman karakteristik bintang Be, misalnya terkait dengan pembentukan selubung bintang.

3. DATA DAN METODE

Pengamatan bintang Be dilakukan di Observatorium Bosscha pada rentang bulan Mei-September 2017. Pengamatan ini merupakan bagian dari program penelitian jangka panjang yang dimulai sejak tahun 2007.

Pengamatan spektroskopi pada daerah panjang gelombang visual dilakukan menggunakan teleskop refraktor Zeiss berdiameter 60 cm ($f/D \sim 18$), analisator *Bosscha Compact Spectrograph (BCS)* dengan kisi 1200 alur/mm, dan kamera CCD SBIG STL 6303. Kombinasi instrumen ini menghasilkan spektrum dalam rentang 6000-7200 Å dengan resolusi empiris $R=3470$ atau 0,36 Å/piksel.

Reduksi dan analisis data pengamatan dilakukan menggunakan piranti lunak *Image Reduction and Analysis Facility (IRAF)* dari *National Optical Astronomical Observatories (NOAO)* dengan langkah-langkah berikut:

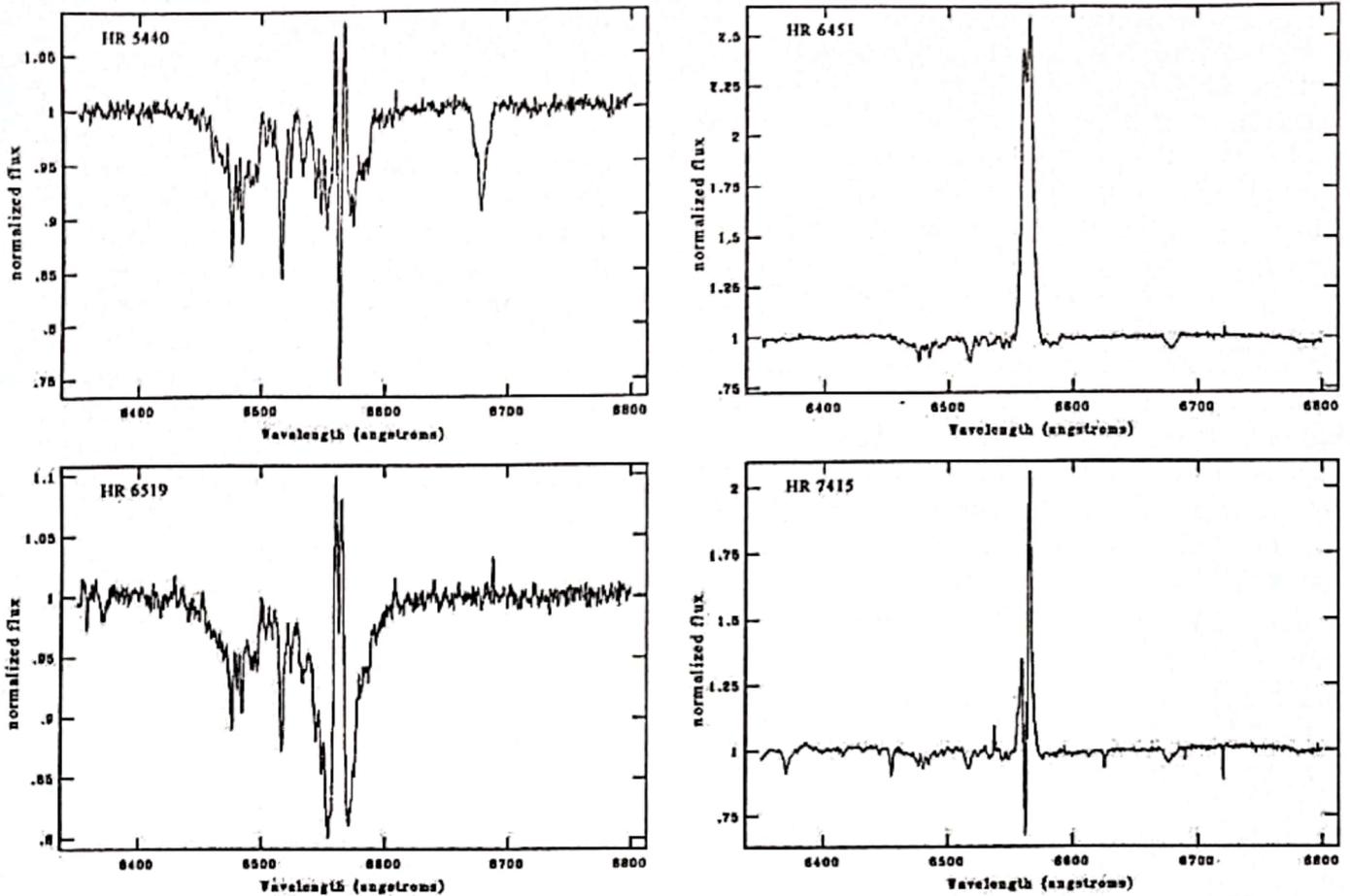
- Kalibrasi spektrogram dengan citra *bias, dark* dan *flat-field*.
- Pengubahan spektrum yang telah bebas dari derau menjadi spektrum satu dimensi.
- Transformasi koordinat citra dari satuan piksel menjadi panjang gelombang.
- Normalisasi spektrum bintang Be terhadap kontinumnya.
- Pengukuran nilai panjang gelombang di puncak garis emisi (komponen V dan R) beserta intensitasnya.

Spektrum keempat bintang Be ditampilkan dalam Gambar 3-1 dan hasil pengukurannya disajikan dalam Tabel 3-1.

Tabel 1-1. Daftar objek bintang Be beserta nilai magnitudo semu (V), kelas spektrum, dan kecepatan rotasi yang diperoleh dari berbagai sumber.

HR	HD	Bayer	V	MK	$v \sin i$ (km/s)	Waktu Pengamatan
5440	127972	η Cen	2,31	B1.5Vne	330 ¹	30 Mei 2017
6451	157042	ι Ara	5,24	B2IIIne	320 ²	16 Juni 2017
6519	158643	510ph	4,81	B9.5Ve	272 ³	31 Mei 2017
7415	183656	V923Aq	6,08	A0eShell	300 ⁴	8 Juni 2017

Referensi: ¹Hummel dan Vracken (2000); ²Hanuschik dkk.(1996); ³Holweger dkk.(1999); ⁴Slettebak (1982).



Gambar 3-1. Spektrum bintang HR 5440, HR 6451, HR 6519, dan HR 7415.

Tabel 3-1. Hasil pengukuran profil garis emisi untuk keempat bintang Be, berupa panjang gelombang puncak garis emisi (λ_V dan λ_R), intensitas garis emisi (Fluks_V dan Fluks_R), kecepatan radial di puncak garis emisi (v_{radV} dan v_{radR}), nilai V/R dan E/C , serta nilai mutlak dari setengah selisih kecepatan radial di puncak garis V dan R .

Bintang	$\lambda_V(\text{\AA})$	Fluks _V	v_{radV} (km/s)	$\lambda_R(\text{\AA})$	Fluks _R	v_{radR} (km/s)	V/R	E/C	$ \frac{1}{2}\Delta v_{rad} $ (km/s)
HR 5440	6559,705	1,067	-117,7	6567,076	1,078	219,2	0,988	1,073	168,4
HR 6451	6560,615	2,439	-76,1	6565,410	2,596	143,1	0,940	2,517	109,6
HR 6519	6560,418	1,099	-85,1	6565,217	1,080	134,3	1,018	1,089	109,7
HR 7415	6559,165	1,341	-142,4	6565,057	2,068	142,4	0,648	1,705	142,4

4. PEMBAHASAN

- A. **HR5440:** Pengamatan pada tahun 2007 menunjukkan bintang ini memiliki garis emisi berpuncak ganda. Namun pada tahun 2013, dari data BeSS, garis emisinya berubah menjadi berpuncak tunggal dan pada tanggal 30 Mei 2017 berevolusi kembali menjadi *Be-shell* dengan $V/R \cong 1$.
- B. **HR6451:** Hasil publikasi oleh Hanuschik (1986), Malasan dkk.(2007), dan Puspitaningrum dkk.(2015),

bintang ini menunjukkan profil garis emisi *Be-shell*. Namun pada tanggal 15 Juni 2017, profil ini berevolusi menjadi garis emisi berpuncak ganda dengan $V/R \cong 1$.

- C. **HR6519:** Berdasarkan data pengamatan di Observatorium Bosscha tahun 2007 dan data BeSS tahun 2015 dan 2016, tampak bahwa bintang ini memiliki garis emisi berpuncak ganda dengan variasi V/R cepat. Namun saat diamati tanggal 30 Mei 2017, profil

emisi H α bintang ini telah berubah menjadi Be-shell dengan nilai $V/R \cong 1$.

- D. **HR7415:** Meskipun kelas spektrum bintang ini adalah A0, namun hasil pengamatan dari Observatorium Yerkes menunjukkan keberadaan selubung di sekitar bintang (Bidelman, 1949) yang karakteristiknya mirip dengan bintang Be. Selain itu, pada spektrum bintang ini ditemui garis emisihelium yang lebar dan kuat, yang mencirikan karakteristik bintang kelas B6. Pada tahun 1995, diamati garis emisi H α dengan profil Be-shell dan nilai $V/R > 1$ (Hanuschik dkk., 1996). Pemeriksaan terhadap profil garis emisi pada database spektrum BeSS menunjukkan variasi profil emisi H α dari tahun 2008 hingga 2016. Profil Be-shell ini masih teramati pada tanggal 7 Juni 2017 dengan nilai $V/R < 1$. (Mengapa V/R nya kecil sekali?)

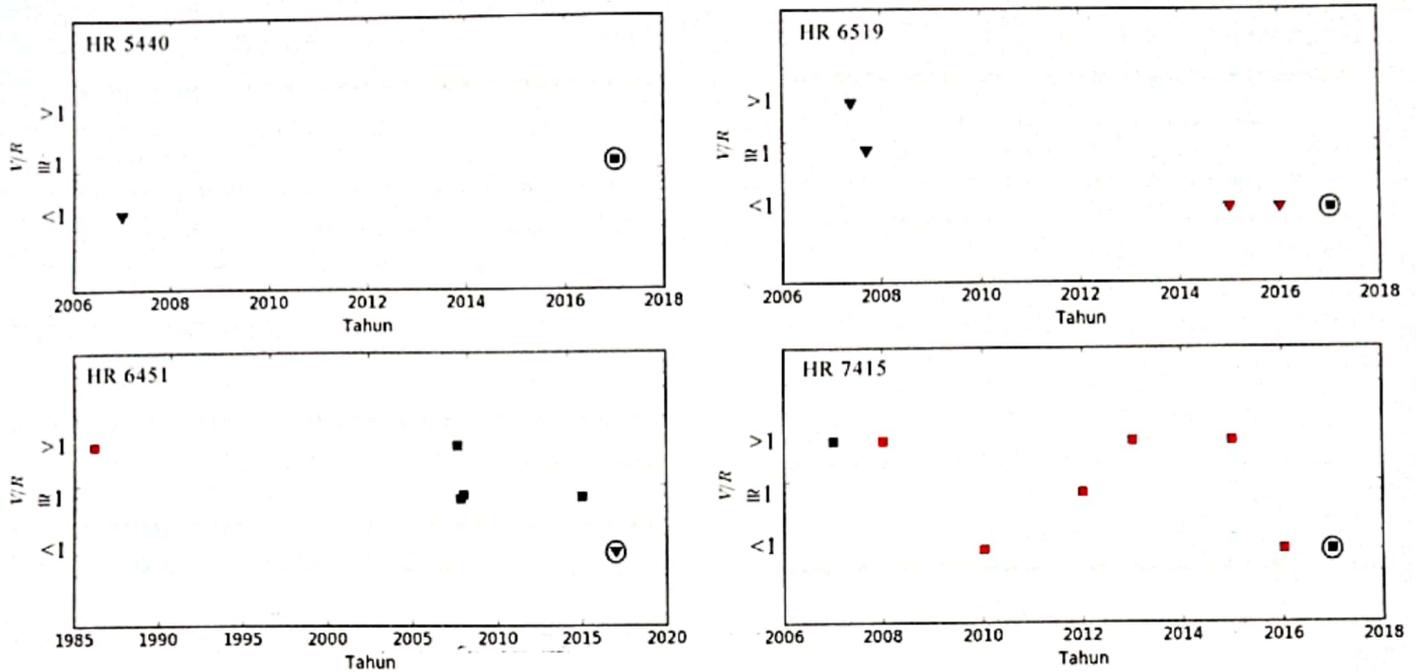
Variasi nilai V/R keempat bintang ini ditabulasikan di Tabel 4-1. Gambar 4-1 menunjukkan perubahan nilai V/R seiring dengan waktu. Variasi V/R amat terlihat jelas pada HR 7415, tetapi hingga kini belum ada penjelasan pasti mengenai proses astrofisika yang menyebabkan variasi ini.

Dengan 13 buah sampel bintang Be, Puspitaningrum dkk. (2015) menunjukkan bahwa variasi V/R tidak berkorelasi dengan kelas spektrum maupun selisih kecepatan radial kedua puncak garis emisi ($v_{radV} - v_{radR}$). Namun Puspitaningrum dkk. (2015) menemukan adanya hubungan bahwa V/R meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan rotasi ($v \sin i$). Grafik hubungan V/R dan $v \sin i$ tersebut disajikan di Gambar 4-2 dengan penambahan data empat bintang Be yang dipublikasikan dalam artikel ini

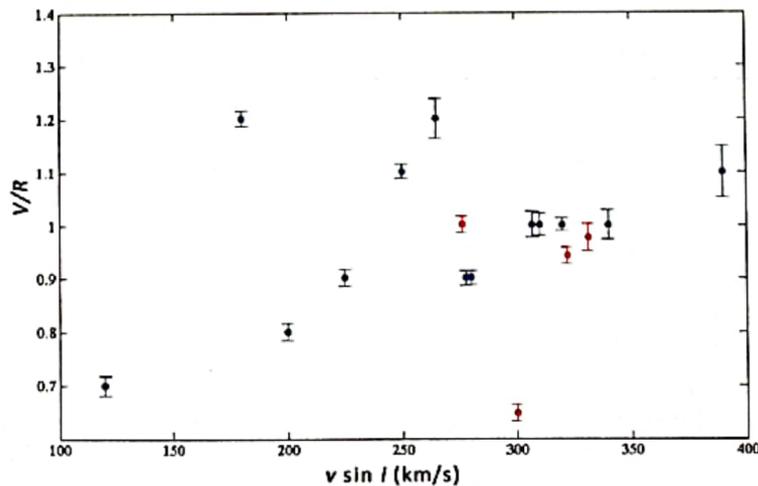
Tabel 4-1. Variasi nilai V/R keempat bintang Be

Bintang	Tipe Be	V/R	Tanggal Pengamatan	Referensi
HR 5440	puncak ganda	< 1	30 April 2007	1
	puncak tunggal	-	24 April 2013	1
	Be-shell	$\cong 1$	30 Mei 2017	Artikel ini
HR 6451	Be-shell	> 1	1986	2
	Be-shell	> 1	9 Juni 2007	1
	Be-shell	$\cong 1$	24 Juli 2007	1
	Be-shell	> 1	1 Agustus 2007	1
	Be-shell	$\cong 1$	2015	3
	puncak ganda	< 1	15 Juni 2017	Artikel ini
	HR 6519	puncak ganda	> 1	30 April 2007
puncak ganda	$\cong 1$	3 Juli 2007	1	
puncak ganda	< 1	10 Juli 2015	4	
puncak ganda	< 1	24 September 2016	5	
	Be-shell	$\cong 1$	30 Mei 2017	Artikel ini
HR 7415	Be-shell	> 1	31 Juli 2007	1
	Be-shell	> 1	6 Agustus 2008	6
	Be-shell	< 1	22 Agustus 2010	7
	Be-shell	$\cong 1$	29 Juni 2012	4
	Be-shell	> 1	6 Juli 2013	8
	Be-shell	> 1	1 Juli 2015	9
	Be-shell	< 1	8 Juli 2016	4
	Be-shell	< 1	7 Juni 2017	Artikel ini

* Referensi 1: Malasan dkk. (2014); 2: Hanuschik (1986); 3: Puspitaningrum, dkk.(2015); 4: André Favaro (BeSS); 5: Carl Sawicki (BeSS); 6: Joan Guarro Fló(BeSS); 7: Thierry Garrel (BeSS); 8: Stéphane Ubaud(BeSS); 9: Arnold de Bruin (BeSS).



Gambar 4-1. Variasi V/R keempat bintang Be terhadap waktu. Kotak (■) menunjukkan profil garis Be-shell, segitiga (▼) menunjukkan garis emisi berpuncak ganda, sedangkan lingkaran (○) adalah data pengamatan yang dipublikasikan di artikel ini. Warna merah menunjukkan data bersumber dari *database* spektrum BeSS sedangkan warna hitam adalah data pengamatan dari Observatorium Bosscha.



Gambar 4-2. Grafik hubungan antara kecepatan rotasi ($v \sin i$) dengan nilai V/R . Warna biru adalah data bintang Be yang dipublikasikan tahun 2015 (Puspitaningrum dkk., 2015) sedangkan warna merah adalah data dari artikel ini.

5. KESIMPULAN

Terlihat bahwa emisi HR 5440 mengalami perubahan profil menjadi Be-shell dengan nilai perbandingan V/R nyaris sepadan. Meski demikian, titik data yang lebih banyak dalam rentang waktu yang pendek diperlukan untuk dapat mengetahui periodisitas profil emisi HR 5440.

Perubahan profil garis emisi juga dialami oleh HR 6451. Untuk bintang ini, perubahan terjadi dari Be-shell menjadi profil emisi berpuncak ganda. Tentu, data perlu ditambahkan untuk mengetahui periodisitas profil emisi bintang HR 6451. Nilai V/R HR 6451 dari data yang ditampilkan mengalami perubahan meski awalnya profilnya tetap berpuncak ganda.

Pola keteraturan variasi V/R yang tampak pada HR 7415 mengindikasikan bahwa bintang ini merupakan kandidat objek yang perlu diamati dalam waktu lama dan dengan sampling waktu pengamatan setiap bulan. Variasi V/R ini juga perlu dikaji dengan menggunakan nilai eksak dari V/R untuk analisis yang lebih komprehensif.

Hubungan antara nilai V/R dengan $v \sin i$ masih perlu dikaji kembali dengan penambahan lebih banyak data.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada ITB untuk dana penelitian melalui riset KK ITB tahun 2017. Terima kasih juga kami sampaikan pada Evaria Puspitaningrum untuk diskusi dalam proses pembuatan makalah ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Baade, D. (2000). Observed Periodic Phenomena. ASP Conference Series, 214, 178-191. doi: 10.1017/S0252921100055809.
- Balona, L. A. (2000). The Be Phenomenon. ASP Conference Series, 214, 1-12. doi: 10.1017/S0252921100055524.
- Hanuschik, R. W. dkk. (1996). Atlas of high-resolution emission and shell lines in Be stars: Line profiles and short-term variability. Astronomy and Astrophysics Supplement Series, 116, 309-358 (1996).
- Hanuschik, R. W. (1986). High-resolution emission-line spectroscopy of Be stars. I - Evidence for a two-component structure of the H-alpha emitting envelope. Astronomy and Astrophysics, 166(1-2), 185-194.
- Holweber, H. dkk. (1999). A search for circumstellar gas around normal A stars and Lambda Bootis stars. Astronomy and Astrophysics, 350, 603-611.
- Hummel, W. & M. Vrancken (2000). Line formation in Be star circumstellar disks. Astronomy and Astrophysics, 359, 1075-1084.
- Kato, S. (1983). Low-frequency, one-armed oscillations of Keplerian Gaseous Disks. Publications of Astronomical Society of Japan, 35, 249-261.
- Kogure, T & K. Leung (2007). The astrophysics of emission-lines stars. Astrophysics and Space Science Library, 342.
- Malasan, H. L. dkk. (2014). Spectroscopic Monitoring of Southern Be Stars. ASP Conference Series, 482, 25-32.
- Mennickent, R. E. & N. Vogt (1991). V/R variations in H β emission profiles of Be stars. Astronomy and Astrophysics, 241, 159-166.
- Neiner, C. dkk. (2011). The Be star spectra (BeSS) database. The Astronomical Journal, 142-147.
- Okazaki, A. T. (1991). Long-term V/R variations of Be stars due to global one-armed oscillations of equatorial disks. Publications of Astronomical Society of Japan, 43(1), 75-94.
- Okazaki, A. T. (1997). On the confinement of one-armed oscillations in discs of Be stars. Astronomy and Astrophysics, 318, 548-560.
- Puspitaningrum, E. dkk. (2015). Variasi Profil V/R Spektrum Bintang Be di Belahan Langit Selatan. Prosiding Seminar Sains Antariksa 2015, 174-182.
- Saad, S. M. dkk. (2012). An overview investigation of Be/Shell stars. NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics, 1, 97-105.
- Slettebak, A. (1982). Spectral types and rotational velocities of the brighter Be stars and A-F type shell stars. Astrophysical Journal Supplement Series, 50, 55-83.
- Struve, O. (1931). On the origin of bright lines in spectra of stars of class B. Astrophysical Journal, 73, 94-103.
- Zickgraf, Franz-Joseph (2000). The Connection with B[e] Stars. ASP Conference Series, 214, 26-36. doi: 10.1017/S0252921100055548.