

## 100 Tahun Pengamatan Bintang Ganda di Observatorium Bosscha: Benarkah Objek yang Diamati itu Secara Fisis Ganda?

I. Imaduddin<sup>1,2</sup>, C. Vidante<sup>1</sup>, B. D. S. Budi<sup>1</sup>, S. Fatkhusalma<sup>1</sup>, dan M. Irfan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Astronomi, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

<sup>2</sup>Observatorium Bosscha, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

\*E-mail: i.imaduddin@students.itb.ac.id

### ABSTRAK

Pengamatan bintang ganda visual di Observatorium Bosscha telah berlangsung dari tahun 1924 hingga saat ini. Terdapat 5431 pasang bintang dari 12435 pengukuran yang dirangkum dalam sebuah *database*. Penting bagi pengamat bintang ganda seawal mungkin melakukan perhitungan lintasan agar bisa disusun prioritas pengamatan. Pasangan bintang yang memiliki periode orbit pendek bisa diprioritaskan di program pengamatan serta pasangan yang diyakini sebagai pasangan optis bisa dihilangkan. Maka dari itu, untuk menentukan bintang program, dilakukanlah pencocokan (*crossmatch*) objek pengamatan antar dua *database*. Pencocokan dilakukan dengan meninjau nama WDS, *discoverer*, dan posisi. Masing-masing objek dimasukkan ke dalam lima buah kategori berdasarkan tingkatan probabilitasnya. Secara berurutan sebanyak 2074, 138, 88, 129, dan 3002 dari total 5431 pasang bintang dikategorikan ke dalam kelompok “Physical” (ganda secara fisis), “Maybe” (kemungkinan memang ganda), “??” (masih dipertanyakan kegandaannya), “No” (secara fisis tidak ganda) dan “Unknown” (masih belum diketahui kegunaannya karena beberapa parameter tidak dapat dihitung). Dari setiap pasang bintang yang berhasil dikategorikan, nilai probabilitasnya tercantum agar dapat menjadi bahan pertimbangan di pekerjaan selanjutnya. Penentuan prioritas objek pengamatan pada program bintang ganda di Observatorium Bosscha diharapkan dapat dilakukan kembali.

**Kata Kunci:** *Bintang ganda – Bintang ganda visual – Metode statistik*

### 1 PENDAHULUAN

Pengamatan bintang ganda visual di Observatorium Bosscha telah berlangsung dari tahun 1924 hingga sekarang. Berdasarkan perkembangan teknologi, pengamatan mulai dilakukan dengan menggunakan metode visual, plat fotografi, hingga kamera digital. Tujuannya adalah untuk mengetahui posisi relatif bintang sekunder terhadap bintang primer seperti separasi sudut ( $\rho$ ) dan sudut posisi ( $\theta$ ). Pemodelan dari data pengamatan dilakukan agar solusi persamaan orbitnya dapat ditentukan.

Objek pengamatan tidak banyak berubah selama hampir 100 tahun dari program tersebut berjalan. Hal ini disebabkan oleh periode orbit dari bintang ganda terutama bintang ganda visual berkisar pada orde puluhan hingga ribuan tahun. Tidak mengherankan jika dalam kurun waktu pengamatan 100 tahun, orbit yang dibangun dari data separasi sudut ( $\rho$ ) dan sudut posisi ( $\theta$ ) untuk suatu pasangan bintang ganda yang diamati belum membentuk satu periode. Akibatnya banyak pasangan bintang yang belum diketahui solusi persamaan orbitnya.

Dari belasan ribu pengamatan, terdapat sekitar 5431 pasang bintang telah berhasil dikumpulkan oleh Jasinta (1997) yang kemudian disebut sebagai *database* JAS97. Ribuan pasang bintang ini merupakan bagian dari 600 sistem bintang ganda yang didaftarkan pada program pengamatan. *Database*-nya sendiri merupakan hasil kompilasi

dari puluhan artikel yang melaporkan hasil pengamatan program bintang ganda visual di Observatorium Bosscha untuk rentang waktu pengamatan tertentu.

Sayangnya ribuan pasangan bintang tersebut belum diketahui keabsahannya terhadap definisi bintang ganda itu sendiri. Apakah setiap pasangan bintang ganda tersebut saling terikat satu sama lain secara gravitasi atau hanya tampak ganda ketika diamati? Hal ini penting untuk ditinjau agar kita dapat mengetahui pasangan bintang mana yang benar-benar secara fisis terikat satu sama lain. Tujuan dari program pengamatan ini sendiri adalah untuk menentukan solusi persamaan orbit bintang ganda, sehingga untuk pasangan bintang yang secara fisis tidak terikat oleh gravitasi tidak perlu dimasukkan kembali ke dalam daftar objek pengamatan. Selain itu, tingkatan prioritas objek pengamatan dapat ditentukan kembali atas tinjauan tersebut.

Tulisan ini dibuat untuk mengetahui jumlah pasangan bintang ganda yang terdaftar pada program pengamatan bintang ganda di Observatorium Bosscha yang saling terikat gravitasi satu sama lain. Pekerjaan dilakukan dengan mencocokkan pasang bintang yang ada pada JAS97 dengan sebuah katalog bintang ganda yang telah dikonfirmasi kegandaannya secara fisis oleh Harshaw (2018), selanjutnya disingkat HAR18. Pada bagian selanjutnya akan dibahas data yang digunakan, baik *database* JAS97 maupun katalog HAR18. Metode

**Tabel 1.** Rangkuman data JAS97.

| Rentang parameter fisis     |               |
|-----------------------------|---------------|
| Parameter                   | Rentang       |
| Separasi sudut ( $\rho$ )   | 0,003 – 10"   |
| Magnitudo komponen 1 (Gmag) | 0 – 13,75     |
| Magnitudo komponen 2 (Gmag) | 3,15 – 16,79  |
| Perbedaan magnitudo (Gmag)  | -1,74 – 11,07 |
| Orbit objek pengamatan      |               |
| Kelompok                    | Jumlah        |
| Satu periode orbit          | 4 pasangan    |
| Orbit berkuvatur baik       | 45 pasangan   |
| Orbit berkuvatur            | 20 pasangan   |
| Orbit tampak berkuvatur     | 135 pasangan  |
| Orbit tanpa kurvatur        | 400 pasangan  |

yang digunakan untuk menentukan kegandaan pada setiap objek yang ditinjaupun secara singkat akan dibahas pada bagian ini. Hasil dari pencocokkan objek akan dibahas di bagian selanjutnya. Pada bagian akhir, akan dibahas kesimpulan dan saran untuk keberlangsungan program pengamatan bintang ganda di Observatorium Bosscha.

## 2 DATA

### 2.1 Database pengamatan bintang ganda Observatorium Bosscha

Database pengamatan bintang ganda yang dilakukan Observatorium Bosscha telah dikumpulkan di JAS97. Database ini berisi 12435 pengamatan bintang ganda sejak tahun 1924-1997. Ini merupakan kompilasi dari puluhan publikasi data pengamatan yang dilakukan menggunakan metode visual, sebanyak 3495 pengamatan, maupun plat fotografi, sebanyak 8930 pengamatan. Waktu pengamatan, separasi sudut ( $\rho$ ), serta posisi sudut ( $\theta$ ) antar komponen bintang ganda terlampir pada database tersebut. Dari belasan ribu pengamatan yang berhasil didokumentasikan, terdapat setidaknya 5431 pasang bintang dari 600 sistem bintang ganda yang berhasil diamati, dengan rincian 5289 bintang ganda dengan nama unik WDS dan

5431 bintang ganda dengan nama unik *discoverer*. Rangkuman parameter fisis dan tahun pengamatan JAS97 ditunjukkan di Tabel 1. Perlu diperhatikan pula bahwa separasi sudut, magnitudo, dan perbedaan magnitudo objek dari pengamatan bergantung pada kisi yang digunakan. Bintang ganda dengan frekuensi pengamatan tertinggi di JAS97 adalah AGC 1 AB ( $\alpha$  CMa) dan KUI 75 AB (HD 152751). Pengamatan terbanyak dilakukan pada tahun 1942.

### 2.2 Katalog bintang ganda HAR18

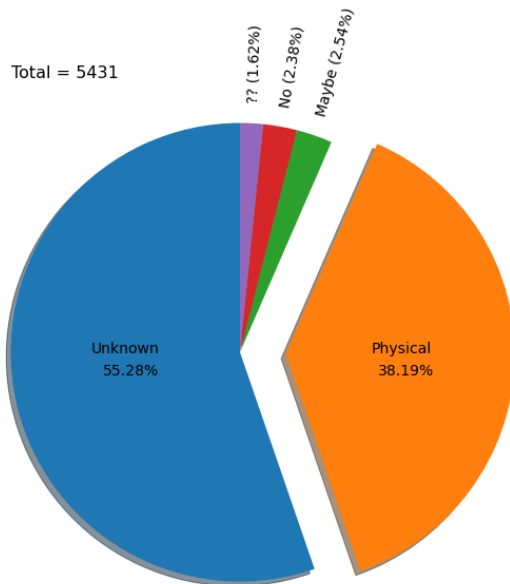
HAR18 berhasil mengidentifikasi kegandaan 139781 pasang bintang dalam katalog WDS (Worley & Douglass, 1997). katalog Gaia DR2 (Gaia Collaboration, dkk. 2018b) digunakan untuk meninjau kegandaan bintang-bintang tersebut. Empat buah parameter yang ditinjau oleh HAR18 untuk mengidentifikasi antara lain paralaks, gerak diri, regresi terhadap orbit yang dibentuk, serta kecepatan radial relatifnya. Probabilitas setiap pasang bintang dihitung dengan menetapkan bobot relatif dari setiap parameter yang ditinjau. Secara berurutan, bobot relatif dari keempat parameter di atas bernilai: 75%, 10%, 10%, dan 5%.

Dari metode yang digunakan, HAR18 mengelompokkan kegandaan bintang yang ditinjaunya menjadi enam tingkatan probabilitas: 1) tinggi ( $\geq 85\%$ ) yang dinotasikan sebagai “Y”; 2) menengah (65 - 85%) yang dinotasikan sebagai “Y?”; 3) mungkin secara fisis memang ganda (50 - 65%), dinotasikan sebagai “Maybe”; 4) masih dipertanyakan kegandaannya yang dinotasikan sebagai “??” (35 - 50%); 5) secara fisis bukan bintang ganda, “No”, dengan probabilitas ( $\leq 25\%$ ); dan 6) tidak diketahui karena dua atau lebih dari parameternya tidak dapat dihitung. Pada akhirnya, pasang bintang yang probabilitasnya masuk ke dalam kategori menengah dan tinggi dianggap sebagai bintang ganda yang secara fisis terikat oleh gravitasi satu sama lain, sehingga hanya lima kelompok saja yang dikategorikan dalam katalog tersebut.

**Tabel 2.** Jumlah pasang bintang yang berhasil dikategorikan fisisnya.

| Parameter    | Deskripsi                                                                        | Probabilitas                                | Jumlah      |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------|
| Physical     | Ganda secara fisis                                                               | Tinggi ( $> 85\%$ ) dan menengah (65 – 85%) | 2074        |
| Maybe        | Kemungkinan memang ganda                                                         | 50 – 65%                                    | 138         |
| ??           | Masih dipertanyakan kegandaannya                                                 | 35 – 50%                                    | 88          |
| No           | Secara fisis tidak ganda                                                         | 0 – 35%                                     | 129         |
| Unknown      | masih belum diketahui kegunaannya karena beberapa parameter tidak dapat dihitung | -                                           | 3002        |
| <b>Total</b> |                                                                                  |                                             | <b>5431</b> |

Sebanyak 33% dari total pasang bintang berhasil diidentifikasi HAR18 sebagai bintang ganda yang terikat secara fisis oleh gravitasi satu sama lain. Hanya 8% dari total pasang bintang yang dinyatakan bukan merupakan bintang ganda. Akan tetapi, sebanyak 49% pasang bintang yang ditinjau belum diketahui secara pasti karena ada dua, bahkan lebih, parameter yang tidak bisa dikalkulasi dengan metode yang digunakan. Sisanya merupakan bintang-bintang yang mungkin bintang ganda maupun yang masih dipertanyakan kegandaannya.



**Gambar 1.** Persentase pasang bintang yang telah dikategorikan relatif terhadap total jumlah pasang bintang yang ditinjau.

### 3 HASIL

Dari data yang telah dijelaskan di bagian sebelumnya, dilakukan pencocokan (*crossmatch*) nama objek yang ada pada JAS97 dengan katalog HAR18. Untuk memastikan objek yang dicocokkan benar, koordinat objek pun ditinjau. Selain itu, pencocokan dengan katalog lain, seperti katalog WDS (Worley & Douglass, 1997), ADS (Aitken & Doolittle, 1932), Gaia DR2 (Gaia Collaboration et al., 2018b), dan lain-lain. Hasil pencocokannya dapat dilihat di Tabel 1 dan Gambar 1. Untuk kategori kegandaan setiap bintang pada *database* JAS97 beserta probabilitas yang diukur oleh HAR18 dapat diunduh versi daringnya pada laman [bit.ly/bosscha\\_doublestar\\_nov2021](http://bit.ly/bosscha_doublestar_nov2021).

Terdapat setidaknya 2074, atau sekitar 38.19%, dari 5433 pasang bintang yang merupakan bintang ganda yang secara fisis terikat oleh gravitasi satu

sama lain. Bisa dikatakan cukup kecil persentase dari kelompok probabilitas bintang ganda yang kemungkinannya ganda ("Maybe"), masih dipertanyakan ("??"), maupun secara fisis tidak ganda ("No"), yaitu, secara berurutan, 2.54%, 1.62%, dan 2.38% dari *database* JAS97. Sayangnya, lebih dari separuh total objek pada *database* JAS97 tidak diketahui dengan pasti kegandaannya secara fisis. Hal ini terjadi karena pada data yang dikumpulkan, masih banyak pasang bintang yang belum bisa dihitung dengan menggunakan metode yang dilakukan oleh HAR18. Terlepas dari itu, hasil ini dapat digunakan untuk meninjau kembali daftar objek pengamatan bintang ganda visual yang dilakukan di Observatorium Bosscha.

### 4 DISKUSI

Penentuan kegandaan secara fisis objek pengamatan pada program pengamatan bintang ganda di Observatorium Bosscha telah berhasil dilakukan. Sebanyak 2074 pasang bintang dinyatakan terikat secara gravitasi. Jumlah tersebut disarankan digunakan sebagai prioritas utama dari program pengamatan. Terdapat 129 pasang bintang yang dikategorikan sebagai bintang ganda yang tidak terikat satu sama lain dan pasang bintang tersebut dapat dihilangkan dari daftar objek program pengamatan. Pengamatan terhadap pasang bintang yang masuk ke dalam kategori "Maybe" dan "??" masih diperlukan untuk meningkatkan nilai probabilitas dari setiap pasang bintang tersebut. Sehingga untuk 226 pasang bintang tersebut dapat dimasukkan ke dalam prioritas menengah dari program pengamatan. Bintang-bintang yang masuk ke dalam kategori "Unknown" sebaiknya tidak diikutkan ke dalam program pengamatan bintang ganda di Observatorium Bosscha. Namun, dengan jumlah pasang bintang yang tergolong banyak, kategori ini perlu ditinjau ulang.

Selain itu, kami juga meninjau terdapat beberapa perbedaan metode di katalog HAR18. Pertama, analisis galat dari paralaks bintang, yaitu pemilihan error paralaks/paralaks < 15%, seperti yang sudah dijelaskan oleh Lindegren, dkk (2018), belum dilakukan di HAR18. Hal tersebut sebaiknya dilakukan agar jarak yang diturunkan dari paralaks dapat digunakan dan menghindari mendapatkan nilai galat yang lebih besar dari nilai paralaksnya, mengingat bahwa paralaks merupakan salah satu parameter yang digunakan dalam menentukan kegandaan bintang ganda dengan bobot 75%. Kedua, Gaia DR2 memiliki limitasi dalam mengamati bintang dengan  $G_{\text{mag}} < 4$  (Gaia Collaboration, dkk. 2018b). Hal tersebut

mengakibatkan bintang ganda terang masuk dalam kategori “Unknown”, contohnya adalah AGC 1 AB ( $\alpha$  CMa).

Untuk pekerjaan selanjutnya, objek pengamatan pada *database* JAS97 sebaiknya perlu ditinjau ulang. Hal ini dapat dilakukan dengan menghitung kembali probabilitas kegandaannya menggunakan metode HAR18 dan katalog yang parameternya lebih lengkap seperti Gaia EDR3 (Gaia Collaboration, dkk. 2021). Perlu juga melakukan pencocokan dengan database dan katalog lain, seperti Zavada dan Piska (2016), Sapozhnikov, dkk (2020), dan Jiménez-Esteban, dkk (2019). Diharapkan, jumlah pasang bintang yang berada pada kategori tersebut dapat berkurang dan jumlah objek pada kategori lain dapat meningkat. Terakhir, hasil dari pekerjaan ini diharapkan dapat meningkatkan pengembangan dan produktivitas dari program pengamatan bintang ganda yang dilakukan di Observatorium Bosscha.

## Ucapan Terima Kasih

Kami menyampaikan terima kasih kepada Observatorium Bosscha secara umum dan terima kasih atas dedikasi semua pihak yang bekerja di program pengamatan bintang ganda ini, khususnya.

## 5 PUSTAKA

- Atiken, R. G. dan Doolittle, E. 1932, *New General Catalogue of Double Stars within 120 degrees of the North Pole*, Carnegie Institution of Washington.
- Harshaw, R. 2018. *JDSO*. 14(4), 734.
- Jasinta, D. M. D. 1997. *ASP Conf. Ser.* 130, 135.
- Jiménez-Esteban, dkk. 2019. *AJ*. 157, 78.
- Gaia Collaboration, dkk. 2018b. *A&A*. 616, A1.
- Gaia Collaboration, dkk. 2021. *A&A*. 649, A1.
- Lindgren, dkk. 2018. *A&A*. 616, A2.
- Sapozhnikov, dkk. 2020. *Astron. Rep.* 64, 756.
- Worley, C. E. dan Douglass, G. G. 1997. *AAS*. 125, 523.
- Zavada & Piska. 2016. *AJ*. 159, 33.