



Prosiding Seminar Sains Antariksa

Homepage: <http://www.lapan.go.id>



Proyek BIMA: Analisis Diagram O-C dari 4 Sistem Bintang Ganda Gerhana

(The BIMA Project: O-C Diagram Analysis of 4 Eclipsing Binaries' System)

Sitti A. Khairunnisa¹, G. K. Haans^{1,2}, D. G. Ramadhan¹, E. Puspitaningrum¹, I. T. Andika¹, S. Akhyar³, T. Sarotsakulchai⁴, P. Irawati⁴, J. Suherli⁵, H. L. Malasan^{1,2}, C. Kunjaya^{1,6}, A. Richichi⁴, and B. Soonthornthum⁴

¹Department of Astronomy, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

²Bosscha Observatory, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

³Division of Mathematical and Physical Sciences, Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University, Kanazawa, Japan

⁴National Astronomical Research Institute of Thailand, Chiang Mai, Thailand

⁵Astronomy Department, Wesleyan University, Middletown, CT, U.S.A

⁶Ma Chung University, Malang, Indonesia

e-mail: sa.khairunnisa@gmail.com

ABSTRAK

Riwayat Artikel:

Diterima: 19-11-2015
Direvisi: 16-10-2016
Disetujui: 19-10-2016
Diterbitkan: 24-10-2016

Kata kunci:

Metode: observasi,
teknik: fotometri,
bintang: ganda gerhana

BIMA (The Eclipsing Binaries' MiniMA Monitoring Project) merupakan suatu program penelitian yang bertujuan untuk mengamati waktu minimum primer dan sekunder (minima) pada kurva cahaya bintang ganda gerhana dari pengamatan fotometrik CCD, serta menentukan perubahan periode bintang ganda gerhana tersebut. Sejak 2012, tim BIMA telah membangun teknik pengamatan bintang ganda gerhana, teknik otomasi untuk pengolahan citra dan kurva cahaya, teknik penentuan waktu minima hingga analisis diagram O-C (*Observed minus Calculated*). Analisis diagram O-C dapat dilakukan dengan menggabungkan waktu minima bintang ganda gerhana dari pengamatan fotometrik CCD dengan waktu minima yang tersedia di literatur. Analisis pola diagram O-C dapat menggambarkan peristiwa fisis yang terjadi dalam sistem bintang ganda gerhana. Dalam makalah ini akan dibahas analisis diagram O-C dari 4 sistem bintang ganda gerhana yang memiliki mekanisme fisis berbeda-beda, yaitu V456 Oph yang menunjukkan adanya gerak apsidal, TU CMA yang menunjukkan tidak adanya perubahan periode, MR Del yang menunjukkan perubahan periode sinusoidal selama 11,946 tahun akibat *light-time effect*, dan AV Pup yang menunjukkan perubahan periode orbit dengan laju sebesar $1,19 \times 10^{-7}$ hari/tahun atau 1,03 detik/abad akibat proses transfer massa. Tim BIMA juga mengeksplorasi penggunaan dua sistem magnitudo, yakni magnitudo \log_{10} dan magnitudo asinh untuk meningkatkan derajat kelugasan reduksi terhadap berbagai kualitas data pengamatan.

ABSTRACT

Keywords:

methods: observational,
techniques: photometric,
stars: eclipsing binaries

BIMA (The Eclipsing Binaries' MiniMA Monitoring Project) is an observational program aimed to observe the times of minimum (minima) of eclipsing binaries through CCD photometry and to determine its period change. Our team has been established the observational technique, the automation for image reduction and light curve, and the calculation for determining the minima since 2012. We also have analyzed the $O-C$ (Observed minus Calculated) diagrams of all observed system by combining our observed minima and minima from the literatures. Using $O-C$ diagram we can analyze the physical mechanisms that occur in eclipsing binaries. In this paper, we discuss the analysis of $O-C$ diagram of 4 eclipsing binaries which have different mechanisms. Those are V456 Oph which have an apsidal motion effect, TU CMa which have no period change, MR Del which have a 11.846 years of sinusoidal period due to light-time effect, and AV Pup which have a period change of 1.19×10^{-7} days/year or 1.03 second/century due to mass transfer. We also explore the utilization of two magnitude systems, i.e. \log_{10} and asinh magnitude system in order to increase the level of adaptivity for various quality of observational data.

1. Pendahuluan

Sistem bintang ganda gerhana merupakan sistem yang terdiri atas dua komponen bintang (atau lebih) yang mengelilingi titik pusat massa sistem, dan memiliki orientasi bidang orbit yang akan menyebabkan satu bintang melintas di depan bintang pasangannya jika dilihat dari arah pengamat. Dengan kata lain, suatu bintang menggerhanai bintang pasangannya. Dengan melakukan pengamatan fotometrik, kurva cahaya bintang ganda gerhana dapat diperoleh. Kurva cahaya bintang ganda gerhana terdiri dari dua waktu minima, yaitu waktu minimum primer dan minimum sekunder. Jika waktu minima telah diperoleh, maka perubahan periode orbit sistem dapat diketahui dengan membangun dan menganalisis diagram $O-C$. Perubahan periode ditandai dengan fenomena gerhana yang terjadi lebih cepat atau lebih lambat dari waktu yang diprediksi dari perhitungan pengamatan sebelumnya. Variasi ini dapat disebabkan oleh pengaruh benda ketiga di dalam sistem, proses transfer massa antar komponen atau mekanisme lainnya.

Proyek BIMA (The Eclipsing Binaries' MiniMA Monitoring Project) bertujuan untuk mengamati waktu minima pada kurva cahaya bintang ganda gerhana dari pengamatan

fotometrik CCD, serta menentukan efemeris dan perubahan periode orbit bintang ganda gerhana. Proyek ini diinisiasi sejak tahun 2012 di Observatorium Bosscha. Pada Desember 2012, National Astronomical Research Institute of Thailand (NARIT) bergabung dan menjadi kolaborator serta rekan utama dalam proyek ini.

2. Pengamatan dan Reduksi Citra

Objek penelitian untuk proyek BIMA disusun dari dua katalog, yaitu General Catalogue of Variable Stars (GCVS) dan All-Sky Automated Survey (ASAS)¹. Akan tetapi, ada kriteria yang diterapkan sebagai proses seleksi, yaitu bintang ganda gerhana yang memiliki periode orbit kurang dari dua hari atau bintang ganda gerhana periode pendek. Lebih dari 1000 bintang ganda gerhana masuk dalam kriteria tersebut. Proyek ini berfokus pada pengamatan waktu minima bintang ganda gerhana, sehingga prediksi waktu minima menjadi hal yang penting dalam perencanaan pengamatan. Prediksi ini dapat dihitung dengan menggunakan efemeris terbaru untuk setiap sistem. Dalam proyek ini digunakan efemeris yang disediakan oleh Kreiner (2004) pada situs <http://www.as.up.krakow.pl>.

¹ <http://www.astrow.edu.pl/asas/>
Seminar Nasional Sains Antariksa 2015 LAPAN
Bandung, 22 November 2015

Kurva cahaya hasil pengamatan dibangun dengan menggunakan teknik pengamatan fotometri diferensial. Dalam metode ini diperlukan bintang pembanding dan bintang cek. Bintang pembanding dan bintang cek adalah bintang yang kecerlangannya tidak bervariasi, berada di dalam satu medan pandang yang sama, dan memiliki warna yang mirip dengan bintang ganda gerhana yang diamati. Peta bintang dari laman Variable Star Plotter (VSP) American Association of Variable Star Observers (AAVSO) digunakan untuk mencari bintang pembanding dan bintang cek yang dekat dengan bintang ganda gerhana yang diamati.

Proyek ini dilakukan dengan menggunakan beberapa teleskop pada tiga lokasi pengamatan, yaitu Observatorium Bosscha di Indonesia, Thai National Observatory di Thailand dan Cerro Tololo Inter-American Observatory (CTIO) di Chili. Schmidt-Cassegrain Gunma Astronomical Observatory-Institut Teknologi Bandung Remote Telescope System (GAO-ITB RTS) 0,2 m yang dilengkapi dengan CCD SBIG ST Series dan filter Bessell *BVRI* digunakan pada proyek ini sejak Juni 2012. Pada Desember 2012, Panchromatic Robotic Optical Monitoring and Polarimetry Telescope (PROMPT) 0,6 m yang terletak di Chili mulai digunakan. Sedangkan teleskop Schmidt-Cassegrain 0,5 m yang dilengkapi dengan CCD Apogee dan teleskop Ritchey-Chretien 2,4 m yang dilengkapi dengan CCD ULTRASPEC yang terpasang di Thai National Observatory (TNO) mulai digunakan sejak Desember 2012.

Image Reduction and Analysis Facility (IRAF) digunakan untuk reduksi standar citra dan pengolahan data fotometri. Magnitudo setiap objek diperoleh dengan mengaplikasikan metode fotometri bukaan. Hasil pengolahan data berupa kurva cahaya dibangun dengan waktu pengamatan dalam satuan Heliocentric Julian Day (HJD) sebagai absis dan perbedaan (Δ) dari magnitudo bintang target dan bintang pembanding sebagai ordinat. Langkah-langkah tersebut dilakukan secara otomatis dengan perangkat lunak yang dibangun menggunakan bahasa pemrograman Python. Penentuan waktu minima dilakukan dengan menggunakan metode Kwee-van Worden (Kwee & van Woerden, 1956).

3. Hasil dan Analisis

Dari hasil pengamatan dan pengolahan data terbaru, tim BIMA telah berhasil memperoleh 88 waktu minima yang terdiri dari 71 minimum primer dan 17 minimum sekunder dari 48 sistem

bintang ganda gerhana. Selanjutnya, analisis perubahan periode dapat dilakukan dengan meninjau diagram *O-C* dari gabungan waktu minima yang telah teramati dengan waktu minima yang tersedia di literatur. Diagram *O-C* dalam konteks bintang ganda gerhana adalah sebuah plot yang menunjukkan waktu minimum dari kurva cahaya (*Observed*) dikurangkan dengan waktu prediksi terjadinya waktu minimum yang didapat dari satu persamaan eferemis yang digunakan (*Calculated*) terhadap waktu. Analisis pola diagram *O-C* dapat menggambarkan fenomena fisis yang terjadi pada bintang ganda gerhana.

Tabel 3-1

Waktu minima empat sistem bintang ganda gerhana yang diperoleh dari pengamatan fotometri CCD

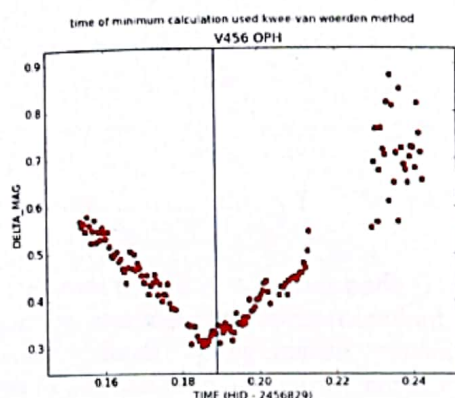
| Objek | Waktu Minimum (HJD) | Tipe | Filter | Instrumen |
|----------|---------------------|------|--------|-------------|
| V456 Oph | 2456829,18886 | II | V | GAO-ITB RTS |
| | 2456321,768589 | I | B | PROMPT-5 |
| | 2456321,769235 | I | V | PROMPT-5 |
| TU CMa | 2456321,768575 | I | R | PROMPT-5 |
| | 2456321,769258 | I | I | PROMPT-5 |
| | 2456665,749283 | I | V | PROMPT-4 |
| | 2456665,749287 | I | R | PROMPT-4 |
| MR Del | 2456816,370172 | II | V | GAO-ITB RTS |
| | 2456678,695370 | I | V | PROMPT-4 |
| AV Pup | 2456678,695321 | I | R | PROMPT-4 |
| | 2456743,077554 | I | V | 0,5 m TNO |

Selanjutnya akan dibahas mengenai hasil kurva cahaya serta analisis diagram *O-C* empat dari 88 sistem bintang ganda gerhana yang minimanya teramati, yaitu V456 Oph, TU CMa, MR Del, dan AV Pup. Tabel 3-1 melampirkan waktu minima yang diperoleh dari pengamatan fotometrik CCD oleh tim BIMA untuk empat sistem bintang ganda gerhana yang akan dibahas.

3.1. V456 Oph

V456 Oph ditemukan oleh Hoffmeister (1935) dan kemudian diklasifikasikan sebagai tipe Algol (Kukarkin et al., 1969). Analisis fotometri terbaru yang dilakukan oleh Zasche & Wolf (2011) menunjukkan adanya gerak apsidal dalam sistem ini. Gerak apsidal adalah gerak rotasi sumbu semi-mayor dari suatu orbit yang menyebabkan perubahan letak titik periastron bintang sekunder saat mengelilingi bintang primer.

Pengamatan fotometrik CCD pada filter V dilakukan selama satu malam pada tanggal 20 Juni 2014 dengan menggunakan GAO-ITB RTS 0,2 m. Dari pengamatan tersebut diperoleh satu waktu minimum sekunder yang dapat dilihat pada Gambar 3-1. Total 45 data waktu minimum primer dan 16 data waktu minimum sekunder diperoleh dari literatur [Diethelm (2010, 2012), Zasche (2010), Zasche and Wolf (2011), Hübscher and Lehmann (2012), Hoňková, et al. (2013), dan Samolyk (2013a)].



Gambar 3-1. Kurva cahaya V456 Oph pada filter V. Simbol berwarna merah menunjukkan titik data pengamatan dan garis vertikal biru menunjukkan lokasi waktu minimum yang ditentukan dengan metode Kwee-van Woerden.

Data tersebut kemudian digunakan untuk membangun diagram *O-C* dengan menggunakan efemeris linear dari Zasche & Wolf (2011):

$$Min. I = 2453923,9358 + 1,01600124 \times E \quad (3-1)$$

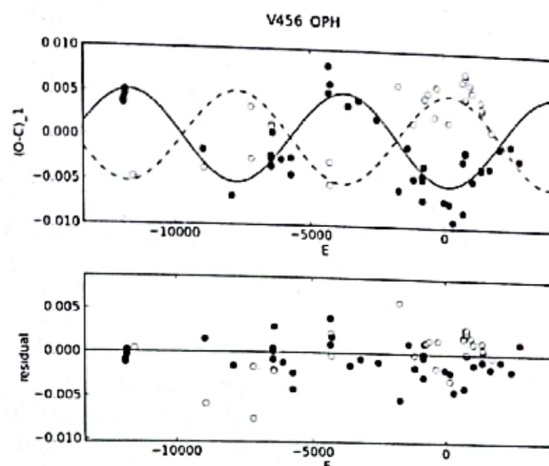
dengan *E* merepresentasikan nomor siklus. Hipotesis yang digunakan dalam membangun diagram *O-C* sistem ini adalah gerak apsidal dengan mengikuti metode yang dipaparkan oleh Gimenez & Garcia-Pelayo (1983).

Gambar 3-2 menunjukkan diagram *O-C* serta grafik residual dari sistem bintang ganda gerhana V456 Oph. Simbol lingkaran tertutup menandakan data pengamatan fotoelektrik dan CCD untuk waktu minimum primer, sedangkan simbol lingkaran terbuka untuk waktu minimum sekunder. Data pengamatan tim BIMA ditandai oleh simbol lingkaran berwarna merah. Garis tegas menunjukkan *fitting* terhadap waktu minimum primer dan garis putus-putus yang menunjukkan *fitting* waktu minimum sekunder.

Dapat dilihat bahwa diagram *O-C* V456 Oph menunjukkan pola gerak apsidal, yaitu terdapat dua buah pola periodik yang merepresentasikan

variasi periode minimum primer dan sekunder. Dari hasil analisis gerak apsidal, didapatkan elemen gerak apsidal yang ditunjukkan pada Tabel 3-2. Persamaan efemeris linear yang baru ditampilkan pada persamaan berikut:

$$Min. I = 2453923,9357 + 1,01600113 \times E \quad (3-2)$$



Gambar 3-2. Diagram *O-C* dan grafik residual V456 Oph

Tabel 3-2

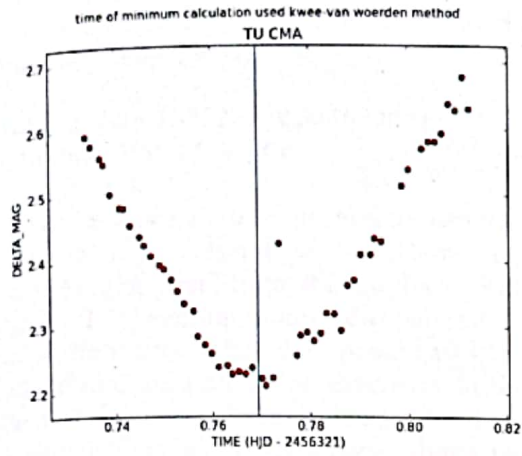
Elemen gerak apsidal V456 Oph.

| Elemen (satuan) | Nilai |
|---------------------------|---------------|
| T_0 (HJD) | 2453923,93570 |
| P_s (hari) | 1,02305 |
| P_a (hari) | 1,01600 |
| e | 0,01590 |
| ω_0 (°) | 352,5583 |
| $\dot{\omega}$ (°/siklus) | 0,0463 |

3.2. TU CMa

TU CMa diklasifikasikan sebagai tipe Algol oleh Malkov et al. (2006). Sejak pertama kali sistem ini dipublikasikan oleh GCVS pada tahun 1969, tidak ditemukan hasil penelitian secara rinci mengenai sistem ini. Pengamatan fotometrik CCD pada filter *BVRI* dilakukan selama dua malam pada Januari 2013 dan Januari 2014 dengan menggunakan PROMPT 0,6 m. Enam waktu minimum primer diperoleh dari pengamatan tersebut. Gambar 3-3 menunjukkan salah satu kurva cahaya pada filter *V* yang telah diperoleh. Dari total 51 waktu minima yang telah dikumpulkan dari berbagai literatur [Samolyk (2010b, 2011b, 2013a, 2013b)], dua diantaranya merupakan waktu minimum sekunder. Diagram *O-C* dibangun dengan menggunakan efemeris linear dari Mallama (1980):

$$Min. I = 2441316,34383 + 1,1278012 \times E \quad (3-3)$$

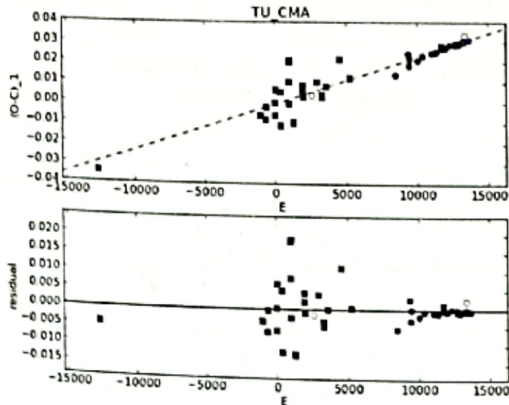


Gambar 3-3. Kurva cahaya TU CMa pada filter V

Diagram *O-C* dapat dilihat pada Gambar 3-4. Simbol persegi merepresentasikan waktu minimum hasil pengamatan visual dan fotografik, sedangkan lingkaran berwarna biru merupakan waktu minimum primer yang diperoleh dari pengamatan tim BIMA. Garis putus-putus pada diagram *O-C* memperlihatkan hasil *fitting* yang menunjukkan pola linear. Dari garis tersebut, dihasilkan efemeris linear baru untuk TU CMA:

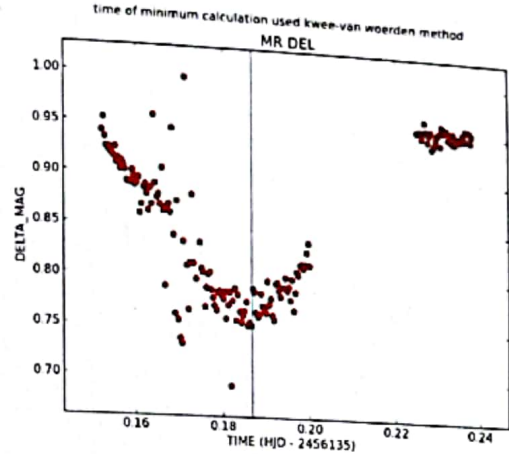
$$Min. I = 2441316,34366 + 1,12780354 \times E \quad (3-4)$$

Sebagian besar titik data mengikuti pola linear tersebut, kecuali untuk data hasil pengamatan visual dan fotografik. Hal ini menunjukkan tingkat akurasi penentuan waktu minima dengan metode ini tidak sebaik metode fotoelektrik dan CCD. Dapat disimpulkan bahwa tidak ada perubahan periode yang signifikan untuk sistem bintang ganda gerhana TU CMA.



Gambar 3-4. Diagram *O-C* dan grafik residual TU CMA

Seminar Nasional Sains Antariksa 2015 LAPAN
Bandung, 22 November 2015



Gambar 3-5. Kurva cahaya MR Del pada filter V

3.3. MR Del

Sistem bintang ganda gerhana MR Del ini ditemukan oleh Cutispoto et al. (1997) sebagai tipe Algol yang memiliki variabilitas tipe BY Dra. MR Del merupakan pasangan dari sistem bintang ganda visual, ADS 13940. Cutispoto (1997) menyebutkan bahwa sistem ini memiliki aktivitas fotosferik dan terdapat variabilitas pada panjang gelombang sinar-X. Hingga saat ini, tidak ada publikasi mengenai analisis diagram *O-C* dari MR Del.

Satu waktu minimum sekunder dalam filter V diperoleh dari pengamatan yang dilakukan pada tanggal 26 Juni 2012 dengan menggunakan GAO-ITB RTS 0,2 m. Dapat dilihat pada Gambar 3-5 bahwa kualitas data pengamatan untuk sistem ini tidak cukup bagus, sehingga diperlukan pengamatan ulang agar penentuan waktu minimum lebih akurat. Dengan menggabungkan seluruh 48 waktu minima yang diperoleh dari literatur [Kocián (2010), Nagai (2010, 2012, 2013, 2014), Brát, et al. (2011), Deb and Singh (2011), Djurašević et al. (2011), Hoňková, et al. (2013, 2014)] dan pengamatan tim BIMA, diagram *O-C* dapat dibangun dengan menggunakan efemeris linear dari Djurašević et al. (2011):

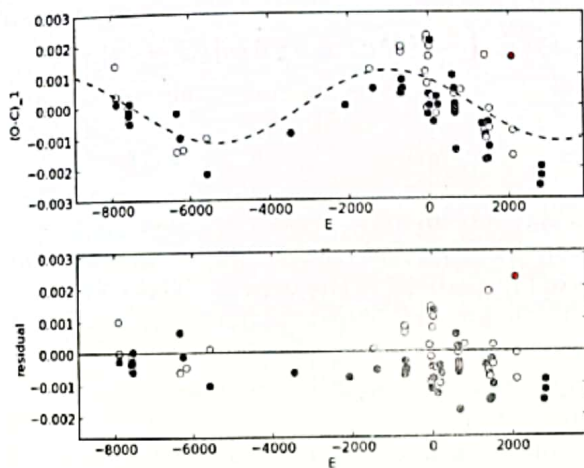
$$Min. I = 2455042,50557 + 0,5216903 \times E \quad (3-5)$$

Pada Gambar 3-6, garis putus-putus menunjukkan hasil *fitting* diagram *O-C* sistem ini. Dari diagram tersebut, terlihat adanya variasi sinusoidal dan terlihat bahwa titik data pengamatan fotometrik BIMA berada cukup jauh dari hasil *fitting*. Hal tersebut dapat disebabkan oleh kualitas data yang tidak cukup baik sehingga pengamatan ulang terhadap sistem ini

sangat disarankan. Meskipun begitu, terdapat beberapa simpulan yang dapat diambil dari analisis diagram ini. *Fitting* sinusoidal pada diagram *O-C* akan menghasilkan efemeris sinusoidal sebagai berikut:

$$Min.I = 2455042,50522 + 0,5216900 \times E + 0,0013 \sin(0,043^\circ \times E + 145^\circ) \quad (3-6)$$

Dari analisis suku sinusoidal persamaan (3-6), diperoleh periode sinusoidal selama 11,946 tahun dengan amplitudo 0,0013 hari. Variasi periode ini kemungkinan disebabkan oleh adanya *light-time effect* dari pasangan bintang ganda visual atau aktivitas magnetik di dalam sistem. Untuk mendukung simpulan di atas, diperlukan data fotometri kurva cahaya penuh dan spektroskopi sehingga parameter fisis dan orbit sistem ini dapat ditentukan dengan baik.



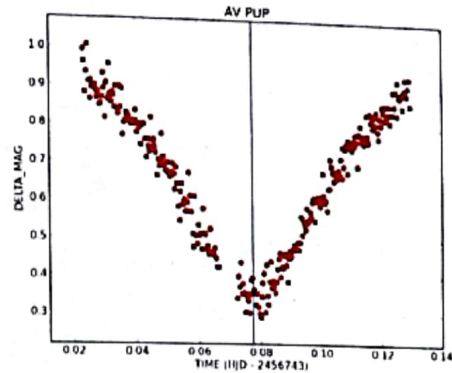
Gambar 3-6. Diagram *O-C* dan grafik residual MR Del

3.4. AV Pup

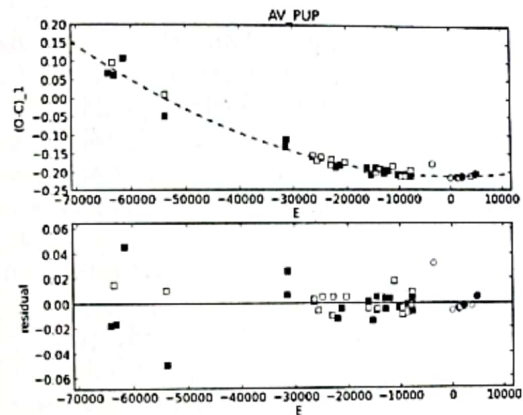
AV Pup diklasifikasikan sebagai tipe W dari kelas bintang W UMA oleh Kholopov et al. (1985). Seperti halnya TU CMa, sampai saat ini tidak ada hasil penelitian secara terperinci mengenai AV Pup. Pengamatan sistem ini dilakukan selama dua malam pada tanggal 21 Januari dan 26 Maret 2014 dengan menggunakan teleskop 0,5 m di TNO dan 0,6 m PROMPT. Tiga waktu minimum primer dalam filter *V* dan *R* berhasil diperoleh, Gambar 3-7 menunjukkan salah satu kurva cahaya hasil pengamatan pada filter *V* dengan menggunakan teleskop 0.5 m. Dengan mengumpulkan waktu minima yang diperoleh dari berbagai literatur [Samolyk (2010a, (2010b, 2011a, 2011b), Diethelm (2011, 2013), Kinman and Brown (2014)], diagram *O-C* dibangun

dengan menggunakan efemeris linear dari Diethelm (2011):

$$Min.I = 2454623,4790 + 0,435010 \times E \quad (3-6)$$



Gambar 3-7. Kurva cahaya AV Pup pada filter *V*



Gambar 3-8. Diagram *O-C* dan grafik residual AV Pup

Dari Gambar 3-8, dapat dilihat bahwa periode dari sistem AV Pup tidaklah konstan. Garis putus-putus menunjukkan hasil *fitting* kuadrat. Dengan melakukan analisis dari diagram *O-C*, sistem akan mengalami perubahan periode orbit dengan laju sebesar $1,19 \times 10^{-7}$ hari/tahun atau 1,03 detik/abad. Variasi ini dapat disebabkan oleh proses transfer massa antar komponen dalam sistem, dengan bintang primer telah memenuhi selubung Roche. Hal ini sesuai dengan pernyataan Giuricin et al. (1983) bahwa sistem ini merupakan sistem kontak.

4. Penerapan Magnitudo asinh

Secara umum, hasil pengamatan fotometrik objek astronomi mengkuantisasi besar fluks energi cahaya yang diterima pengamat di Bumi. Dengan menggunakan persamaan magnitudo berbasis \log_{10} (biasa disebut sebagai magnitudo

Pogson), fluks (f) dapat dikonversi menjadi skala kecerlangan objek atau disebut juga dengan skala magnitudo (m):

$$m = -2,5 \log f + C \quad (4-1)$$

dengan C sebagai titik nol fotometri. Persamaan (4-1) dapat memberikan galat magnitudo yang relatif kecil bila nilai fluks objek cukup besar dibandingkan dengan fluks langit latar belakang atau dengan kata lain sinyal yang diterima dari objek lebih besar dari derau hasil pengamatan. Bila *Signal-to-Noise ratio* (S/N) bernilai kecil ($S/N < 5$ atau bahkan mendekati 1), maka galat magnitudo yang diberikan oleh persamaan Pogson sangat besar.

Oleh karena itu, Lupton et al. (1999) mengajukan persamaan untuk menghitung nilai magnitudo menggunakan fungsi invers sinus hiperbolikus (asinh) yang dapat bekerja dengan baik pada data yang memiliki S/N rendah. Fungsi asinh dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\mu = (m_0 - 2,5 \log b') - a \sinh^{-1} \left(\frac{f}{2b'} \right) \quad (4-2)$$

yang mana pada persamaan di atas,

$$a = 2,5 \log e$$

$$m_0 = 2,5 \log f_0, b' = f_0 b$$

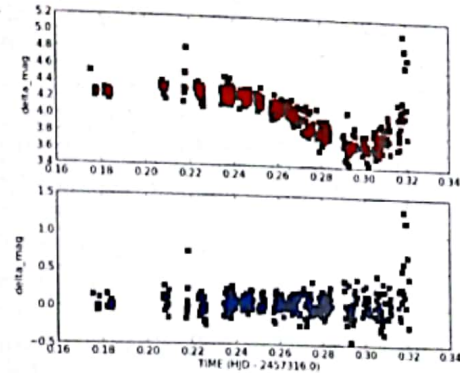
$$e = 2,718$$

b' = parameter *softening* (digunakan untuk menjaga nilai magnitudo \log_{10} agar sama dengan magnitudo asinh pada kasus objek dengan harga fluks yang tinggi)

Dalam penelitian ini, fungsi asinh dapat diterapkan pada bintang ganda gerhana yang redup dan memiliki amplitudo kurva cahaya yang besar. Sebagai hasil dari penerapan magnitudo asinh, kurva cahaya yang diperoleh akan menjadi lebih presisi di daerah minimum primer dan sekunder, sehingga penentuan waktu minima menjadi lebih akurat.

Sejauh ini data pengamatan yang berhasil diperoleh oleh tim BIMA memiliki nilai S/N yang cukup tinggi, sehingga penerapan magnitudo asinh akan memperoleh nilai yang sama dengan penggunaan magnitudo \log_{10} . Gambar 3-9 menunjukkan penerapan magnitudo asinh dan magnitudo \log_{10} pada kurva cahaya dari bintang ganda gerhana AE Phoenicis yang diamati pada tanggal 20 Oktober 2015. Magnitudo \log_{10} direpresentasikan dengan simbol kotak berwarna hitam, sedangkan magnitudo asinh direpresentasikan dengan simbol lingkaran berwarna merah pada grafik 3-9a dan biru pada grafik 3-9b. Pada grafik 3-9b terlihat sedikit perbedaan antara nilai data titik biru dan kotak hitam. Hal tersebut dikarenakan

nilai S/N yang rendah pada bagian kurva cahaya tersebut. Secara keseluruhan tidak terdapat perbedaan yang signifikan dari nilai magnitudo asinh dan magnitudo \log_{10} karena data pengamatan memiliki nilai S/N yang cukup (rata-rata S/N pada grafik 3-9a = 38,3, rata-rata S/N pada grafik 3-9b = 27,1).



Gambar 3-9. Perbandingan penerapan metode \log_{10} dan metode asinh. Grafik bagian atas (a) menunjukkan selisih nilai data antara magnitudo bintang ganda gerhana dan magnitudo bintang pembanding, sedangkan grafik bagian bawah (b) menunjukkan selisih nilai data antara magnitudo bintang pembanding dan bintang cek.

5. Simpulan

Dengan membangun diagram *O-C* berdasarkan waktu minima sistem bintang ganda yang diperoleh dari literatur dan hasil pengamatan tim BIMA, ke-empat sistem memiliki pola diagram *O-C* yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi mekanisme fisis yang berbeda pada setiap sistem. V456 Oph menunjukkan pola gerak apsidal, dimana parameter elemen gerakanya dapat diturunkan, TU CMA tidak menunjukkan adanya perubahan periode, MR Del menunjukkan perubahan periode sinusoidal selama 11,946 tahun yang dapat disebabkan oleh adanya *light-time effect* dari pasangan bintang ganda visual atau aktivitas magnetik pada sistem, dan AV Pup menunjukkan perubahan periode orbit dengan laju sebesar $1,19 \times 10^{-7}$ hari/tahun atau 1,03 detik/abad yang disebabkan oleh proses transfer massa.

Tim BIMA juga mengeksplorasi penggunaan dua sistem magnitudo, yakni magnitudo \log_{10} dan magnitudo asinh untuk meningkatkan derajat kelugasan reduksi terhadap berbagai kualitas data pengamatan. Akan tetapi, secara keseluruhan tidak terdapat perbedaan yang

signifikan karena sampai saat ini data pengamatan memiliki nilai S/N yang cukup. Perbedaan dari kedua sistem magnitudo ini bisa jadi terlihat signifikan apabila meninjau bintang ganda gerhana yang sangat redup dengan S/N yang rendah.

Ucapan Terima Kasih

Penulis ingin mengucapkan terima kasih atas bantuan dana yang diberikan oleh Program Riset dan Inovasi Kelompok Keahlian Institut Teknologi Bandung Batch II 2015 dengan nomor kontrak 833a/11.C01/PL/2015. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada seluruh staf Observatorium Bosscha, ITB dan NARIT untuk dukungan yang diberikan kepada proyek penelitian ini.

Rujukan

- Brát, L., Trnka, J., Šmelcer, L., Lehký, M., Kučáková, H., Lomoz, F., Hanzl, D., Vrašťák, M., Corfini, G., Přibík, V., Dřevěný, R., Ehrenberger, R., Kocián, R., Mašek, M., Polák, J., Starzomski, J., Marchi, F., Poddaný, S., Zejda, M., Cagaš, P., Klos, M., Garofalo, R., Klimentová, J., Kliment, P., Speil, J., Magris, M., Hladík, B., Hoňková, K., Juryšek, J., Smyčka, T., Moudrá, M., Naves, R., Ruocco, N., Zahajský, J., Audejean, M., Pejcha, O., Uhlář, R., Vieira, J., Zasche, P. and Zambelli, R. (2011). B.R.N.O. Contributions #37 Times of minima, *OEJV*. 137-157.
- Cutispoto, G., Kurster, M., Messina, S., Rodono, M. and Tagliaferri, G. (1997). Discovery of Two Short-Period Eclipsing Binaries with Active Components, *Astron. Astrophys.* 320, 586.
- Cutispoto, G. (1997). VizieR Online Data Catalog: *UBV(RI)c* Photometry of Active Stars VII, *Astron. Astrophys.* 127, 207.
- Deb, S. And Singh, H.P. (2011). Physical parameters of 62 eclipsing binary stars using the All Sky Automated Survei-3 data - I, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 412, 1787-1803.
- Diethelm, R. (2010). Timings of Minima of Eclipsing Binaries, *Inf. Bull. Var. Stars.* 5945, 1-9.
- Diethelm, R. (2011). Timings of Minima of Eclipsing Binaries, *Inf. Bull. Var. Stars.* 5992, 1-22.
- Diethelm, R. (2012). Timings of Minima of Eclipsing Binaries, *Inf. Bull. Var. Stars.* 6029, 1-22.
- Diethelm, R. (2013). Timings of Minima of Eclipsing Binaries, *Inf. Bull. Var. Stars.* 6402, 1-10.
- Djurašević, G., Yilmaz, M., Bastürk, Ö., Kılıçoğlu, T., Latkovic, O. and Çalışkan, S. (2011). Physical Parameters of Close Binaries QX Andromedae, RW Comae Berenices, MR Delphini, and BD +079° 3142, *Astron. Astrophys.* 525, A66.
- Gimenez and Garcia-Pelayo (1983). A New Method for the Analysis of Apsidal Motions in Eclipsing Binaries, *Astrophys Space Sci.* 92, 203.
- Giuricin, G., Mardirossian, F., and Mezzeti, M. (1983). Statistics of Categorized Eclipsing Binary Systems Light Curve Shapes, Periods, and Spectral Types, *Astron. Astrophys.* 54, 211.
- Hoffmeister, C. (1935). 162 neue Veranderliche, *Astron. Nachr.* 255, 401.
- Kholopov, P. N., Samus, N. N., Kazarovets, E. V. and Perova, N. B. (1985). The 67th Name-List of Variable Stars, *Inf. Bull. Var. Stars.* 2681, 1.
- Kinman, T.D. and Brown, W.R. (2014). The Identification of RR Lyrae and δ Scuti Stars from Variable Galaxy Evolution Explorer Ultraviolet Sources, *Astron. J.* 148, 121-137.
- Kreiner, J. M. (2004). Up-to-Date Linear Element of Eclipsing Binaries, *Acta Astron.* 54, 207.
- Kukarkin, B. V., Kholopov, P. N., Efremov, Y. N., Kukarkina, N. P., Kurochkin, N. E., Medvedeva, G. I., Perova, N. B., Fedorovich, V. P. and Frolov, M. S. (1969). General Catalogue of Variable Stars Volume 1, *Gen. Cat. Var. Stars.*
- Hoňková, K., Juryšek, J., Lehký, M., Šmelcer, L., Trnka, J., Mašek, M., Urbaník, M., Auer, R., Vrašťák, M., Kučáková, H., Ruocco, N., Magris, M., Polák, J., Brát, L., Audejean, M., Banfi, M., Moudrá, M., Lomoz, F., Přibík, V., Dřevěný, R., Scaggiante, F., Kocián, R., Cagaš, P., Poddaný, S., Zibar, M., Jacobsen, J., Marek, P., Colazo, C., Zardin, D., Sobotka, P., Starzomski, J., Hladík, B., Vincenzi, M., Skarka, M., Walter, F., Chapman, A., Díaz, N. D., Aceti, P., Singh, P., Kalista, L., Kameneč, M., Zejda, M., Marchi, F., Bílek, F., Guzzo, P., Corfini, G., Onderková, K., Hečko, A., Mina, F., Vítek, M., Barsa, R., Quinones, C., Taormina, M., Melia, R., Schneider, M., Scavuzzo, A., Marcionni, N., Ehrenberger, R., Tapia, L., Fasseta, G., Suarez, N., Scaggiante, D., Artusi, E., Garcia, R., Grnja, J., Fišer, A., Hynek, T., Vilášek, M., Rozehnal, J., Kalisch, T., Lang, K., Gorková, S., Novýsedlák, R., Salvaggio, F., Smyčka, T., Spurný, M., Wikander, T., Mravík, J., Šuchaň, J. and

- Čaloud, J. (2013). B.R.N.O. Contributions #38 Times of minima, *OEJV*. 160, 1-174.
- Hoňková, K., Juryšek, J., Lehký, M., Šmelcer, L., Trnka, J., Mašek, M., Urbaník, M., Auer, R., Vrašťák, M., Kučáková, H., Ruocco, N., Magris, M., Polák, J., Brát, L., Audejean, M., Banfi, M., Moudrá, M., Lomoz, F., Přibík, V., Dřevěný, R., Scaggiante, F., Kocián, R., Cagaš, P., Poddaný, S., Zíbar, M., Jacobsen, J., Marek, P., Colazo, C., Zardin, D., Sobotka, P., Starzowski, J., Hladík, B., Vincenzi, M., Skarka, M., Walter, F., Chapman, A., Díaz, N. D., Aceti, P., Singh, P., Kalista, L., Kamenec, M., Zejda, M., Marchi, F., Bílek, F., Guzzo, P., Corfini, G., Onderková, K., Hečko, A., Mina, F., Vitek, M., Barsa, R., Quinones, C., Taormina, M., Melia, R., Schneider, M., Scavuzzo, A., Marconni, N., Ehrenberger, R., Tapia, L., Fasseta, G., Suarez, N., Scaggiante, D., Artusi, E., Garcia, R., Grnja, J., Fišer, A., Hynek, T., Vilášek, M., Rozehnal, J., Kalisch, T., Lang, K., Gorková, S., Novysedlák, R., Salvaggio, F., Smyčka, T., Spurný, M., Wikander, T., Mravík, J., Šuchaň, J. and Čaloud, J. (2014). Erratum: B.R.N.O. Contributions #38 Times of minima of eclipsing binary", *OEJV*. 165, 1-18.
- Hübscher, J. and Lehmann, P.B. (2012). BAV-Results of observations - Photoelectric Minima of Selected Eclipsing Binaries and Maxima of Pulsating Stars, *Inf. Bull. Var. Stars*. 6026, 1-24.
- Kocián, R. (2010). Proceedings of the 41st Conference on Variable Stars Research, *OEJV*. 125, 1-32.
- Kwee, K.K. and van Woerden, H. (1956) A Method for Computing Accurately the Epoch of Minimum of an Eclipsing Variable, *Bull. Astron. Inst. Netherlands*. 12, 327.
- Lupton, R. H., Gunn, J. E. and Szalay, A. S. (1999). A Modified Magnitude System that Produces Well-Behaved Magnitudes, Colors, and Errors Even for Low Signal-to-Noise Ratio Measurements, *Astron. J.* 118, 1406.
- Malkov O. Yu., Oblak, E., Snegireva, E. A. and Torra, J. (2006). A Catalogue of Eclipsing Variables, *Astron. Astrophys.* 446, 785.
- Mallama, A. D. (1980). New Ephemerides for 120 Eclipsing Binary Stars, *Astrophys. J.* 44, 241.
- Nagai, K. (2010). Visual and CCD minima of eclipsing binaries during 2009, *Var. Star Bull.* 50, 1-10.
- Nagai, K. (2012). Visual and CCD minima of eclipsing binaries during 2011, *Var. Star Bull.* 53, 1-10.
- Nagai, K. (2013). Visual and CCD minima of eclipsing binaries during 2012, *Var. Star Bull.* 55, 1-10.
- Nagai, K. (2014). Visual and CCD minima of eclipsing binaries during 2013, *Var. Star Bull.* 56, 1-9.
- Samolyk, G (2010a). Recent Minima of 161 Eclipsing Binary Stars, *J. Amer. Assoc. Var. Star Obs.* 38, 85-92.
- Samolyk, G (2010b). Recent CCD Minima of 185 Eclipsing Binary Stars, *J. Amer. Assoc. Var. Star Obs.* 38, 183-192.
- Samolyk, G (2011a). Recent Minima of 144 Eclipsing Binary Stars, *J. Amer. Assoc. Var. Star Obs.* 39, 94-101.
- Samolyk, G (2011b). Recent Minima of 146 Eclipsing Binary Stars, *J. Amer. Assoc. Var. Star Obs.* 39, 177-185.
- Samolyk, G (2013a). Recent Minima of 273 Eclipsing Binary Stars, *J. Amer. Assoc. Var. Star Obs.* 41, 122-133.
- Samolyk, G (2013b). Recent Minima of 199 Eclipsing Binary Stars, *J. Amer. Assoc. Var. Star Obs.* 41, 328-337.
- Zasche, P. (2010). 101 Minima Times of Eclipsing Binaries Observed by INTEGRAL/OMC, *Inf. Bull. Var. Stars*. 5931, 1-3.
- Zasche, P., Uhlar, R., Kucakova, H. and Svoboda, P. (2011). Collection of Minima, *Inf. Bull. Var. Stars*. 6007, 1-12.
- Zasche, P. and Wolf, M. (2011). V456 Ophiuci and V490 Cygni: System with the shortest apsidal-motion periods, *Astron. Astrophys.* 527, A43.