

# **USIA DAN KEGANDAAN OGLE-LMC 316/317 (THE AGE AND BINARITY OF OGLE-LMC 316/317)**

Rhorom Priyatikanto

Pusat Sains Antariksa

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

Jl. Dr. Djundjunan no. 133 Bandung 40173

e-mail: rhorom.priyatikanto@lapan.go.id

Diterima 2 September 2016; Direvisi 15 September 2017; Disetujui 30 Oktober 2017

## **ABSTRACT**

Large Magellanic Cloud (LMC) is a home of thousands of star clusters with various ages and metallicities. This galaxy also becomes the ideal laboratory for understanding binary cluster population which is large in number. One of the binary cluster candidates within the galaxy is OGLE-LMC 316/317 which is located near the bar of LMC. The age of OGLE-LMC 317 had not been determined, while the age of OGLE-LMC 316 was doubted. Whereas, age is an important parameter in the study of system binarity. In this study, photometry data from Optical Gravitational Lensing Experiment (OGLE) was used to construct color magnitude diagram and to estimate the age of OGLE-LMC 316/317. The results were the estimated ages of OGLE-LMC 316 and OGLE-LMC 317 which were 63 and 160 million years respectively. Based on these results, OGLE-LMC 316/317 system which has projected separation of 5 pc can be considered as primordial and coeval binary star cluster.

Keyword: *photometry, binary cluster, Large Magellanic Cloud*

## ABSTRAK

*Large Magellanic Cloud* (LMC) merupakan rumah bagi ribuan gugus bintang dengan beragam usia dan metalisitas. Galaksi ini juga menjadi laboratorium ideal untuk memahami populasi gugus ganda yang melimpah jumlahnya. Salah satu kandidat gugus ganda di dalamnya adalah OGLE-LMC 316/317 yang terletak di dekat batang LMC. Usia OGLE-LMC 317 belum diketahui, sementara usia OGLE-LMC 316 masih disangsikan. Padahal usia adalah parameter penting untuk mempelajari kegandaan dari sistem ini. Pada studi ini, data fotometri *Optical Gravitational Lensing Experiment* (OGLE) digunakan untuk membangun diagram warna magnitudo dan memperkirakan usia OGLE-LMC 316/317. Hasilnya, OGLE-LMC 316 diperkirakan berusia 63 juta tahun sementara OGLE-LMC 317 setidaknya berusia 160 juta tahun. Berdasarkan hasil ini, sistem OGLE-LMC 316/317 yang memiliki jarak pisah di bidang langit sebesar 5 pc dapat dianggap sebagai gugus ganda *primordial* dan *coeval*.

Kata kunci: *fotometri, gugus ganda, Large Magellanic Cloud*

### 1 PENDAHULUAN

Awan Magellan Besar (*Large Magellanic Cloud*, LMC) merupakan galaksi ireguler yang paling dekat dari Bimasakti dan menjadi rumah bagi ribuan gugus bintang dengan beragam usia dan metalisitas serta sejarah pembentukan yang menarik (Harris dan Zaritsky, 2009; Baumgardt *et al.*, 2013). Galaksi yang memiliki modulus jarak 18,49 dan berada pada jarak 49,89 kpc (de Grijs *et al.*, 2014) ini juga mengandung ratusan pasangan gugus bintang yang tampak berdekatan dan dianggap sebagai kandidat gugus ganda (Bhatia dan Hatzidimitriou, 1988; Pietrzynski dan Udalski, 2000b). Berdasarkan hasil survey menggunakan *United Kingdom Schmidt Telescope*, (Bhatia dan Hatzidimitriou, 1988) berhasil mengidentifikasi 69 pasangan gugus bintang dengan jarak pisah di bidang langit tidak lebih dari 18 pc. Lebih dari satu dekade berikutnya, Pietrzynski dan Udalski (2000b) mendaftarkan 100 kandidat sistem gugus jamak (*multiple clusters*) berdasarkan data pengamatan *Optical Gravitational Lensing Experiment* (OGLE, Udalski *et al.*, 1997). Sebagian besar di antara pasangan tersebut memiliki umur yang hampir sama sehingga dapat dianggap sebagai sistem *coeval* sementara beberapa yang lainnya bisa jadi tampak berdekatan secara kebetulan

(Bhatia dan Hatzidimitriou, 1988; Dieball *et al.*, 2002).

Populasi gugus ganda di LMC memiliki daya tarik yang istimewa karena jumlahnya lebih tinggi dibandingkan populasi sejenis di Bimasakti, khususnya di sekitar Matahari (Subramaniam *et al.*, 1995; de la Fuente Marcos dan de la Fuente Marcos, 2009). Salah satu faktor yang menyebabkan tingginya jumlah gugus ganda di LMC adalah tingginya dispersi kecepatan awan molekul di galaksi ini. Dispersi kecepatan yang tinggi dipicu oleh papasan antara LMC dan *Small Magellanic Cloud* (SMC) sekitar 200 juta tahun yang lalu (Gardiner *et al.*, 1994). Kejadian dramatis ini dapat meningkatkan laju pembentukan gugus dan juga meningkatkan frekuensi papasan antar awan molekul menjadi mekanisme pembentukan gugus ganda (Fujimoto dan Kumai, 1997; Bekki *et al.*, 2004). Namun, kala hidup gugus ganda tergolong singkat, yakni sekitar 100 juta tahun (Bhatia, 1990). Gugus ganda dengan separasi kecil mengalami pasang surut internal yang berakhir pada penggabungan, sementara sistem dengan separasi besar akan terpisah karena gangguan eksternal (De la Fuente Marcos dan De la Fuente Marcos, 2010; Priyatikanto *et al.*, 2016).

Untuk memahami karakteristik gugus ganda di LMC, perlu dilakukan studi statistik yang komprehensif

terhadap populasi ini. Langkah semacam ini pernah dilakukan oleh Dieball *et al.* (2002) menggunakan katalog gugus bintang yang disusun oleh Bica *et al.* (1999). Beberapa karakter yang didiskusikan dalam pekerjaan tersebut adalah jarak pisah komponen, distribusi ukuran, distribusi spasial di LMC, serta usianya. Untuk telaah usia gugus dalam sistem gugus ganda, (Dieball *et al.*, 2002) hanya menggunakan sekitar 27% dari total populasi karena usia sebagian besar gugus memang belum diketahui. Keterbatasan yang sama masih ditemui pada katalog terbaru (misalnya Bica *et al.*, 2008; Baumgardt *et al.*, 2013). Masih banyak kandidat gugus ganda di LMC yang belum diperkirakan usianya, salah satunya adalah OGLE-LMC 317 yang berada dekat dengan OGLE-LMC 316 (Pietrzynski *et al.*, 1999; Pietrzynski dan Udalski, 2000a).

Sebagai langkah awal untuk melengkapi data katalog gugus ganda di LMC, dilakukan telaah terhadap data fotometri OGLE (Udalski *et al.*, 1997; Szymanski, 2005), terutama pada arah OGLE-LMC 316/317, untuk memperkirakan usia kedua gugus serta menelaah kegandaan dari sistem tersebut. Data fotometri dan juga model *isochrone* yang digunakan dalam studi ini akan diulas secara singkat pada Bagian 2. Metode dekontaminasi diagram warna-magnitudo (*Color-Magnitude Diagram*, CMD) akan dijelaskan pada Bagian 3. Hasil implementasi metode tersebut serta pembahasan yang terkait akan disampaikan pada Bagian 4.

## 2 DATA

### 2.1 Fotometri OGLE

Data fotometri yang digunakan dalam studi ini merupakan hasil survei OGLE ke arah LMC pada pita B, V, dan I (Udalski *et al.*, 1997). Teleskop yang digunakan dalam survei ini adalah teleskop Warsaw berdiameter 1,3 m yang berada di *Observatorium Las Campanas*, Chile. Detektor yang digunakan adalah kamera *Charge Coupled Device* (CCD)

berukuran  $2048 \times 2048$  *pixel* dengan ukuran *pixel* 24 mikron serta skala bayangan 0,417 detik busur/*pixel*. Pada arah LMC, katalog fotometri OGLE mencakup area dengan luas 4,5 derajat persegi serta berisikan  $6,8 \times 10^6$  obyek pada pita I. Ekstraksi *fluks* untuk setiap obyek dilakukan dengan metode fotometri *Point Spread Function* (PSF). Dengan sistem semacam ini, OGLE dapat mendeteksi obyek dengan magnitudo V antara 12 hingga 22.

Data fotometri obyek dari survei OGLE diakses secara *on-line* sebagaimana dideskripsikan oleh Szymanski (2005). Data yang diunduh berisikan data posisi (asensio rekta dan deklinasi), identitas obyek (menurut penomoran OGLE), serta magnitudo dan galat magnitudo obyek pada pita V dan I. Magnitudo pada pita B tidak digunakan dalam studi ini karena tingkat kelengkapan data yang jauh lebih rendah. Area langit yang ditelaah berukuran  $150'' \times 150''$  dan berpusat di OGLE-LMC 317 ( $\alpha = 79,44142^\circ$ ,  $\delta = -69,57344^\circ$ ). Area tersebut mencakup OGLE-LMC 316/317, OGLE-LMC 321 serta bintang-bintang medan yang digunakan dalam proses dekontaminasi CMD. Gambar 2-1 menunjukkan lokasi objek di dekat batang LMC.

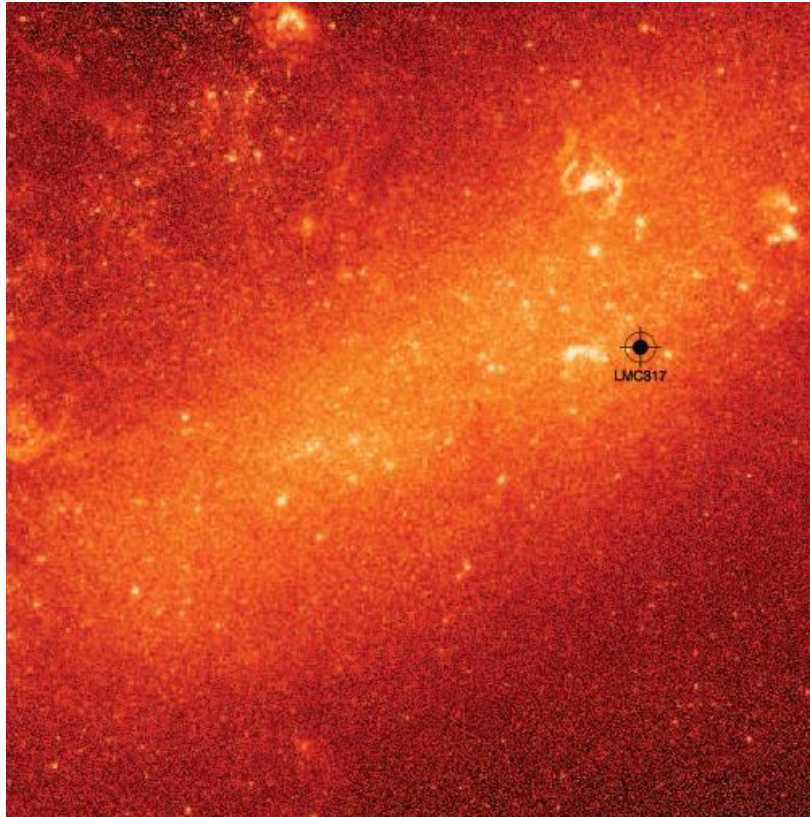
Karakteristik dan akurasi fotometri OGLE dapat dilihat dari Gambar 2-2. Nilai median galat magnitudo pita V ( $\sigma_V$ ) adalah 0,12 sementara median galat magnitudo pita I ( $\sigma_I$ ) adalah 0,17. Dengan statistik semacam ini, dirasa cukup bijak untuk menggunakan data dengan  $\sigma_V \leq 0,2$  dan  $\sigma_I \leq 0,2$  untuk proses selanjutnya.

### 2.2 PARSEC Isochrone

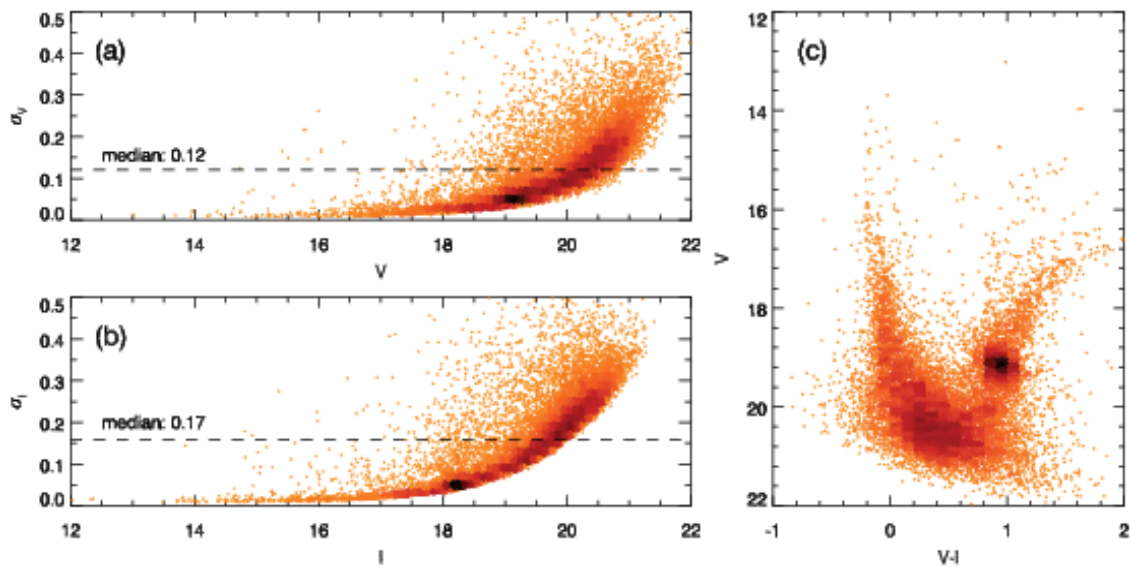
Untuk memperkirakan usia gugus bintang di LMC, digunakan suatu model *isochrone* yang pada dasarnya merupakan data fotometri bintang dengan berbagai massa, tetapi memiliki usia yang sama. Dalam studi ini, digunakan PARSEC Isochrone (Bressan *et al.*, 2012) versi 1.2S yang mencakup rentang massa 0,1 hingga 350 kali massa Matahari serta rentang metalisitas

$0,0001 \leq Z \leq 0,02$ . Rentang umur yang digunakan adalah  $6,60 \leq \log(t) \leq 10,0$  dengan jeda  $\Delta \log(t) = 0,05$ . Parameter fisis bintang yang dihasilkan perlu diterjemahkan ke dalam aspek

observasional, terutama magnitudo mutlak bintang. Proses ini dilakukan dengan mengadopsi model atmosfer bintang tertentu.



Gambar 2-1: Citra *Digitized Sky Survey* (DSS) berukuran  $2^\circ \times 2^\circ$  dari LMC yang diambil pada pita R. Titik tebal menandai lokasi OGLE-LMC 316/317 yang menjadi fokus dalam studi ini. Data diambil dari *Digitized Sky Survey Data Archive* dari National Astronomical Observatory of Japan (<https://dss.naoj.ac.jp>)



Gambar 2-2: Karakteristik data fotometri OGLE pada arah OGLE-LMC 316/317 yang direpresentasikan oleh plot galat magnitudo pada pita V (a) dan I (b) serta *Hess-diagram* (c)

Dalam studi ini, *isochrone* yang digunakan memiliki metalisitas  $Z = 0,008$  yang menjadi nilai tipikal gugus bintang di LMC (Pietrzynski dan Udalski, 2000b). Sistem fotometri yang digunakan adalah fotometri OGLE yang sedikit berbeda dengan sistem fotometri Bessel. Fungsi massa awal yang digunakan dalam model ini adalah fungsi massa *Canonical Two-Part-Power Law* (Kroupa, 2001; Kroupa dan Boily, 2002). Dibandingkan dengan model terdahulu, PARSEC *Isochrone* telah mencakup bintang pra-deret utama sehingga cocok untuk menganalisis gugus bintang berusia beberapa juta tahun.

### 3 METODOLOGI

Terdapat sejumlah cara untuk memperkirakan usia gugus bintang, di antaranya adalah pencocokan *isochrone* dengan data fotometri, terutama pada diagram warna-magnitudo (CMD). Namun, proses ini tidak dapat dilakukan dengan mudah karena bintang anggota gugus tampak bercampur dengan bintang medan yang ada pada arah yang sama. Dampaknya adalah CMD yang tidak murni dan perlu dibersihkan (dekontaminasi). Proses dekontaminasi dilakukan dengan mengasumsikan bahwa bintang-bintang anggota gugus memiliki karakteristik fisik, kinematik, dan spasial yang hampir mirip. Untuk gugus bintang di Bimasakti, data kinematik seperti gerak diri (*proper motion*) atau kecepatan radial dapat digunakan untuk keperluan ini (misalnya Priyatikanto dan Arifyanto, 2015), tetapi data semacam ini hampir tidak ada untuk gugus ekstragalaktik. Maka dari itu, proses dekontaminasi hanya dapat dilakukan berdasarkan data fotometri dan posisi (spasial).

Dekontaminasi data fotometri atau dekontaminasi CMD biasa dilakukan dengan metode non-parametrik melalui berbagai pendekatan. Terdapat dua metode dekontaminasi CMD yang digunakan dalam studi ini, yakni metode eliminasi dan metode kerapatan lokal. Keluaran dari proses dekontaminasi adalah probabilitas keanggotaan secara

fotometri. Parameter kuantitatif ini akan dipadukan dengan pembobotan spasial untuk mendapatkan probabilitas keanggotaan final. Bintang-bintang dengan probabilitas keanggotaan lebih dari 50% digunakan untuk *isochrone fitting*.

#### 3.1 Metode Eliminasi

Metode eliminasi yang digunakan dalam studi ini terinspirasi dari Piatti dan Bica (2012). Dalam metode ini, terdapat dua jenis area yang ditelaah, yakni area gugus (*in-field*) dan area medan (*out-field*). Area gugus adalah lingkaran yang berpusat pada gugus dan memiliki radius 2 kali radius gugus ( $R_C$ ) sebagaimana tercatat dalam katalog (Pietrzynski *et al.*, 1999). Area medan adalah empat buah lingkaran yang berjarak  $4R_C$  dari gugus dan memiliki luas masing-masing  $\frac{1}{4}$  dari area gugus. Dengan demikian, luas total area medan sama dengan luas area gugus. Area medan dianggap hanya berisikan bintang medan saja sehingga lokasi area medan dipastikan tidak beririsan dengan lokasi gugus bintang.

Piatti dan Bica (2012) menggunakan bintang di area medan (bintang medan) untuk melakukan eliminasi terhadap bintang di area gugus. Prinsipnya, setiap bintang medan memiliki area bebas (*free path*) di CMD berbentuk persegi panjang dengan ukuran  $\Delta_{VI} \times \Delta_V$ , dengan  $\Delta_{VI}$  menyatakan jarak bintang terdekat pada arah mendatar ( $V - I$ ) sedangkan  $\Delta_V$  menyatakan jarak terdekat pada arah vertikal ( $V$ ). Namun, ada syarat tambahan yang diterapkan, yakni  $\Delta_{VI} < 0,8$  dan  $\Delta_V < 1,0$ . Bila terdapat bintang di area gugus yang berada di area bebas yang telah didefinisikan, maka bintang tersebut akan tereliminasi. Setiap bintang medan memberikan sumbangsih terhadap satu kali eliminasi. Semakin sedikit bintang mengalami eliminasi, semakin besar probabilitasnya sebagai anggota gugus.

#### 3.2 Metode Kerapatan Lokal

Metode ini dapat dianggap sebagai penyederhanaan dari metode non-

parametrik yang dideskripsikan oleh Priyatikanto dan Arifyanto (2015). Deskripsi *in-field* dan *out-field* dalam metode ini tidak berbeda dengan deskripsi sebelumnya. Perbedaan terletak pada proses pemodelan CMD dari bintang medan dan juga CMD dari bintang dalam area gugus.

Probabilitas bintang anggota gugus dinyatakan sebagai:

$$P = 1 - \frac{f_{out}}{f_{in}} \quad (3-1)$$

dengan  $f_{in}$  dan  $f_{out}$  berturut-turut menyatakan kerapatan CMD area gugus dan CMD bintang medan. Kerapatan lokal CMD diperkirakan dengan metode histogram 2-dimensi dengan lebar kelas 0,04 pada sumbu mendatar dan 0,1 pada sumbu vertikal. Galat magnitudo dan warna diperhitungkan dalam memperkirakan kerapatan lokal. Caranya adalah dengan membuat 50 *dummy points* yang terdistribusi normal di sekitar setiap titik data. Lebar sayap (1 $\sigma$ ) dari distribusi tersebut sama dengan galat magnitudo dan warna.

### 3.3 Pembobotan Spasial

Probabilitas keanggotaan yang diperoleh berdasarkan data fotometri perlu disempurnakan dengan pembobotan spasial. Bintang yang berada di pusat gugus memiliki bobot yang lebih tinggi dibandingkan bintang yang ada di tepian area gugus. Untuk keperluan pembobotan secara parametrik, fungsi kerapatan yang digunakan adalah fungsi kerapatan EFF (Elson *et al.*, 1987) yang lebih cocok digunakan untuk gugus bintang LMC. Kerapatan bintang sebagai fungsi radius dinyatakan sebagai:

$$n(r) = n_0 \left( 1 + \frac{r^2}{R_c^2} \right)^{-\gamma/2} \quad (3-2)$$

dengan  $n_0$  menyatakan kerapatan pusat gugus,  $r$  menyatakan jarak dari pusat,  $a$  menyatakan skala radius (*core parameter*), dan  $\gamma$  menyatakan gradien kerapatan EFF. Dalam studi ini, digunakan  $n_0 = 1$ ,  $a = 2/3 R_c$ , dan  $\gamma = 1,0$ . Bobot yang diberikan sebanding dengan nilai  $n$  setiap bintang.

## 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 OGLE-LMC 317

Hasil dekontaminasi dan pencocokan isochrone terhadap CMD gugus bintang OGLE-LMC317 disajikan pada Gambar 4-1 dan Gambar 4-2. Keduanya berturut-turut diperoleh dengan metode eliminasi dan kerapatan lokal yang memperhitungkan galat magnitudo. Area medan yang digunakan pada kedua proses adalah sama, yakni berada di sebelah utara dari gugus. Pemilihan lokasi didasari oleh posisi OGLE-LMC 321 yang berada di sebelah selatan OGLE-LMC 317. Selain itu, ada area kosong di sebelah selatan karena bintang latar depan yang amat terang menutupi pandangan ke arah LMC.

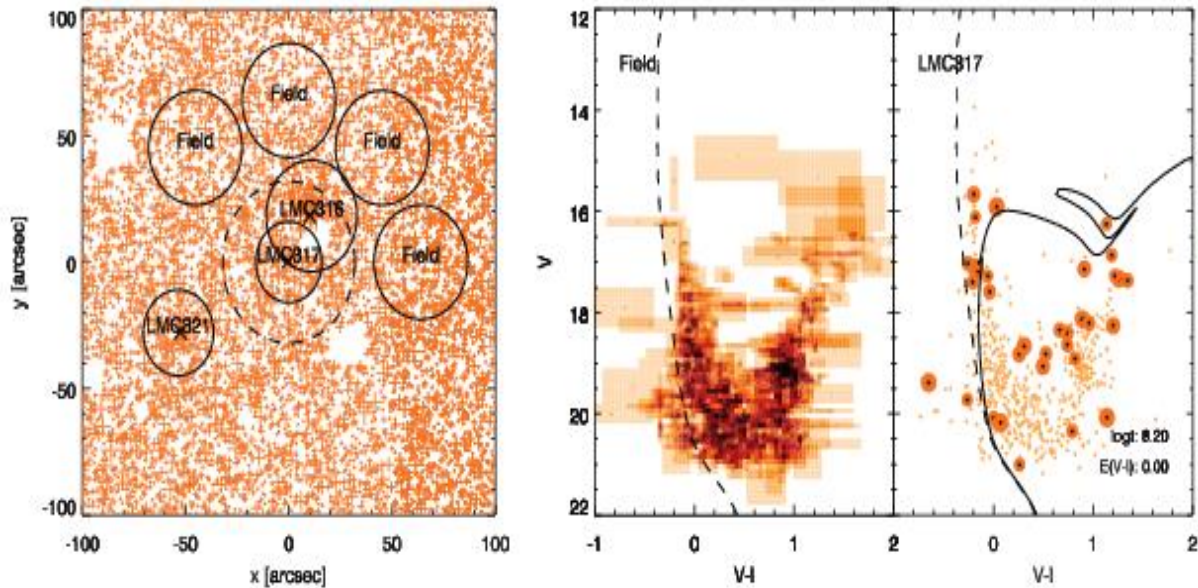
Metode eliminasi dan kerapatan lokal memiliki kinerja yang berbeda dalam proses dekontaminasi. Hasil yang diperoleh pun berbeda. Sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4-1, daerah eliminasi tidaklah seragam dan menyisakan beberapa celah, terutama di sekitar cabang sub raksasa (*subgiant branch*) dan bagian bawah deret utama. Konsekuensinya, terdapat sejumlah bintang yang memiliki probabilitas keanggotaan yang tinggi tetapi dapat dianggap residu.

Hal serupa pernah didiskusikan oleh (Piatti *et al.*, 2014) yang menggunakan metode sejenis untuk menganalisis gugus bintang dari *VISTA survey Magellanic of the Magellanic Clouds system* (VMC). Pembobotan berdasarkan data spasial mengurangi residu semacam ini. Pembobotan yang diterapkan juga dapat menanggalkan beberapa bintang terang yang berada jauh dari pusat OGLE-LMC317, misalnya beberapa bintang

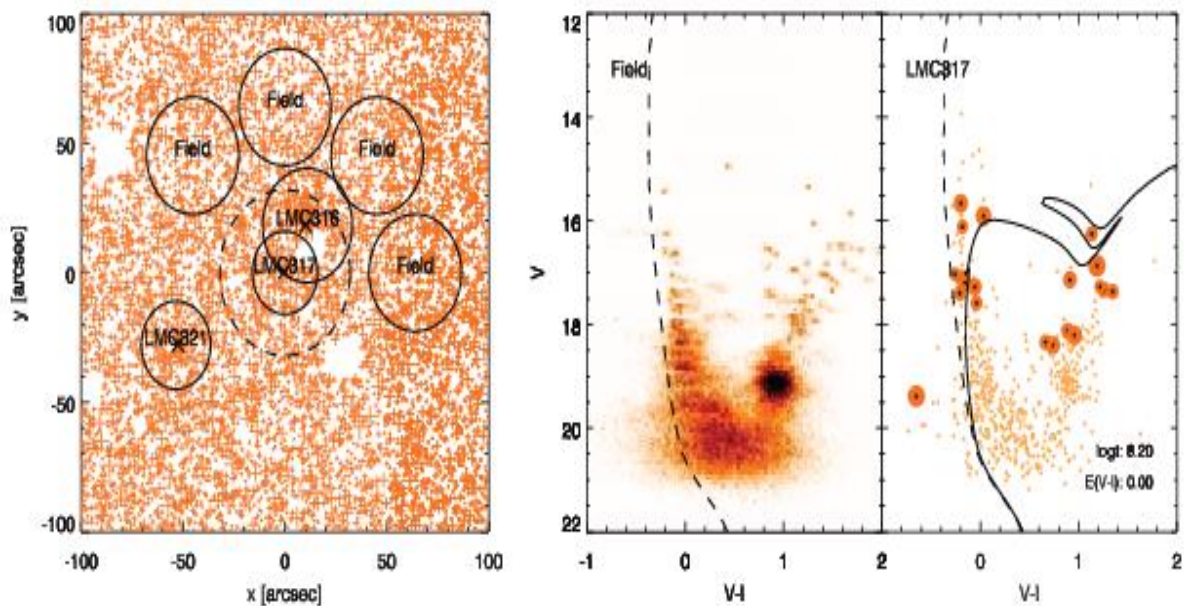
yang sebenarnya berada di gugus OGLE-LMC316. Meski demikian, daerah subraksasa tidak sepenuhnya bersih. Metode kedua lebih tegas dalam memilih bintang anggota gugus. Hampir seluruh bintang deret utama dengan magnitudo  $V > 18$  dianggap memiliki probabilitas keanggotaan  $< 50\%$ . Dibandingkan metode sebelumnya, bintang dengan probabilitas  $> 50\%$  di cabang subraksasa

lebih sedikit, tetapi tetap ada segerombolan bintang di daerah ini.

Dengan CMD semacam itu, isochrone dengan  $\log t = 8,20$  dengan modulus jarak 18,49 dan eksc warna  $E_{V-I} = 0,0$  dianggap sebagai model yang paling cocok. Dengan kata lain, usia OGLE-LMC 317 adalah sekitar 160 juta tahun.



Gambar 4-1: Kiri: posisi bintang yang dianalisis dalam studi ini. Lingkaran dengan garis putus-putus menandai area gugus, sementara lingkaran dengan tanda *field* merupakan empat area medan yang digunakan. Tengah: model CMD medan untuk proses eliminasi. Kanan: CMD dari area gugus OGLE-LMC317 yang telah dibersihkan dengan metode eliminasi. Lingkaran besar adalah bintang dengan probabilitas keanggotaan  $\geq 50\%$ . Zero-age main sequence (ZAMS, garis putus-putus) dan isochrone dengan  $E_{V-I} = 0,0$  dan  $\log t = 8,20$  (garis teges) turut digambarkan



Gambar 4-2: Sama seperti Gambar 4-1, tetapi diperoleh dengan metode kerapatan lokal

## 4.2 OGLE-LMC 316

Proses dekontaminasi CMD dari OGLE-LMC 316 berjalan lebih mulus karena gugus ini tergolong sebagai gugus yang cukup kaya dan memiliki kerapatan yang lebih tinggi dibandingkan gugus pasangannya.

Sebagaimana diperlihatkan dalam Gambar 4-3, kedua metode dekontaminasi memberikan hasil yang tidak jauh berbeda, tetapi metode eliminasi memberikan lebih banyak kandidat bintang anggota dibandingkan metode kerapatan lokal.

CMD dari OGLE-LMC 316 memiliki fitur yang amat jelas, yakni deret utama yang merentang hingga magnitudo  $V \approx 14$  dan sebuah kandidat bintang anggota yang telah menempati daerah giant branch.

Probabilitas keanggotaan bintang ini adalah sekitar 80% sehingga cukup meyakinkan untuk dianggap sebagai anggota OGLE-LMC 316. Sejumlah residu di daerah cabang subraksasa tidak dapat dibersihkan menggunakan area medan yang berbeda sekalipun. Namun, bintang-bintang residu ini cenderung memiliki probabilitas keanggotaan yang lebih rendah dibandingkan bintang-bintang di bagian atas deret utama. Dengan mengadopsi modulus jarak dan ekscenitritas warna yang sama dengan OGLE-LMC 317, model yang paling cocok merepresentasikan data OGLE-LMC 316 adalah isochrone dengan  $\log t = 7,80$ . Usia gugus yang diperoleh dengan *fitting* ini adalah 63 juta tahun. Hasil ini 10 kali lebih tinggi dibandingkan usia yang diperoleh (Pietrzyński dan Udalski, 2000a) yang menganalisis set data yang sama. Mereka mendapatkan  $\log t = 6,80 \pm 0,20$ . Perbedaan usia yang sangat jelas semacam ini pernah didiskusikan oleh (Dieball *et al.*, 2002). Tim OGLE mengadopsi nilai modulus jarak yang lebih kecil, yakni 18,24 sementara nilai  $18,49 \pm 0,09$  merupakan konsensus terbaru yang dianggap sebagai nilai terbaik (de Grijs *et al.*, 2014). Namun,

perbedaan modulus jarak tidak dapat dianggap sebagai kambing hitam dalam permasalahan ini karena modulus jarak yang lebih kecil cenderung menuntun pada perkiraan usia gugus yang lebih tua. Perbedaan model populasi bintang (*isochrone*) dan proses dekontaminasi CMD boleh jadi memunculkan perbedaan usia.

## 4.3 Kegandaan OGLE-LMC 316/317

Pasangan OGLE-LMC 316/317 muncul pertama kali sebagai kandidat gugus ganda dalam katalog gugus ganda dan jamak yang disusun oleh Pietrzyński dan Udalski (2000b). Katalog Bhatia dan Hatzidimitriou (1988) belum mendeteksi OGLE-LMC 317 sebagai sebuah gugus bintang karena kedalaman survei yang berbeda. OGLE-LMC 316 memiliki radius sekitar 14 pc sementara OGLE-LMC 317 memiliki radius 8 pc (Bica *et al.*, 2008). Di bidang langit, keduanya terpisah sejauh 5 pc sehingga jarak pisah dalam ruang 3-dimensi lebih dari nilai ini. Bila jarak pisah sistem kurang dari radius OGLE-LMC 316, maka sistem ini dapat dianggap sebagai sistem *contact* menurut klasifikasi de la Fuente Marcos dan de la Fuente Marcos (2009). Hal ini cukup sulit untuk dikonfirmasi karena penentuan jarak pisah pada arah radial bukan urusan mudah. Tidak ada indikasi perbedaan ekstingsi yang dialami kedua gugus sehingga cukup logis untuk mengatakan bahwa jarak kedua gugus dari pengamat tidak jauh berbeda.

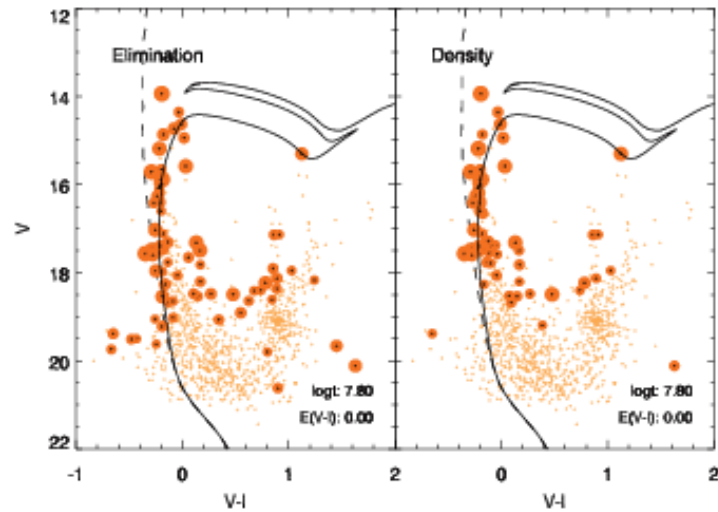
Interaksi gravitasi antara dua gugus yang berdekatan sebenarnya dapat diindikasikan oleh adanya distorsi bentuk gugus (misalnya de Oliveira *et al.*, 2000) yang dapat dilihat dari morfologi isophot sistem. Namun, kontur isophot atau kerapatan spasial OGLE-LMC 316/317 tidak dapat dibuat berdasarkan katalog fotometri OGLE karena ada daerah yang saturasi oleh bintang terang.

Kegandaan OGLE-LMC 316/317 juga dapat diperiksa dari usia kedua



gugus. Berdasarkan penentuan usia yang dilakukan dalam studi ini, kandidat

gugus ganda OGLE-LMC 316/317 memiliki komponen dengan usia 63 dan



Gambar 4-3: Hasil dekontaminasi dan *fitting isochrone* terhadap OGLE-LMC 316. CMD sebelah kiri dibersihkan dengan metode eliminasi sementara CMD sebelah kanan dibersihkan dengan metode kerapatan lokal

160 juta tahun. Usia OGLE-LMC 317 dapat lebih dari 160 juta tahun bila sejumlah bintang di cabang subraksasa memang anggota dari gugus. Bila populasi ini dipertimbangkan dalam *fitting isochrone*, maka usia gugus dapat menjadi dua kali lipat ( $\log t \approx 8,50$ ). Selisih usia ini tidak didiskusikan oleh Pietrzynski dan Udalski (2000b) karena mereka tidak dapat memperkirakan usia OGLE/LMC 316. Namun, mereka mengelompokkan pasangan ini bersama dengan OGLE/ LMC 321 yang berusia 126 juta tahun sebagai sistem gugus jamak. Garis merah yang dapat ditarik adalah bahwa OGLE-LMC 316 memiliki usia yang lebih muda dibandingkan dua tetangganya.

Selisih usia yang teramati memang tidak terlalu lebar, yakni sekitar 100 juta tahun. Fakta ini menuntun pada pemikiran bahwa sistem OGLE-LMC 316/317 merupakan sistem gugus ganda primordial dan coeval yang terbentuk dari awan molekuler yang sama. Terdapat dua teori pembentukan yang dapat diaplikasikan pada kasus ini, yakni mekanisme fisis awan molekuler (Fujimoto dan Kumai, 1997; Bekki *et al.*, 2004) dan

mekanisme pembentukan bertahap (Brown *et al.*, 1991, 1995; Theis, 2002).

Menurut teori pertama, papasan atau gesekan (*oblique collision*) antara dua awan molekuler menyebabkan peningkatan kerapatan awan yang diikuti oleh kontraksi dan fragmentasi. Dalam perjalanannya, energi tumbukan ditransformasikan menjadi rotasi yang dapat memecah awan menjadi dua bagian atau lebih. Setiap bagian akan menjadi gugus tunggal yang menjadi bagian dari sistem gugus ganda atau jamak. Produk dari proses ini adalah dua gugus dengan karakter kimia (metalinitas) yang sama serta usia yang hampir sama. Perbedaan usia antar komponen dapat muncul karena skala waktu pembentukan keduanya berbeda.

Menurut teori kedua, awan molekuler mengalami kontraksi dan menghasilkan satu gugus bintang yang masih diselubungi oleh awan sisa pembentukan gugus. Beberapa bintang masif memberikan dorongan kepada awan melalui mekanisme semburan angin bintang atau *supernova*. Dorongan ini dapat memampatkan awan yang menyelubungi gugus hingga kerapatan yang cukup tinggi sehingga pembentukan

bintang tahap kedua dapat terjadi. Produk dari proses ini adalah dua sistem bintang yang memiliki metalisitas berbeda dan usia yang terpaut sekitar 100 juta tahun. Selisih usia ini ditentukan oleh skala waktu evolusi bintang masif dan juga skala waktu pembentukan gugus pada tahap kedua. Dari sudut pandang dinamika banyak benda, Theis (2002) telah menunjukkan bahwa pembentukan bertahap dapat menghasilkan dua gugus bintang yang terpisah. Sistem semacam ini cenderung memiliki kala hidup yang relatif singkat karena orbitnya yang amat lonjong (de la Fuente Marcos dan de la Fuente Marcos, 2010).

## 5 KESIMPULAN

Pada studi ini, data fotometri OGLE pada arah gugus bintang OGLE-LMC 316/317 telah dianalisis dalam rangka memperkirakan usia kedua gugus. Dekontaminasi dengan metode eliminasi dan kerapatan lokal telah diterapkan bersama pembobotan spasial untuk membersihkan CMD gugus sebelum *fitting* ischrone dilakukan. Hasilnya, usia OGLE-LMC 316 diperkirakan sekitar 63 juta tahun sementara usia OGLE-LMC 317 adalah sekitar 160 juta tahun. Berdasarkan hasil ini, sistem OGLE-LMC 316/317 yang memiliki jarak pisah di bidang langit sebesar 5 pc dapat dianggap sebagai gugus ganda *primordial* dan *coeval*. Sistem semacam ini dapat terbentuk melalui dua mekanisme yang mungkin, yakni mekanisme fisis awan molekul dan mekanisme pembentukan bertahap. Observasi dan studi yang lebih mendalam, terutama dengan spektroskopi, perlu dilakukan untuk mengkonfirmasi hal ini.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada penelaah yang telah memberikan masukan perbaikan terhadap artikel ini.

## DAFTAR RUJUKAN

- Baumgardt, H., G. Parmentier, P. Anders, and E. Grebel, 2013. *The star cluster formation history of the LMC*. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 430, 676.
- Bekki, K., M. A. Beasley, D. A. Forbes, and W. J. Couch, 2004. *Formation of star clusters in the Large Magellanic Cloud and Small Magellanic Cloud. I. Preliminary results on cluster formation from colliding gas clouds*. The Astrophysical Journal, 602, 730.
- Bhatia, R., 1990. *Merger and disruption lifetimes of binary star clusters in the Large Magellanic Cloud*. Publication of the Astronomical Society of Japan, 42, 757.
- Bhatia, R. and D. Hatzidimitriou, 1988. *Binary star cluster in the Large Magellanic Cloud*. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 230, 215.
- Bica, E., C. Bonatto, C. Dutra, and J. Santos, Jr. 2008. *A general catalogue of extended objects in the Magellanic System*. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 389, 678.
- Bica, E., H. Schmitt, C. Dutra, and H. Oliveira, 1999. *A revised and extended catalog of Magellanic system clusters, associations, and emission nebulae. II. The Large Magellanic Cloud*. The Astronomical Journal, 117, 238.
- Bressan, A., P. Marigo, L. Girardi, B. Salasnich, C. Dal Cero, S. Rubele, and A. Nanni, 2012. *PARSEC, stellar tracks and isochrones with the PAdova and TRieste Stellar Evolution Code*. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 427, 127.
- Brown, J. H., A. Burkert, and J. W. Truran, 1991. *On the formation of globular clusters. I. Dynamical limits on globular cluster metallicities*. The Astrophysical Journal, 376, 115.
- Brown, J. H., A. Burkert, and J. W. Truran, 1995. *On the formation of globular clusters. II. Early dynamical evolution*. The Astrophysical Journal, 440, 666.
- de Grijs, R., J. Wicker, and G. Bono, 2014. *Clustering of local group distances, publication bias or correlated measurements? I. The Large Magellanic Cloud*. The Astronomical Journal, 147, 122.
- de la Fuente Marcos, R. and C. de la Fuente Marcos, 2009. *Double or binary, on the multiplicity of open star clusters*. Astronomy and Astrophysics, 500, L13.
- de la Fuente Marcos, R. and C. de la Fuente Marcos, 2010. *The evolution of primordial binary open star clusters, mergers, shredded secondaries, and separated twins*. The Astrophysical Journal, 719, 104.
- de Oliveira, M. R., C. M. Dutra, E. Bica, E. and E. H. Bica, 2000. *Morphologies and ages of star cluster pairs and multiplets in the Small*

- Magellanic Cloud*. Astronomy and Astrophysics Supplement Series, 146, 57.
- Dieball, A., H. Muller, and E. Grebel, 2002. *A statistical study of binary and multiple clusters in the LMC*. Astronomy and Astrophysics, 391, 547.
- Elson, R. A. W., S. Fall, and K. C. Freeman, 1987. *The structure of young star clusters in the Large Magellanic Cloud*. The Astrophysical Journal, 323, 54.
- Fujimoto, M. and Y. Kumai, 1997. *Star clusters driven to form by strong collisions between gas clouds in high-velocity random motion*. The Astronomical Journal, 113, 249.
- Gardiner, L. T., T. Sawa, and M. Fujimoto, 1994. *Numerical simulations of the Magellanic system - I. Orbits of the Magellanic Clouds and the global gas distribution*. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 266, 567.
- Harris, J. and D. Zaritsky, 2009. *The star formation history of the Large Magellanic Cloud*. The Astronomical Journal, 138, 1243–1260.
- Kroupa, P. 2001. *On the variation of the initial mass function*. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 322, 231.
- Kroupa, P. and C. M. Boily, 2002. *On the mass function of star clusters*. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 336, 1188.
- Piatti, A. and E. Bica, 2012. *Washington photometry of candidate star clusters in the Small Magellanic Cloud*. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 425, 3085.
- Piatti, A. E., R. Guandalini, V. D. Ivanov, S. Rubele, M. –R. L. Cioni, R. de Grijs, R. B. –Q. For, G. Clementini, V. Ripepi, P. Anders, and J. M. Oliveira, 2014. *The VMC survey. XII. Star cluster candidates in the Large Magellanic Cloud*. Astronomy and Astrophysics, 570, A74.
- Pietrzynski, G. and A. Udalski, 2000a. *The optical gravitational lensing experiment. Ages of about 600 star clusters from the LMC*. Acta Astron. 50, 337.
- Pietrzynski, G. and A. Udalski, 2000b. *The optical gravitational lensing experiment. Multiple cluster candidates in the Large Magellanic Cloud*. Acta Astron. 50, 355.
- Pietrzynski, G., A. Udalski, M. Kubiak, M. Szymanski, P. Wóźniak, and K. Zebrun, 1999. *The optical gravitational lensing experiment. Catalog of star clusters from the Large Magellanic Cloud*. Acta Astron. 49, 521.
- Priyatikanto, R. and M. I. Arifyanto, 2015. *The implementation of binned kernel density estimation to determine open clusters proper motions. Validation of the method*. Astrophysics and Space Science, 355, 161.
- Priyatikanto, R., M. B. N. Kouwenhoven, M. I. Arifyanto, H. R. T. Wulandari, and S. Siregar, 2016. *The dynamical fate of binary star clusters in the Galactic tidal field*. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 457, 1339.
- Subramaniam, A., U. Gorti, R. Sagar, and H. Bhatt, 1995. *Probable binary open clusters in the galaxy*. Astronomy and Astrophysics, 302, 86.
- Szymanski, M. 2005. *The optical gravitational lensing experiment. Internet access to the OGLE photometry data set, OGLE-II BVI maps and I-band data*. Acta Astron. 55, 43.
- Theis, C. 2002. *Formation of Twin Clusters in a Galactic Tidal Field*. In Geisler, D. P. Grebel, E. K. and Minniti, D. editors, Extragalactic Star Clusters, volume 207 of IAU Symposium, page 681.
- Udalski, A., M. Kubiak, and M. Szymanski, 1997. *Optical gravitational lensing experiment. OGLE-2 – The second phase of the OGLE project*. Acta Astron. 47, 319.

