



Prosiding Seminar Sains Antariksa

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



PEMODELAN GUGUS BINTANG DENGAN METODE MONTE CARLO SEBAGAI PENENTUAN FUNGSI MASSA AWAL

(Stellar Cluster Modeling Using Monte Carlo Method To Determine Initial Mass Function)

Dian Puspita Triani, M. Ikbal Arifyanto

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

e-mail: dpatriani@gmail.com

ABSTRAK

Riwayat Artikel:

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

Kata kunci:

gugus bintang, fungsi massa awal, kurva isokron, Monte Carlo

Gugus bintang merupakan kumpulan (ratusan hingga ribuan) bintang yang terikat secara gravitasi. Anggota-anggota suatu gugus pada umumnya memiliki parameter yang sama: jarak, umur, dan kelimpahan. Hal ini disebabkan karena bintang-bintang anggota suatu gugus diduga terbentuk bersamaan dan berasal dari suatu nebula yang sama. Kurva isokron merupakan plot antara indeks warna dengan magnitudo bintang-bintang dalam suatu gugus. Bentuk kurva isokron dapat digunakan untuk menganalisis umur suatu gugus, biasanya dengan memperhatikan titik belok pada kurva isokron. Pada makalah ini akan dibangun Color Magnitude Diagram (CMD) berdasarkan suatu fungsi massa yang ditentukan dengan metode statistik Monte-Carlo. Data magnitudo dan luminositas bintang sintesis dalam gugus diinterpolasi dari data gugus dengan umur tertentu yang diperoleh dari database Padova. CMD yang dihasilkan dibandingkan dengan kurva isokron gugus NGC 6208 hasil observasi yang diperoleh dari website WEBDA dan mendapatkan hasil yang sesuai.

ABSTRACT

Keywords:

stellar cluster, Initial Mass Function, Isochrone, Monte Carlo

Stellar cluster is a group of star bound by gravitation. Members of stellar cluster own similar parameter e.g. distance, age and abundance. This is because the members of a cluster is suggested to born in a same time from a single nebulae. Isochrone is a plot of Color Index and magnitude of stars in a cluster based on observation. The shape of isochrone can be used to analyse the age of the cluster, usually by analyzing the turning point of the curve. In this paper, we will build a Color Magnitude Diagram (CMD) based on an Initial Mass Function (IMF) generated with Monte-Carlo method. Magnitude and luminosity of the synthetic stars on the cluster was then interpolated using data on a particular age, accessed from Padova database. The result will be compared to isochrone of NGC 6208 accessed from WEBDA and we get a similar result with the CMD.

1. Pendahuluan

Gugus bintang merupakan kumpulan (ratusan hingga ribuan) bintang yang terikat secara gravitasi. Terdapat dua jenis gugus bintang, yaitu gugus terbuka (open cluster) dan gugus bola (globular cluster). Gugus terbuka memiliki struktur yang lebih tersebar dengan bintang-bintang anggota gugus berusia tergolong muda. Sedangkan gugus bola memiliki struktur yang lebih kompak membentuk geometri bola. Bintang-bintang pada gugus terbuka umumnya berusia cukup tua. Gugus terbuka banyak ditemukan di daerah pinggiran galaksi sementara gugus bola banyak terdapat di daerah Halo Galaksi. Anggota-anggota suatu gugus pada umumnya memiliki parameter yang sama: jarak, umur, dan kelimpahan. Hal ini disebabkan karena bintang-bintang anggota suatu gugus diduga terbentuk bersamaan dan berasal dari suatu nebula yang sama.

Kurva isokron merupakan plot antara indeks warna dengan magnitudo bintang-bintang dalam suatu gugus. Bentuk kurva isokron dapat digunakan untuk menganalisis umur suatu gugus, biasanya dengan memperhatikan titik belok pada kurva isokron.

Dalam makalah ini, akan dibangun kurva isokron berdasarkan suatu fungsi massa inisial tertentu yang kemudian diinterpolasi dengan data yang diperoleh dari database Padova. Fungsi massa inisial yang digunakan digenerate dengan metode Monte-Carlo. Kurva isokron yang dihasilkan akan dibandingkan dengan data isokron hasil pengamatan gugus yang parameternya telah diketahui yang diperoleh dari website WEBDA. Hal ini dilakukan untuk menjustifikasi apakah pemodelan yang dilakukan telah cukup baik dan sesuai dengan hasil observasi sehingga pemodelan serupa dengan parameter yang berbeda nantinya dapat digunakan untuk mencocokkan dan menjelaskan hasil pengamatan yang parameternya belum diketahui. Pengolahan data pada makalah ini dilakukan dengan menggunakan bahasa pemrograman Python.

2. Landasan Teori

Studi mengenai gugus bintang merupakan hal penting yang digunakan untuk mengetahui berbagai aspek dari Galaksi seperti kinematika, dinamika, maupun struktur galaksi. Berbagai katalog seperti HIPPARCOS, TYCHO, TYCHO2 menunjukkan banyaknya penemuan gugus

bintang baru yang dapat memperkaya pengetahuan kita akan Galaksi. Masih banyak gugus bintang yang diamati namun masih belum ditentukan dengan baik parameternya. Penentuan parameter gugus dapat dilakukan salah satunya dengan metode fitting isokron (Kerber et al, 2006).

a. Isokron

Gugus bintang diasumsikan sebagai objek yang terbentuk pada waktu bersamaan sehingga memiliki umur, jarak, kelimpahan dan mengalami pemerahan yang sama. Isokron merupakan kurva yang menggambarkan jejak evolusi bintang-bintang dalam suatu gugus yang memiliki kesamaan parameter namun massa awal yang berbeda. Dengan demikian bentuk kurva isokron akan sangat bergantung pada umur, jarak dan kelimpahan bintang-bintang dalam gugus. Terdapat beberapa kelompok database isokron yang dapat digunakan baik untuk membangun model maupun membandingkan dengan hasil pengamatan, diantaranya adalah Padova (Girardi et al., 2002), Geneva (Lejeune & Schaerer, 2001) dan Dartmouths (Dotter et al., 2008).

b. Fungsi Massa Awal

Massa bintang merupakan parameter intrinsik yang sangat menentukan jalur evolusi bintang tersebut. Kaitan antara massa dengan parameter intrinsik lainnya seperti luminositas, jari-jari dan temperatur efektif sangat erat sehingga penentuan massa merupakan parameter yang sangat penting dari suatu bintang. Distribusi bintang dengan massa yang terbentuk secara bersamaan didefinisikan sebagai fungsi massa awal (Initial Mass Function/IMF) (Wahyuningtyas, 2010). Fungsi ini menggambarkan evolusi dinamika, kimia, kecerlangan gugus bintang dan pembentukannya (Kroupa, 2000). Fungsi massa yang digunakan dalam pemodelan ini adalah deret pangkat dengan bentuk persamaan:

$$\xi = \gamma M^{-\alpha} \quad (2-1)$$

Dengan ξ adalah jumlah bintang, M adalah massa bintang, α adalah konstanta yang bergantung pada rentang massa yang dipilih, dan γ adalah faktor normalisasi. Indeks IMF yang terkenal dan banyak digunakan adalah indeks Salpeter dengan nilai $\alpha = 2.35$ (indeks Salpeter).

c. Jarak dan Pemerahan

Jarak, magnitudo semu dan magnitudo mutlak dari suatu bintang dapat dihubungkan dengan modulus jarak yang memiliki bentuk:

$$m - M = -5 + 5 \log d \quad (2-2)$$

Karena isokron merupakan kurva yang dibangun dengan warna yang bergantung pada magnitudo (Color Magnitude Diagram/CMD), maka adanya hubungan jarak dan magnitudo akan menyebabkan bentuk isokron dipengaruhi pula oleh jarak gugus tersebut. Jarak mengubah posisi titik CMD ke arah vertikal.

Pemerahan terjadi akibat adanya sebaran foton oleh materi antara bintang sehingga panjang gelombang yang teramati bergeser kearah merah (panjang gelombang yang lebih pendek). Nilai pemerahan dalam fotometri dapat dinyatakan dalam eksek warna dimana:

$$(b - v) = (b - v)_0 + E_{bv} \quad (2-3)$$

Nilai eksek wana yang digunakan adalah $E_{bv} = 0,156$.

d. Ketidakpastian Fotometri

Pada CMD hasil pengamatan, teramati adanya rentang warna yang melebar terutama pada bagian bawah, berbeda dengan model teoritis yang hanya berbentuk garis dengan ketebalan garis di seluruh daerah yang sama. Pelebaran warna ini terjadi akibat error fotometri dan efek pencampuran bintang ganda yang tidak dapat dipisahkan secara visual sehingga magnitudo yang teramati dari bintang ganda lebih terang dibanding prediksi isokron. Error fotometri menghubungkan magnitudo yang benar teramati dengan magnitudo teoritis yang telah memperhitungkan eksek warna.

$$b_{obs} = b + \sigma_b \quad (2-4)$$

σ_b adalah error fotometri berupa konstanta dikalikan dengan angka yang di-generate secara acak menggunakan fungsi normal.

3. Data dan Metode

Pemodelan pada makalah ini menggunakan isokron Padova (Girardi et al., 2002), dipilih gugus yang berusia 10^9 tahun dengan jarak sekitar 1000pc. Data yang diunduh berisi informasi mengenai berbagai parameter bintang

anggota gugus seperti metalisitas, umur, massa awal, temperature efektif, gravitasi permukaan, magnitudo bolometrik, dan data magnitudo absolut bintang pada berbagai panjang gelombang (UBVRIJHK).

Kami memilih gugus NGC 6208 ($RA=16^h49^m28^s$, deklinasi= $-53^{\circ}43'4''$) (Xin, 2005) yang terletak pada rasi Ara. Gugus ini memiliki kombinasi jarak dan umur yang sesuai dengan kriteria pada pemodelan, yakni berjarak 939 pc (Kharchenko, 2005) dengan umur 1.17 milyar tahun (Piskunov, 2008). Dari pengamatan fotometri diperoleh nilai eksek warna untuk gugus ini adalah $E_{B-V} = 0^m18$ (Lindoff, 1972). Isokron akan dibangun dari magnitudo pada pita B dan B-V. Kurva Color Magnitude Diagram (CMD) dari data kemudian dibangun dengan memplot B-V pada sumbu X dan V pada sumbu Y. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 3-1.

Selanjutnya, massa bintang akan di-generate dengan menggunakan metode Monte-Carlo. Nilai acak di-generate dengan fungsi random.uniform pada modul numpy yang dapat menghasilkan nilai acak yang terdistribusi seragam. Nilai ini dimasukkan dalam persamaan (2-1) diubah kedalam bentuk logaritma sehingga mengikuti fungsi linier:

$$\log \xi = \gamma - \alpha \log M \quad (2-5)$$

Pada pemodelan, diasumsikan gugus terdiri dari 40 persen bintang tunggal dan 60% sistem bintang ganda. Fungsi massa pada persamaan (2-5) digunakan untuk men-generate massa bintang tunggal dan massa bintang primer pada sistem bintang ganda. Digunakan nilai $\gamma = 3$ dengan rentang massa $0.1 - 5 M_{sun}$ dan $\xi = 1000$ (Kroupa, 2000).

Pada sistem bintang ganda, nilai acak yang dihasilkan berjumlah 600 buah dan diasumsikan sebagai massa bintang primer. Perbandingan massa bintang sekunder dan primer pada sistem bintang ganda didefinisikan sebagai nilai 1 yang dihasilkan secara acak dan seragam dan memiliki nilai antara 0 - 1, dengan demikian massa sekunder dapat diperoleh dari:

$$m_2 = qm_1 \quad (2-6)$$

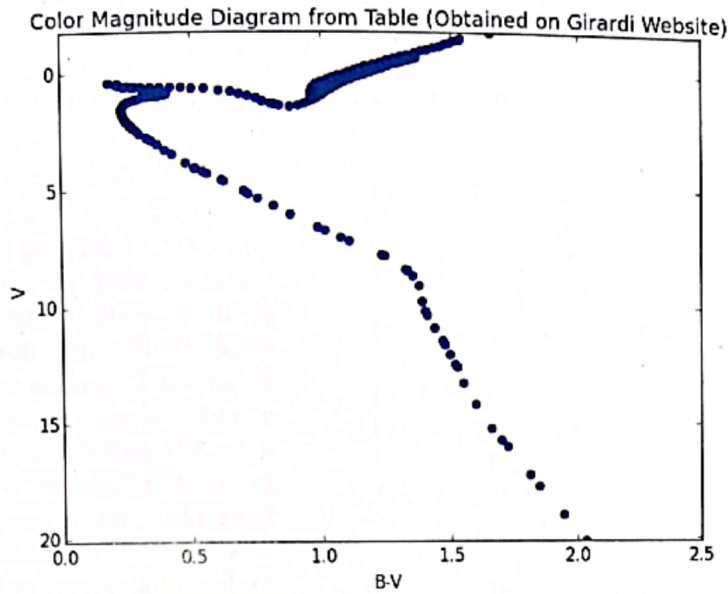
Massa bintang tunggal dari fungsi massa selanjutnya diinterpolasi terhadap data Padova dengan perintah *interpolate* dari modul *scipy*

untuk mengetahui nilai magnitudo B dan V pada masing-masing bintang sintetis.

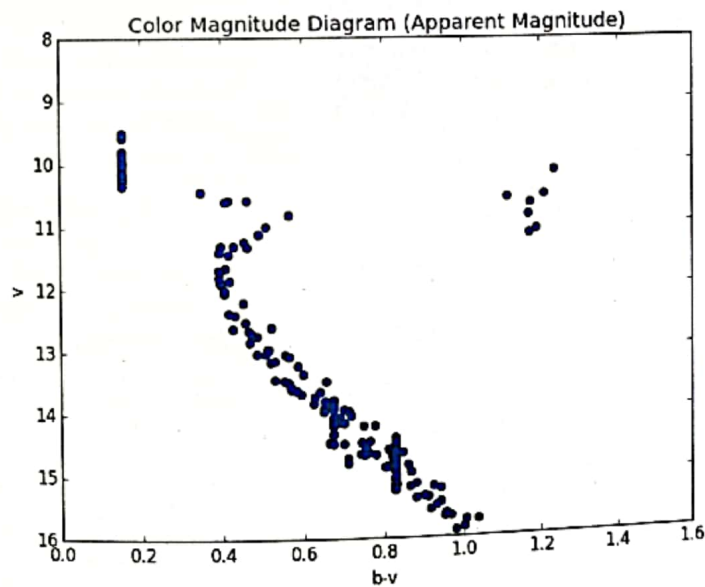
Magnitudo sistem bintang ganda ditentukan dalam dua tahap. Yang pertama ialah menginterpolasi massa masing-masing komponen untuk mengetahui luminositas komponen. Luminositas total bintang ganda dihitung untuk selanjutnya diinterpolasi terhadap daya Padova untuk mengetahui magnitudo sistem.

Magnitudo semu masing-masing bintang selanjutnya dihitung dengan modulus jarak dengan mengasumsikan jarak gugus $d = 1000\text{pc}$. Agar model merepresentasikan data yang teramati maka ditambahkan efek pemerahan dan eror fotometri.

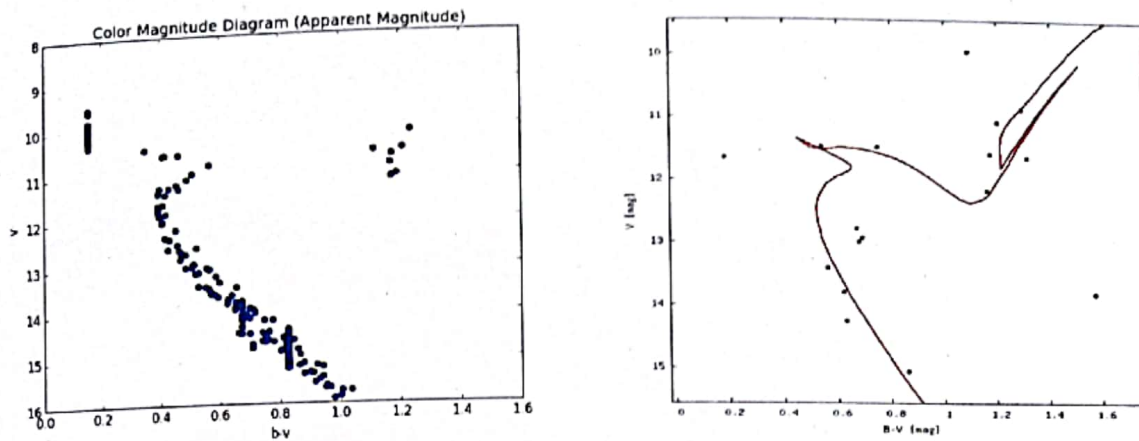
Setelah melakukan langkah-langkah diatas, kurva CMD dibangun dengan memplot v dan $b-v$ yang telah dikoreksi, hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut:



Gambar 3-1. Kurva CMD yang diperoleh dari data Padova



Gambar 3-2. CMD gugus dengan magnitudo smeu yang telah dikoreksi error fotometri



Gambar 4-1. Perbandingan CMD dengan isochrone dari NGC 6208

4. Pembahasan

Metode fitting isokron terhadap CMD yang digunakan pada makalah ini menggunakan eye-fitting. Dari gambar diatas terlihat kemiripan bentuk isokron dari NGC 6208 dengan CMD yang kita hasilkan. Titik belok pertama pada kedua kurva berada pada v sekitar 11 dengan $b-v$ pada rentang 0.4 - 0.6 mag. Rentang nilai pada sumbu x maupun sumbu y di kedua kurva juga memiliki nilai yang cocok. Dengan demikian, dapat kita simpulkan bahwa metode pengolahan data yang kita gunakan cukup baik dan cocok dengan data pengamatan yang diperoleh dari WEBDA.

5. Kesimpulan

Metode fitting isokron melalui pemodelan diagram CMD dapat dilakukan dengan langkah kerja yang diadopsi dari Kerber et al (2002, 2006).

Dengan melakukan *eye-fitting*, terlihat bawah CMD yang dihasilkan melalui pemodelan diatas cukup baik dan sesuai dengan hasil pengamatan gugus yang memiliki kemiripan parameter yang diperoleh dari WEBDA.

Rujukan

- Dotter, A., Chaboyer, B., Jevremovic, D., et al., 2008, ApJ Suppl., 178, 89-101
 Girardi, L., Bertelli, G., Bressan, A., et al., 2002, A&A. 391, 195-212
 Kharchenko, N. V., et al., 2005, A&A, 438, 1163-1173

Kerber, L. O., Santiago, B. X., Brocato, E., 2006, A&A, 462, 139-156

Kroupa, P., 2000, The Stellar Initial Mass Function

Lejeune, T. & Schaerer, D., 2001, A&A, 366, 538

Lindoff, U., 1972, A&As, 7, 231-256

Piskunov, A. E., et al., 2008, A&A, 477, 165-172

Xin, Y., Deng, L., 2005, ApJ, 619, 824-838

Wahyuningtyas, D. T., Metode Fitting Isokron untuk Penentuan Parameter Umur dan Jarak Gugus Terbuka Kasus: Blanco 1, NGC 1245, dan Ru 27. 2010. Program Studi Astronomu Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Bandung

WEBDA Navigation:

<https://www.univie.ac.at/webda/navigation.htm>

1