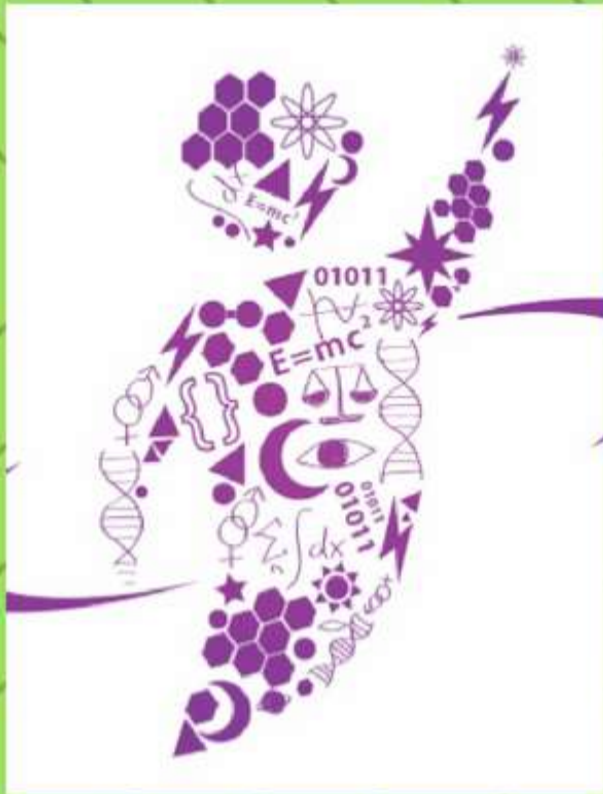


# PELATIHAN ONLINE

**2019**

**SMA  
ASTRONOMI**

po.alcindonesia.co.id



**WWW.ALCINDONESIA.CO.ID**

**@ALCINDONESIA**

**085223273373**

## GALAKSI DAN KOSMOLOGI

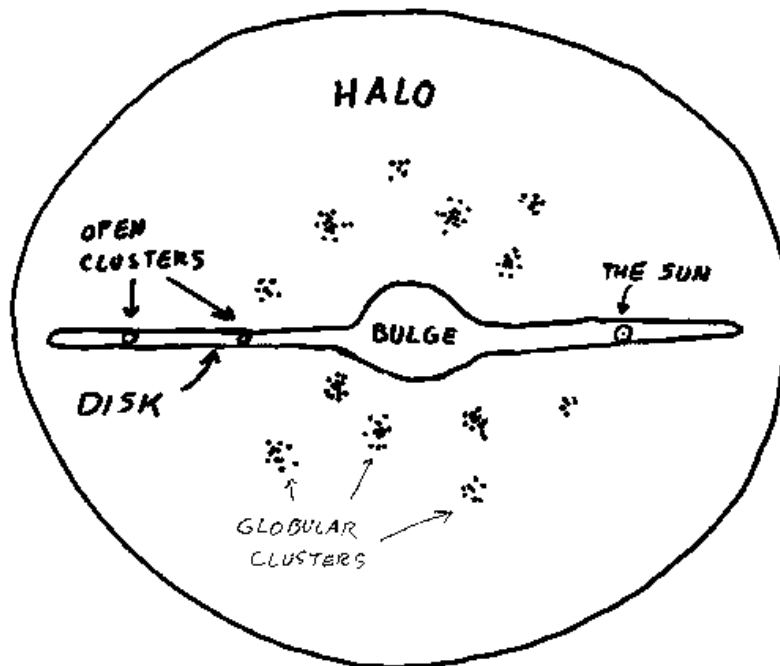
### A. Galaksi

Istilah galaxy berasal dari bahasa Yunani “gala” yang artinya susu. Galaksi adalah sebuah sistem yang terikat secara gravitasi, umumnya tersusun atas materi gelap, gas, debu, dan bintang-bintang. Galaksi mengisi alam semesta, terutama dalam gugus dan grup. Diduga ada sekitar 100 milyar galaksi di *observable universe* (alam semesta yang masih bisa kita amati). Galaksi paling dikenal adalah Bima Sakti, galaksi kita sendiri.

Sampai awal abad ke-20, Bima Sakti diyakini sebagai satu-satunya struktur di alam semesta. Sekitar tengah abad ke-18, filsuf Jerman Immanuel Kant mengajukan ide “island universes” yang mirip dengan Bima Sakti dan mengisi alam semesta. Sir William dan Caroline Herschel adalah orang-orang pertama yang secara sistematis mengkatalogkan langit malam. Mereka mencatat sekitar 2500 objek, termasuk nebula spiral yang kenampakkannya mirip struktur Bima Sakti. Kemudian, dengan menggunakan teleskop terbesar pada jamannya, astronom optik Lord Rosse mendukung pandangan Kant, berdasarkan pengamatan yang dilakukan terhadap M51 dengan teleskop 72 inch buaatannya.

April 1920, dua peneliti penting Harlow Shapley dan Heber D. Curtis menyelenggarakan debat terbuka mengenai ukuran Bima Sakti dan penjelasan mengenai nebula. Shapley meyakini bahwa ukuran Bima Sakti jauh lebih besar daripada perkiraan sebelumnya, dan nebula spiral hanya merupakan bagian dari Bima Sakti. Di sisi lain, Curtis percaya bahwa nebula spiral sebenarnya merupakan “island universe” yang terletak lebih jauh dari Bima Sakti jika dilihat dari kita. Tidak ada pemenang dalam debat yang akhirnya terjawab pada tahun 1923, ketika Edwin Hubble berhasil menentukan jarak ke “nebula” Andromeda menggunakan hubungan periode-luminositas bintang-bintang variabel Cepheid dan diameternya lebih besar daripada Bima Sakti. Pengamatan Hubble membuktikan bahwa Andromeda bukan hanya nebula spiral yang berada di dalam Bima Sakti, melainkan sistem bintang sendiri yang sangat besar.

Kebanyakan galaksi bermassa antara  $\sim 10^7 M_{\odot}$  dan  $10^{12} M_{\odot}$ . Diameternya merentang dari beberapa kiloparsek, hingga lebih dari seratus kiloparsek. Bima Sakti sendiri mengandung lebih dari seratus milyar bintang, termasuk Matahari, dan piringan bintang yang membentang hingga berdiameter kurang lebih 50 kpc. Halo bintang berbentuk sferis membentang hingga 100 kpc dan halo materi gelap membentang lebih besar lagi. Gambar A.1 memberikan sketsa bagian-bagian galaksi Bima Sakti.



Gambar A.1: Bagian-bagian Bima Sakti secara skematik, terdiri dari: piringan tipis, piringan tebal, bulge/tonjolan, dan stellar halo/halo bintang. Sumber: <http://cse.ssl.berkeley.edu>.

### Bulge

Istilah bulge digunakan untuk mendeskripsikan aliran bintang berbentuk sferoid yang sering teramati pada pusat galaksi spiral. Bintang-bintang di bulge mengorbit pada arah sembarang, mengindikasikan kestabilan bulge disokong oleh dispersi kecepatan, bukan rotasi. Usia bintang-bintang bulge masih diteliti sampai sekarang. Hingga baru-baru ini, bintang-bintang di bulge Bima Sakti diduga merupakan bintang-bintang populasi II yang tua seluruhnya. Dibuktikan dengan banyaknya bintang RR Lyrae dan sedikitnya bintang biru muda dalam diagram warna-magnitudo dari jendela Baade.

Namun, pengamatan kamera inframerah dari observatorium di angkasa yang mampu menembus debu penghalang pandangan kita ke pusat Galaksi, menunjukkan bahwa hal tersebut tidak sepenuhnya benar. Pengamatan terbaru mengungkap keberadaan bintang muda masif di bulge, indikator pembentukan bintang yang belum lama terjadi. Walaupun bulge didominasi oleh bintang-bintang berusia lebih dari 7 milyar tahun, bintang-bintang berusia tengah (~ 1-5 milyar tahun) dan bintang-bintang muda (kurang dari 500 juta tahun) populasi I juga ada. Beberapa gugus bintang muda besar di Bima Sakti (Arches, Quintuplet, dan gugus Central) terletak di pusat Galaksi. Ini sering dianggap sebagai bukti evolusi sekuler di bulge, tetapi bisa juga mengindikasikan efek merger minor. Bukti keberadaan bintang-bintang muda dan usia tengah di bulge galaksi selain Bima Sakti juga ada. Meskipun mayoritas bintang-bintang bulge berusia mirip dengan bintang-bintang di halo, metalisitas keduanya berbeda cukup besar. Bintang-bintang di bulge umumnya lebih kaya unsur logam dan memiliki rentang metalisitas yang lebih lebar daripada bintang-bintang di halo. Terdapat bukti kuat yang mengindikasikan bulge galaksi-galaksi yang lebih besar dihuni oleh lubang hitam supermasif (*SMBH – supermassive black hole*).

### **Piringan Tipis dan Piringan Tebal**

Banyak galaksi spiral menunjukkan piringan yang terdiri dari dua populasi yang berbeda secara kinematik dan kimiawi. Piringan tipis mengandung debu, gas, dan bintang-bintang, sedangkan piringan tebal seluruhnya terdiri dari bintang. Piringan tebal diyakini ada di beberapa galaksi, meskipun tidak semua galaksi piringan. Belum ada bukti yang pasti apakah memang secara fisis pasti seperti ini di semua tempat atau tidak. Belum jelas pula apakah piringan tebal di Bima Sakti tipikal seperti di galaksi-galaksi spiral lain.

Melalui cacah bintang, diketahui bahwa piringan tebal mengandung sekitar 10% massa bintang di Bima Sakti dan memiliki skala tinggi ~ 1000 tahun cahaya sedangkan piringan tipis memiliki skala tinggi ~ 400 tahun cahaya. Perbedaan skala tinggi ini dihasilkan oleh gerak vertikal bintang-bintang piringan tebal yang lajunya lebih cepat daripada bintang-bintang di piringan tipis.

Selain berbeda secara kinematik, populasi penghuni piringan tebal dan tipis juga berbeda. Piringan tipis berisi bintang-bintang muda, sedangkan piringan tebal berisi bintang-bintang yang usianya lebih dari 10 milyar tahun. Metalisitas bintang-bintang piringan tebal merentang dari  $\frac{1}{10} - \frac{1}{2}$  nilai metalisitas Matahari sedangkan piringan tipis antara  $\frac{1}{3} - 3$  kali metalisitas Matahari. Perbedaan usia dan properti kimiawi populasi bintang-bintang ini mengindikasikan perbedaan skenario pembentukannya. Piringan tebal diduga terbentuk pada masa awal sejarah Galaksi, pembentukan bintang berhenti di sana. Piringan tipis mulai terbentuk belakangan dan terus membentuk bintang hingga saat ini.

Mekanisme pembentukan piringan tebal masih menjadi misteri. Ada argumen yang menyatakan bahwa piringan tebal terbentuk sebagai hasil peristiwa merger pada awal sejarah Galaksi. Jika ini benar, peristiwa tersebut harus terjadi sebelum piringan tipis terbentuk secara sempurna, karena pengamatan dan pemodelan N-benda mengindikasikan peristiwa macam itu mengganggu piringan dan memakan banyak gas dingin selama pembentukan bintang dalam waktu singkat.

Alternatif lain adalah piringan tebal terbentuk dalam waktu relatif lambat melalui banyak peristiwa merger minor. Gas runtuh ke bidang Galaksi membentuk piringan tipis, sementara bintang-bintang mempertahankan skala tinggi piringan tebal. Bima Sakti saat ini merupakan subjek terhadap setidaknya dua merger minor, yakni dengan galaksi kerdil Sagittarius dan Canis Major, mengindikasikan bahwa skenario ini bisa jadi adalah yang benar-benar terjadi. Meskipun demikian, kurangnya bintang-bintang muda di piringan tebal menandakan bahwa proses pembentukan bintang dari merger harusnya sudah terhenti atau setidaknya melambat secara signifikan, sejak dahulu kala. Model lain, selain merger, juga telah diajukan untuk menjelaskan pembentukan piringan tebal, termasuk proses pemanasan evolusi sekular dan model berbagai bentuk keruntuhan primordial, dicocokkan untuk menghasilkan piringan tebal. Model-model ini belum terlalu disukai karena sulit digunakan untuk memprediksi properti yang bisa diamati dari piringan tebal.

### **Halo**

Halo Bima Sakti terdiri dari dua: *stellar halo*/halo bintang dan *dark halo*/halo gelap. Halo bintang berbentuk sferis diisi oleh populasi bintang-bintang dan gugus bola yang mengelilingi kebanyakan galaksi piringan dan sebagian kelas galaksi elips. Massa bintang-



bintang yang menempati halo hanya sekitar 1% dari massa bintang total suatu galaksi dan karena luminositasnya rendah, pengamatan halo di galaksi-galaksi lain sangat sulit.

Bintang-bintang halo di Bima Sakti umumnya tua, kebanyakan dengan usia lebih dari 12 milyar tahun. Usia ini setara dengan usia bintang-bintang di bulge dan gugus bola. Artinya, bintang-bintang halo mungkin merupakan objek Galaksi yang pertama terbentuk. Karena usia tua ini, pemahaman terhadap proses yang membawa pada pembentukan bintang-bintang di halo penting dalam memecahkan sejarah evolusi Galaksi. Bintang-bintang di halo Bima Sakti miskin unsur logam, dengan nilai metalisitas dominan pada  $\frac{1}{30}$  nilai Matahari. Metalisitas terendah bintang yang ditemukan di Bima Sakti hingga saat ini adalah bintang di halo dengan nilai kurang lebih  $\frac{1}{200000}$  nilai metalisitas Matahari.

Selain halo bintang, halo gelap juga ada di Bima Sakti. Halo gelap adalah halo yang terdiri dari materi tak tampak (materi gelap) yang mengelilingi galaksi-galaksi, termasuk grup dan gugus galaksi.

Bukti keberadaan materi gelap ini berasal dari studi terhadap gerak bintang-bintang dan gas di galaksi. Jumlah dan distribusi materi tampak di dalam galaksi piringan tidak bisa mengompensasi rotasi yang teramati, mengindikasikan komponen tak tampak yang signifikan. Dengan ide serupa, dispersi kecepatan yang terukur di bagian luar galaksi elips juga lebih tinggi daripada yang diharapkan dari materi tampak di dalam galaksi tersebut. Estimasi berdasarkan pertimbangan-pertimbangan ini mengindikasikan 90% materi di galaksi ada dalam bentuk materi gelap. Bukti materi gelap juga ditemukan melalui pengamatan-pengamatan gerak galaksi dalam grup dan gugus. Menggunakan ide serupa dengan gerak bintang-bintang dalam galaksi, kecepatan galaksi-galaksi dalam grup dan gugus sangat tinggi sehingga grup atau gugus tersebut akan tercerai berai seandainya memang hanya materi tampak saja yang ada.

Sebagai tambahan, gas pengemisi sinar-X sering teramati di gugus galaksi, mengindikasikan bahwa gugus tersebut mengandung banyak materi gelap. Dengan temperatur melebihi jutaan derajat, gas-gas ini akan terevaporasi dari gugus seandainya gugus hanya terdiri dari komponen visibel saja.

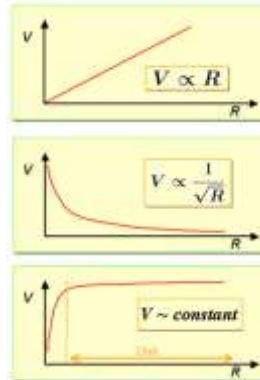
Di galaksi, grup, dan gugus galaksi, materi gelap didapati terdistribusi dalam bentuk yang kurang lebih sferis mengelilingi komponen visibel, sehingga dinamakan halo gelap. Di Bima Sakti, halo gelap membentang hingga setidaknya 300000 tahun cahaya dan bisa jadi lebih jauh dibanding bentangan materi tampak di piringan.

### **Kurva Rotasi Galaksi**

Bukti keberadaan materi gelap dalam skala galaksi salah satunya dilakukan melalui studi rotasi galaksi. Untuk membangun kurva rotasi, kecepatan rotasi bintang-bintang pada berbagai radius dihitung kemudian diplot terhadap radiusnya.

Kecepatan rotasi bintang-bintang teramati konstan atau datar dengan meningkatnya jarak dari pusat Galaksi (pada radius besar). Menurut gravitasi Newton, kecepatan rotasi akan menurun seiring menjauhnya posisi dari pusat Galaksi. Analog dengan planet-planet di tata surya yang melaju lebihh cepat mengelilingi Matahari jika letaknya lebih dekat. Salah satu cara untuk

mempercepat rotasi objek-objek yang jauh dari pusat adalah dengan menambahkan massa yang terlingkupi oleh radius tempat bintang-bintang (atau planet-planet dalam kasus tata surya) berada, jika tidak ingin mengubah formulasi hukum gravitasinya. Massa inilah yang selanjutnya diatributkan untuk materi gelap. Kurva rotasi yang tidak mengikuti profil benda tegar dinamakan rotasi diferensial, lihat Gambar A.2 berikut.



Gambar A.2: Atas: kurva rotasi benda tegar, tengah: kurva rotasi Keplerian, bawah: kurva rotasi galaksi spiral. Rotasi tengah dan bawah adalah contoh rotasi diferensial.

### **Klasifikasi Galaksi**

Galaksi dikelompokkan menurut kenampakan mereka, atau morfologi optis mereka. Usaha pertama yang dilakukan untuk mengklasifikasikan “nebula” dilakukan oleh Sir William Herschel dan anaknya Sir John Herschel. Walau begitu, pengelompokan yang paling umum digunakan saat ini adalah skema klasifikasi morfologi Hubble yang membagi galaksi-galaksi menjadi kategori:

- Galaksi elips
- Galaksi spiral
- Galaksi iregular

### **B. Kosmologi**

Kosmologi adalah ilmu yang mempelajari tentang alam semesta sebagai entitas keseluruhan. Kata kosmologi diturunkan dari bahasa Yunani kosmos yang artinya harmoni atau keteraturan. Kosmologis berurusan dengan pembentukan, evolusi, masa depan, dan komponen penyusun alam semesta.

Kebanyakan objek yang bisa kita lihat dengan teleskop berukuran besar atau berada pada jarak ekstrem. Mayoritas kosmologis memandang objek-objek di alam semesta terbentuk setelah sebuah peristiwa ledakan ekstrem dalam kondisi sangat panas dan rapat, sekitar 14 milyar tahun lalu, yang membentuk ruang alam semesta. Peristiwa ini dikenal sebagai Big Bang/Dentuman Besar.

Meskipun model Dentuman Besar tampak bisa menjelaskan sebagian besar hal-hal yang kita amati, pertanyaan fundamental masih ada. Apa komponen utama penyusun alam semesta? Seberapa lazim planet-planet mengelilingi bintang-bintang? Apa yang menyebabkan sebagian

galaksi berbentuk elips, sementara yang lain berbentuk spiral atau iregular? Apa geometri alam semesta? Apa itu energi gelap yang misterius? Adakah sebuah konstanta kosmologi? Apakah nilai konstanta kosmologi variabel? Apakah alam semesta lain ada?

Seperti halnya kajian tentang objek-objek terbesar di alam semesta (misalnya galaksi dan struktur skala besar), kosmologi juga memperhatikan properti benda-benda terkecil di alam semesta. Untuk menentukan hal yang terjadi di awal alam semesta, kosmologis perlu bantuan dari fisikawan partikel. Model Dentuman Besar menyatakan awal alam semesta yang sangat panas dan rapat, suatu keadaan yang mendukung banyaknya fenomena menarik fisika partikel. Fenomena inilah yang mempengaruhi jenis alam semesta yang kita tinggali.

Di masa paling awalnya, alam semesta panas tak terkira sehingga materi tidak bisa ada. Alam semesta ketika itu didominasi oleh radiasi. Seiring alam semesta mengembang dan mendingin, partikel elementer bisa terbentuk, kemudian menjadi elemen paling ringan seperti hidrogen, helium, dan lithium. Unsur-unsur lebih berat harus menunggu bintang-bintang lahir agar mereka bisa dibentuk melalui nukleosintesis di pusat bintang dan supernova.

Model Standar dari fisika partikel menyebutkan deskripsi matematis 12 partikel fundamental (6 lepton dan 6 quark) serta 3 gaya (elektromagnetik, gaya lemah, dan gaya kuat). Diperkirakan sekitar  $\sim 10^{-11}$  detik setelah Dentuman Besar, seluruh empat (saat ini) gaya (tiga gaya yang disebutkan ditambah gravitasi) menjadi gaya-gaya terpisah. Meskipun begitu, sekitar  $\sim 10^{-43}$  detik setelah Dentuman Besar (waktu Planck) seluruh empat gaya menyatu dalam satu gaya. Proses pemisahan gaya-gaya ini dinamakan *spontaneous symmetry breaking*.

Pada tahun 1929, Hubble mempublikasikan makalah yang mendeskripsikan hubungan antara jarak ke sebuah galaksi dengan kecepatan radial yang teramati. Makin besar jarak galaksi, makin besar kecepatan menjauhnya, diformulasikan dengan rumus Hubble:

$$v_r = Hd$$

dengan  $v_r, H, d$  masing-masing merepresentasikan kecepatan radial menjauhi pengamat, konstanta Hubble, dan jarak galaksi. Hubungan ini mengindikasikan alam semesta mengembang.

Pada tahun 1950-an, Hermann Bondi, Thomas Gold, dan Fred Hoyle mengajukan model *Steady State* alam semesta. Dalam model ini, materi dibuat oleh ruang vakum dan alam semesta tampak sama di semua arah pada semua waktu. Konsep ini dinamakan prinsip kosmologi sempurna (prinsip kosmologi modern hanya menyatakan alam semesta homogen dan isotropik dalam ruang saja). Model *Steady State* elegan secara filosofis karena meniadakan awal dan akhir alam semesta. Model ini dipertanyakan keabsahannya setelah Arno Penzias dan Robert Wilson pada tahun 1960-an mendeteksi sinyal radiasi sangat lemah di seluruh area langit yang berkorespondensi dengan temperatur benda hitam  $\sim 3$  K (berpuncak di daerah gelombang mikro). Robert Dicke dan kolaboratornya telah memprediksi keberadaan sinyal semacam itu, yang dinamakan *cosmic background radiation* (CMB) pada model Dentuman Besar. *Steady State* sulit (tidak bisa) menjelaskan ini.

Radiasi 3 K yang kita deteksi saat ini diemisikan sekitar 300000 tahun setelah Dentuman Besar, ketika alam semesta telah cukup dingin untuk membentuk gas dari atom netral. Foton-foton CMB melaju langsung ke kita, tanpa berinteraksi dengan materi sejak saat itu. Pengamatan lebih lanjut menunjukkan bahwa radiasi benda hitam itu berasal dari asal yang

sangat panas, sehingga model Dentuman Besar lebih didukung sebagai model kosmologi standar. Bersamaan dengan CMB, dua pengamatan lain mendukung model Dentuman Besar. Pertama, pengamatan terhadap kandungan isotop nuklir ringan seperti hidrogen, deuterium, helium-3, helium-4, dan lithium-7 yang cocok dengan prediksi menurut nukleosintesis di awal alam semesta yang panas dekat peristiwa Dentuman Besar. Kedua, pengamatan terhadap pengembangan alam semesta yang diimplikasikan oleh gerak galaksi-galaksi jauh.

Walau begitu, model Dentuman Besar tidak bisa menjelaskan pengamatan-pengamatan tertentu tentang alam semesta. Jika kita membagi ruang menjadi kubus-kubus berukuran beberapa ratus juta tahun cahaya, masing-masing kubus akan tampak mirip dalam hal rapat massa, rapat galaksi, dan jumlah struktur yang koheren. Keceragaman skala besar ini teramati dalam survei galaksi jauh. Dalam model Dentuman Besar, alam semesta berevolusi sangat cepat sehingga tidak ada kesempatan untuk keceragaman semacam itu terbentuk. Masalah ini dikenal sebagai masalah horizon. Horizon dalam konteks ini dimaknai sebagai jarak terbesar yang bisa dicapai informasi dan energi sejak peristiwa Dentuman Besar sebagai konsekuensi terbatasnya kecepatan cahaya.

Masalah kedua adalah masalah kedataran. Rapat massa menentukan evolusi dan nasib alam semesta. Jika rapat massa melebihi suatu nilai kritis, maka gravitasi akan menjadi cukup kuat untuk menahan pengembangan dan alam semesta akan memiliki geometri yang dikenal dengan sebutan tertutup. Jika rapat massa kurang dari suatu nilai kritis, alam semesta akan mengembang selamanya dan memiliki geometri yang dikenal dengan sebutan terbuka. Perbandingan antara rapat massa yang terukur dengan rapat massa kritis sering disimbolkan dengan  $\Omega$ . Relativitas umum mengimplikasikan bahwa geometri alam semesta akan mengikuti profil Euclidian (datar) hanya jika  $\Omega = 1$ . Saat ini diyakini nilai omega sangat dekat dengan 1, mengindikasikan bahwa pada masa awal dekat peristiwa Dentuman Besar, alam semesta jauh lebih dekat lagi dengan 1.

Untuk menjelaskan masalah-masalah yang teramati ini, pada tahun 1980, Alan Guth mencetuskan ide dengan menyisipkan suatu periode saat pengembangan secara eksponensial terjadi secara ekstrem. Peristiwa ini dinamakan inflasi, terjadi sekitar  $10^{-34}$  sekon setelah Dentuman Besar. Segera setelah inflasi, alam semesta yang tampak memiliki radius  $\sim 1$  meter. Laju pengembangan alam semesta kemudian kembali normal.

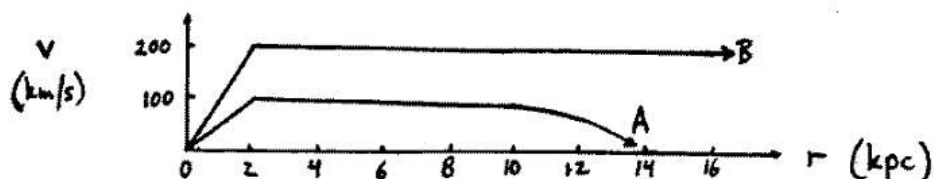
Periode inflasi pada masa awal alam semesta dan penyebab fisiknya, boleh jadi terkait dengan pengamatan alam semesta baru-baru ini. Supernova jauh tampak kurang terang dibanding yang diharapkan, yang bisa diinterpretasikan sebagai sebuah alam semesta yang mengalami sebuah fase pengembangan yang dipercepat. Energi gelap telah dipostulatkan sebagai objek yang memiliki sifat melawan gravitasi dan memicu percepatan ini.



## **SOAL**

1. Which of the following statements is true about spiral galaxy?
  - a. Stars further from the galactic center moves at larger speed than those closer to the galactick center.
  - b. All stars in a spiral galaxy were born together.
  - c. Stars in the galactic disk are commonly younger than stars near the galactic center.
  - d. Stars in spiral galaxies are mostly older than stars in elliptical galaxies.
  - e. Spiral galaxies are the oldest in the universe.
2. The fact that leads us to believe that the universe is expanding is ....
  - a. Redshift observed in the spectrum of distant stars.
  - b. Blueshift observed in the spectrum of distant stars.
  - c. Redshift observed in the spectrum of distant galaxies.
  - d. Blueshift observed in the spectrum of distant galaxies.
  - e. Redshift and blueshift observed in the spectrum of distant stars which cancel each other.
3. Giantexei terletak pada bujur dan lintang galaktik berturut-turut  $105^\circ$  dan  $30^\circ$  serta jaraknya dari Matahari 5 kpc, maka Giantexei mengorbit pusat Galaksi pada radius .... (Diketahui jarak Matahari ke pusat Galaksi 8 kpc dan Matahari mengorbit tepat di tengah bidang Galaksi.)
  - a. 10,03 kpc
  - b. 10,14 kpc
  - c. 10,34 kpc
  - d. 10,53 kpc
  - e. 10,96 kpc
4. Nilai pergeseran merah garis spektrum Hidrogen (panjang gelombang  $H_\alpha$  diam 6563 angstrom) sebesar 0,047. Maka kecepatan radial galaksi tersebut terhadap pengamat adalah ....
  - a. 298000 km/s
  - b. 14100 km/s
  - c. 6383 km/s
  - d. 972,57 km/s
  - e. 139638 km/s
5. Foton CMB yang berhasil diamati saat ini berada pada panjang gelombang 1 mm. Foton tersebut dipancarkan ketika alam semesta  $\frac{1}{1100}$  ukurannya saat ini. Estimasi panjang gelombang foton tersebut ketika baru diemisikan?
  - a. 9000 angstrom
  - b. 7000 angstrom

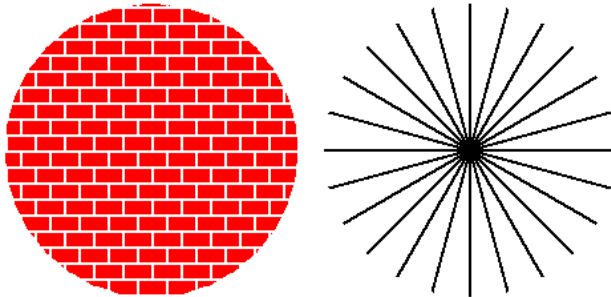
- c. 5000 angstrom  
d. 3000 angstrom  
e. 1000 angstrom
6. Berkembangnya teknologi teleskop di angkasa memungkinkan manusia mengamati objek yang kecerlangannya hanya  $\frac{1}{50}$  kecerlangan objek paling redup yang bisa diamati menggunakan teleskop landas Bumi. Teleskop landas Bumi terbaik bisa mengamati objek yang jaraknya kurang lebih  $10^9$  parsek dari tata surya. Saat teleskop di angkasa memulai pengamatannya, benda terjauh yang bisa diamati menggunakan teleskop tersebut kurang lebih berasal dari ... tahun di masa lalu.
- a.  $1,2 \times 10^7$   
b.  $1,5 \times 10^8$   
c.  $3,2 \times 10^9$   
d.  $2,3 \times 10^{10}$   
e.  $1,0 \times 10^{11}$
7. Lokasi di Bima Sakti yang paling mungkin andai saat ini terjadi supernova tipe II adalah di ....
- a. Bulge  
b. Stellar halo  
c. Dark halo  
d. Lengan spiral  
e. Pusat Galaksi
8. Mengapa lengan spiral galaksi-galaksi tampak lebih biru daripada bagian galaksi spiral lain?
- a. Spektrum yang berasal dari lengan spiral mengalami pergeseran biru sebagai akibat arah gerak rotasi.  
b. Spektrum yang berasal dari lengan spiral didominasi bintang-bintang O dan B.  
c. Spektrum yang berasal dari lengan spiral berasal dari bintang-bintang yang spektrumnya mengalami pergeseran biru karena gerak acaknya.  
d. Pernyataan a, b, dan c benar  
e. Pernyataan a, b, dan c salah
9. Pada gambar berikut, B menyatakan kurva rotasi Bima Sakti. Maka massa Bima Sakti yang terlingkupi dalam radius 10 kpc adalah ....



- a.  $1,85 \times 10^{10}$   
b.  $2,65 \times 10^{10}$

- c.  $3,45 \times 10^{10}$
  - d.  $7,15 \times 10^{10}$
  - e.  $9,25 \times 10^{10}$
10. Perhatikan pernyataan-pernyataan berikut ini. Pilih pernyataan yang benar!
- 1. Shapley memperkirakan ukuran Bima Sakti jauh lebih besar dibanding dugaan sebelumnya sehingga ia berpendapat nebula spiral yang diamati masih ada di dalam Bima Sakti.
  - 2. Data baru menunjukkan nebula spiral yang teramati berputar, mengindikasikan jaraknya yang dekat.
  - 3. Curtis mengestimasi ukuran Bima Sakti kecil. Jika nebula spiral sama ukurannya dengan Bima Sakti, ukuran angular nebula spiral yang tampak bervariasi mengindikasikan mereka berada di luar Bima Sakti.
  - 4. Curtis mendapati bahwa spektrum nebula spiral tidak serupa dengan spektrum nebula, tetapi konsisten dengan spektrum kumpulan bintang-bintang.
- a. Pernyataan 1, 2, 3 benar
  - b. Pernyataan 1 dan 3 benar
  - c. Pernyataan 2 dan 4 benar
  - d. Pernyataan 4 benar
  - e. Seluruh pernyataan benar
11. Sebuah bintang variabel Cepheid teramati di sebuah galaksi di konstelasi Fornax. Dibandingkan dengan variabel Cepheid di Large Magellanic Cloud (LMC) yang terletak pada jarak 60 kpc, variabel Cepheid tersebut memiliki periode yang sama (mengindikasikan kecerlangan absolut sama), tetapi teramati 90000 kali lebih redup. Berapa jarak ke galaksi di Fornax tadi dalam megaparsek?
- a. 54
  - b. 48
  - c. 36
  - d. 18
  - e. 9
12. Galaksi yang sama seperti pada soal nomor 9 teramati memiliki pergeseran merah rata-rata sebesar 0,45%. Berdasarkan informasi ini dan soal pada nomor 9, konstanta Hubble yang terukur adalah sebesar ... km/s/Mpc.
- a. 80
  - b. 75
  - c. 70
  - d. 65
  - e. 60

13. Jika bintang di Bima Sakti terukur memiliki pergeseran merah, bisakah konstanta Hubble yang diperoleh dari hasil pengamatan saat ini digunakan untuk mengestimasi jarak ke bintang tersebut?
- Bisa, karena alam semesta bersifat homogen dan isotropik.
  - Bisa, karena metode penentuan jarak menggunakan hukum Hubble memiliki tingkat ketelitian paling tinggi dibanding metode pengukuran jarak lain.
  - Tidak bisa, karena hukum Hubble hanya valid pada skala besar yang diaplikasikan pada pengembangan ruang yang mengembang antara galaksi.
  - Tidak bisa, karena bintang-bintang di dalam galaksi Bima Sakti berevolusi mengelilingi pusat Galaksi.
  - Tidak bisa, karena bintang-bintang di dalam galaksi Bima Sakti berotasi secara diferensial.
14. Homogen bermakna tidak ada posisi/lokasi istimewa sedangkan isotropik artinya tidak ada arah yang istimewa. Pernyataan yang tepat mengenai gambar di bawah ini adalah ....



- Gambar kiri homogen, tetapi tidak isotropik.
  - Gambar kanan homogen, tetapi tidak isotropik.
  - Gambar kiri homogen dan isotropik.
  - Gambar kanan homogen dan isotropik.
  - Kedua gambar homogen dan isotropik.
15. Konsekuensi teori Steady State yang menyatakan bahwa alam semesta homogen dan isotropik di semua aspek (ruang dan waktu) mengimplikasikan ... tidak berlaku.
- Keseragaman kerapatan
  - Pengembangan alam semesta
  - Kekekalan massa dan energi
  - Kekekalan momentum
  - Pembentukan materi baru