



**SOAL
OLIMPIADE SAINS NASIONAL
TAHUN 2015**



**ASTRONOMI
RONDE ANALISIS DATA
Waktu: 240 menit**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN MENENGAH
DIREKTORAT PEMBINAAN SEKOLAH MENENGAH ATAS
TAHUN 2015**



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN MENENGAH

DIREKTORAT PEMBINAAN SEKOLAH MENENGAH ATAS

Soal 1: Relief Benda Langit di Candi Borobudur

Candi Borobudur ($7^{\circ} 36' 28''$ LS dan $110^{\circ} 12' 13''$ BT) adalah candi Budha terbesar di dunia yang didirikan oleh wangsa Syailendra. Pembangunan candi Borobudur diperkirakan antara tahun 780–830 M. Di salah sisi candi terdapat relief seperti foto pada Gambar 1.



Gambar 1: Relief di candi Borobudur yang menggambarkan Bulan sabit, 7 buah bintang, dan Matahari. Sumber foto: langitselatan.com

Pada relief tersebut terdapat gambar Bulan sabit, Matahari, dan tujuh buah bulatan yang kemungkinan adalah 7 buah bintang. Ada berbagai dugaan tentang 7 buah bulatan/bintang tersebut. Ada yang mengatakan tujuh buah bintang tersebut sebagai rasi Biduk Besar (*Ursa Major*) yang berguna untuk menunjukkan arah utara. Bahkan ada yang berspekulasi bahwa saat dibangunnya candi Borobudur, orang-orang dapat melihat bintang *Polaris*. Selain dugaan bintang *Biduk Besar*, ada pula yang menduga 7 buah bintang itu sebagai bintang *wuluh* atau *guru desa*, nama lain dari gugus bintang *Pleiades*.

Pada soal ini kita akan membuktikan spekulasi-spekulasi di atas dengan menggunakan perhitungan astronomi. Tentu hal yang perlu diperhitungkan dalam penentuan posisi benda langit adalah faktor presesi benda langit akibat berubahnya sumbu rotasi Bumi.

1. Dengan menggunakan data koordinat ekuatorial tahun 2000 untuk rasi *Biduk Besar* (*Ursa Major*), bintang *Polaris*, dan *Pleiades* yang diberikan pada Tabel 1, hitunglah koordinat bintang-bintang tersebut pada saat Borobudur selesai dibangun.

Akibat presesi Bumi yang memiliki periode 26000 tahun, koordinat ekuatorial suatu benda langit berubah mengikuti persamaan:

$$\Delta\alpha = M + N \sin(\alpha) \tan(\delta) \quad (1)$$

$$\Delta\delta = N \cos(\alpha) \quad (2)$$

Tabel 1: Koordinat ekuatorial objek-objek yang diperkirakan terkait dengan relief yang ada di Candi Borobudur.

Objek	Asensio rekta	Deklinasi
Dubhe (α UMa)	11 ^j 03 ^m 43,7 ^d	+61° 45' 03"
Merak (β UMa)	11 ^j 01 ^m 50,5 ^d	+56° 22' 57"
Pecda (γ UMa)	11 ^j 53 ^m 49,8 ^d	+53° 41' 41"
Megrez (δ UMa)	12 ^j 15 ^m 25,6 ^d	+57° 01' 57"
Alioth (ϵ UMa)	12 ^j 54 ^m 01,7 ^d	+55° 57' 35"
Mizar (ζ UMa)	13 ^j 23 ^m 55,5 ^d	+54° 55' 31"
Alkaid (η UMa)	13 ^j 47 ^m 32,4 ^d	+49° 18' 48"
Polaris (α UMi)	02 ^j 31 ^m 48,7 ^d	+89° 15' 51"
Pleiades (M 45)	03 ^j 47 ^m 29,1 ^d	+24° 06' 18"

dengan

$$M = 1^{\circ},2812323 T + 0^{\circ},003879 T^2 + 0^{\circ},0000101 T^3$$

$$N = 0^{\circ},5567530 T - 0^{\circ},0001185 T^2 - 0^{\circ},0000116 T^3$$

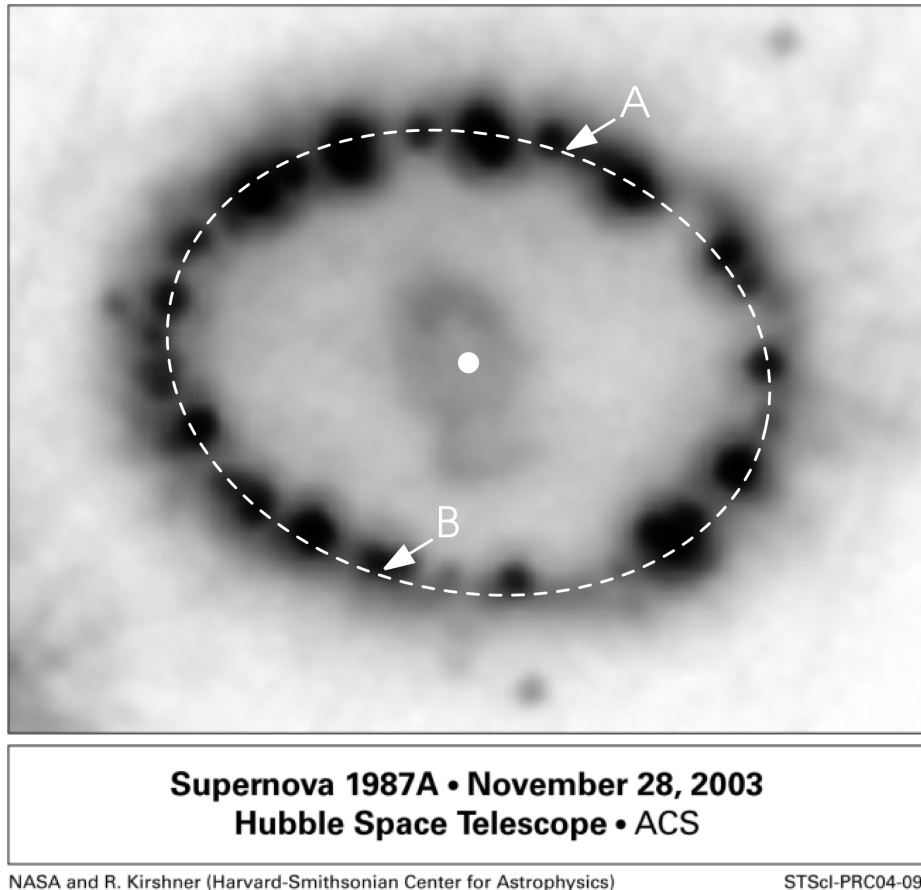
$$T = \frac{t - 2000,0}{100},$$

dan t adalah tahun saat perhitungan presesi di perlukan.

2. Dengan menggunakan hasil koordinat pada soal (1), hitunglah jarak zenit maksimum ketiga objek tersebut.
 - a. Objek mana yang memiliki jarak zenit paling tinggi?
 - b. Apakah *Polaris* dapat diamati pada saat itu?
 - c. Dapatkah *Polaris* diamati di atas stupa utama yang memiliki ketinggian sekitar 35 m?
3. Jika seorang mengamati rasi *Biduk Besar* di meridian pada saat Matahari terbenam (anggap Matahari terbenam pukul 18.30), hitung pada bulan dan tanggal berapa saat itu terjadi?
4. Jika seorang mengamati rasi *Pleiades* di meridian pada saat Matahari terbenam (anggap Matahari terbenam pukul 18.30), hitung pada bulan dan tanggal berapa saat itu terjadi?
5. Perkirakan objek apa yang digambarkan oleh tujuh buah bintang di relief Borobudur tersebut, apakah rasi *Biduk Besar* atau *Pleiades*?

Soal 2: Supernova 1987A

SN 1987A merupakan supernova tipe II yang terjadi di *Large Magellanic Cloud* dan teramati meledak pada tanggal 23 Februari 1987 ($JD = 2446849,81$). Energi ledakan memanasi cincin gas yang berada di sekitarnya dan tampak seperti Gambar 2. Cincin tersebut sebenarnya berbentuk lingkaran, tapi tampak berbentuk elips dengan sumbu panjang $1,66''$ karena miring terhadap bidang langit. Akibat kemiringan tersebut, cahaya dari sisi dekat (titik A pada Gambar 2) teramati lebih dahulu, sedangkan sisi jauh (titik B) teramati 335 hari setelahnya.



Gambar 2: Citra (negatif) *supernova remnant* 1987A dipotret dengan *Advanced Camera for Survey* yang terpasang pada *Hubble Space Telescope*.

Pengamatan fotometri dilakukan untuk menentukan kecerlangan cincin SN 1987A (lihat Tabel 2) demi memahami astrofisika di baliknya. Pengamatan tersebut menunjukkan bahwa radiasi dari SN 1987A mengalami penurunan setelah ledakan terjadi. Astronom memperkirakan bahwa radiasi SN 1987A dapat bersumber dari peluruhan isotop radioaktif $^{57}_{27}\text{Co}$ atau $^{56}_{27}\text{Co}$ dengan reaksi:



Laju peluruhan sebanding dengan jumlah isotop yang ada (N):

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N, \quad (5)$$

dengan λ menyatakan konstanta peluruhan yang berkaitan dengan waktu paruh isotop. Dengan demikian, jumlah isotop terus berkurang secara eksponensial mengikut persamaan:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (6)$$

dengan N_0 menyatakan jumlah awal isotop.

Penurunan luminositas SN 1987A dapat digunakan untuk mengetahui reaksi peluruhan mana yang lebih penting dan untuk mengetahui jumlah isotop dan logam berat yang dihasilkan supernova tersebut. Untuk itu, ikuti langkah-langkah berikut:

1. Geometri cincin SN 1987A dan selisih waktu deteksi sisi dekat dan sisi jauh dapat memberikan kunci dalam penentuan jarak SN 1987A dari Bumi. Tentukan jarak objek ini dari Bumi.
2. Berdasarkan data yang disajikan dalam Tabel 2, buatlah plot $\log(F)$ terhadap $t-t_0$, dengan t_0 menyatakan waktu supernova mulai teramati dari Bumi.
3. Bila diperhatikan, terdapat bagian kurva cahaya yang menurun secara linier. Tentukan persamaan garis yang sesuai dengan penurunan tersebut. Perhatikan baik-baik satuan yang digunakan.
4. Berdasarkan parameter yang disajikan pada Tabel 3, hitung nilai konstanta λ (Persamaan 6) untuk peluruhan isotop $^{57}_{27}\text{Co}$ dan $^{56}_{27}\text{Co}$.
5. Tentukan energi yang dihasilkan dari setiap peluruhan. Nyatakan dalam satuan erg.
6. Bila energi tiap reaksi dinyatakan sebagai ϵ maka energi yang dihasilkan tiap waktu (luminositas) dapat dinyatakan sebagai:

$$L = \frac{\Delta E}{\Delta t} \tag{7}$$

$$= \epsilon \frac{\Delta N}{\Delta t}$$

$$= \epsilon \lambda N_0 e^{-\lambda t} \tag{8}$$

Dengan memperhatikan Persamaan 8, kemiringan kurva cahaya (soal no. 2), serta nilai λ untuk setiap reaksi peluruhan, tentukan reaksi peluruhan mana yang secara dominan memberikan energi bagi SN 1987A.

7. Hitung luminositas SN 1987A pada $t = 120$ hari. Nyatakan dalam satuan erg/s.
8. Tentukan massa isotop dominan tersebut pada $t = 120$ hari. Nyatakan dalam satuan massa Matahari.

Tabel 2: Fluks bolometrik SN 1987A diamati dari Bumi beberapa hari setelah ledakan.

No.	$t - t_0$ [hari]	F [$\times 10^{-6}$ erg/s/cm ²]	No.	$t - t_0$ [hari]	F [$\times 10^{-6}$ erg/s/cm ²]
1.	5,64	0,523	21.	125,66	1,032
2.	10,79	0,545	22.	130,65	0,981
3.	15,81	0,636	23.	160,06	0,735
4.	20,77	0,737	24.	175,09	0,632
5.	25,75	0,862	25.	188,07	0,559
6.	30,77	0,978	26.	195,02	0,525
7.	35,79	1,103	27.	200,97	0,493
8.	41,71	1,305	28.	214,98	0,431
9.	45,70	1,454	29.	239,91	0,337
10.	51,70	1,677	30.	245,94	0,322
11.	54,70	1,780	31.	253,93	0,295
12.	59,72	1,948	32.	260,82	0,276
13.	70,68	2,273	33.	273,94	0,243
14.	80,67	2,435	34.	285,88	0,217
15.	89,68	2,446	35.	295,86	0,196
16.	95,65	2,336	36.	308,83	0,171
17.	101,64	2,145	37.	316,79	0,159
18.	110,67	1,620	38.	345,83	0,118
19.	115,65	1,311	39.	381,73	0,083
20.	119,65	1,150	40.	399,69	0,071

Tabel 3: Parameter dasar dari beberapa isotop. Massa dinyatakan dalam satuan massa atom (1 sma = $1,6605 \times 10^{-27}$ kg). Waktu paruh menyatakan waktu yang diperlukan unsur radioaktif untuk meluruh menjadi separuh nilai semula.

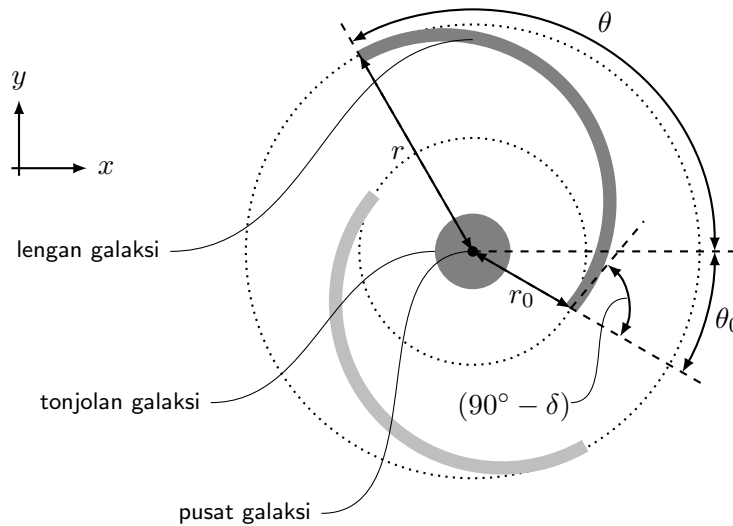
Isotop	Massa [sma]	waktu paruh [hari]
$^{57}_{27}\text{Co}$	56,936	271,7
$^{57}_{26}\text{Fe}$	56,935	–
$^{56}_{27}\text{Co}$	55,940	77,23
$^{56}_{26}\text{Fe}$	55,935	–

Soal 3: Lengan Spiral Galaksi

Galaksi spiral adalah salah satu objek astronomis terindah di langit. Ciri khas paling jelas dari galaksi ini adalah lengan spiral yang bervariasi bentuknya. Lengan spiral tersebut bergerak mengitari pusat galaksi dalam rentang waktu ratusan juta tahun. Pada soal kali ini kita akan meneliti lengan spiral dengan menggunakan persamaan matematika yang menggambarkan lengan spiral di galaksi yang disebut dengan persamaan spiral:

$$r = r_i e^{(\theta - \theta_0) \tan(\delta)}, \tag{9}$$

di mana (r, θ) adalah koordinat polar lengan galaksi, r_i adalah jarak awal lengan ke pusat galaksi, θ_0 adalah sudut posisi awal lengan terhadap sumbu- x dari pusat galaksi, dan δ menyatakan sudut bukaan atau *pitch angle* yang menyatakan kemiringan lengan terhadap lingkaran acuan (lihat Gambar 3).



Gambar 3: Ilustrasi model lengan spiral galaksi.

Sekarang kita akan menggunakan fungsi spiral terhadap 5 buah citra galaksi spiral (lihat di lembar jawab) untuk menentukan parameter sudut bukaan. Langkah-langkah yang perlu dilakukan adalah:

1. Buat sumbu- x dan sumbu- y pada citra galaksi spiral dan buat sketsa lengan-lengan spiral pada citra tersebut.
2. Untuk setiap galaksi, tentukan nilai r , $\ln(r/r_i)$, $\tan(\delta)$ dan δ pada sudut $(\theta - \theta_0)$ yang telah ditentukan. Isikan pada tabel yang diberikan di lembar jawab. Hitung pula rata-rata nilai parameter δ untuk setiap galaksi.
3. Ukur diameter tonjolan (*bulge*) kelima galaksi tersebut. Nyatakan dalam kpc.
4. Buat plot hubungan antara diameter tonjolan dengan sudut bukaan.
5. Apa pendapatmu tentang hubungan plot tersebut dan kaitannya dengan diagram garpu-tala Hubble?

Tabel 4: Jarak galaksi dari Bumi.

No.	Galaksi	Jarak [Mpc]
1.	NGC 3031	0,662
2.	NGC 628	8,927
3.	NGC 4535	16,95
4.	NGC 1365	18,16
5.	NGC 5247	22,20

Nama konstanta	Simbol	Harga
Kecepatan cahaya	c	$2,99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$
Konstanta gravitasi	G	$6,673 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg/s}^2$
Konstanta Planck	h	$6,6261 \times 10^{-34} \text{ J s}$
Konstanta Boltzmann	k	$1,3807 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
Konstanta Stefan-Boltzmann	σ	$5,6705 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$
Muatan elektron	e	$1,6022 \times 10^{-19} \text{ C}$
Massa elektron	m_e	$9,1094 \times 10^{-31} \text{ kg}$
Massa proton	m_p	$1,6726 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Massa neutron	m_n	$1,6749 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Massa atom ${}_1\text{H}^1$	m_H	$1,6735 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Konstanta gas	R	$8,3145 \text{ J/K/mol}$

Nama besaran	Notasi	Harga
Satuan astronomi	au	$1,49597870 \times 10^{11} \text{ m}$
Parsek	pc	$3,0857 \times 10^{16} \text{ m}$
Tahun cahaya	ly	$0,9461 \times 10^{16} \text{ m}$
Massa Matahari	M_\odot	$1,989 \times 10^{30} \text{ kg}$
Jejari Matahari	R_\odot	$6,96 \times 10^8 \text{ m}$
Temperatur efektif Matahari	$T_{\text{eff},\odot}$	5785 K
Luminositas Matahari	L_\odot	$3,9 \times 10^{26} \text{ W}$
Magnitudo semu visual Matahari	V	-26,78
Indeks warna Matahari	$B - V$	0,62
	$U - B$	0,10
Magnitudo mutlak visual Matahari	M_V	4,79
Magnitudo mutlak biru Matahari	M_B	5,48
Magnitudo mutlak bolometrik Matahari	M_{bol}	4,72
Massa Bulan	M_D	$7,348 \times 10^{22} \text{ kg}$
Jejari Bulan	R_D	1738000 m
Jarak rerata Bumi-Bulan		384399000 m
Konstanta Hubble	H_0	69,3 km/s/Mpc