

2019

SMA
ASTRONOMI



085223273373

TELESKOP DAN INSTRUMEN LAIN

Perkembangan dalam Astronomi sangat didorong oleh eksplorasi terhadap berbagai rentang panjang gelombang elektromagnetik. Penemuan pertama sinyal ekstraterestrial di luar cahaya tampak adalah pengamatan terhadap sinar kosmik oleh Victor Hess pada tahun 1912, yang hingga kini masih dicari asal muasalnya. Pada tahun 1935, Karl Jansky menemukan sebuah sinyal radio ekstraterestrial dan bisa mengasosiasikannya dengan pusat dan bidang galaksi Bima Sakti. Usai Perang Dunia ke II, pita panjang gelombang radio dipelajari secara sistematis. Kemudian sejak tahun tujuh puluhan, sinar-X dan sinar gamma dalam astronomi beserta infra merah dieksplor menggunakan satelit. Baru-baru ini teleskop Cherenkov mendeteksi foton dengan energi yang lebih besar dari 100 GeV.

Pada waktu yang sama, terjadi peningkatan instrumen pengumpul cahaya: pengamatan mata telanjang digantikan dengan plat fotografi dan kemudian diganti dengan *charge-coupled devices* (CCD), mirip dengan yang digunakan saat ini pada kamera digital. Kemajuan lain yakni penggunaan komputer untuk koreksi dan analisis data. Progres lain diharapkan datang dari luar gelombang elektromagnetik. Saat ini pengamatan juga dilakukan terhadap partikel bermuatan seperti sinar kosmik, neutrino, dan gelombang gravitasi.

Secara umum, instrumen pengamatan bisa dikategorikan menjadi 3: kolektor (pengumpul cahaya) misalnya teleskop, detektor (perekam, pendeteksi, atau penerima cahaya) misalnya kamera, dan analisator misalnya spektrograf dan polarisator.

a. Teleskop Optik

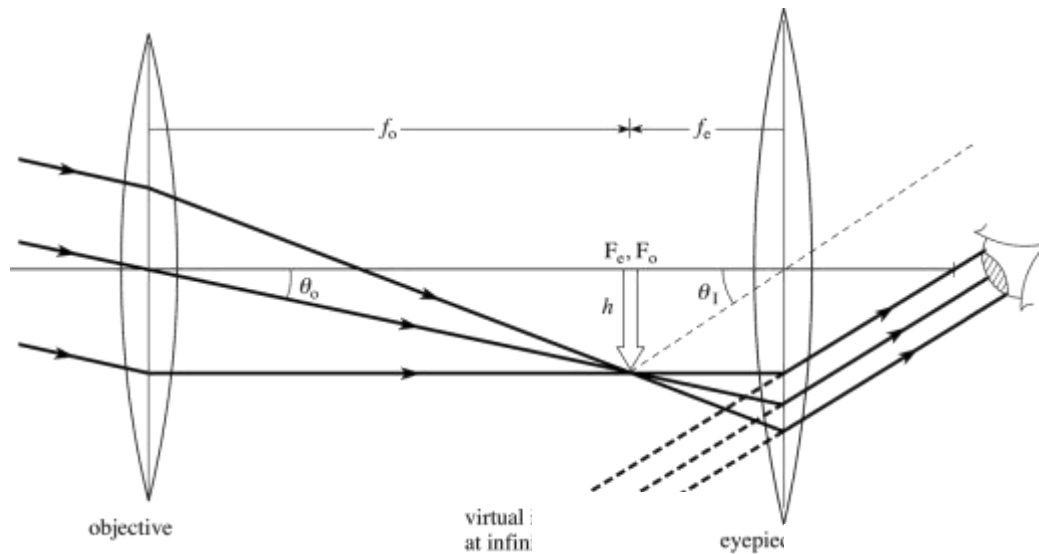
Teleskop optik dapat dibagi menjadi dua kelas utama: i) teleskop refraktor/pembias menggunakan lensa dan ii) teleskop reflektor/pemantul menggunakan cermin (dilengkapi lensa). Teleskop refraktor sendiri dibagi menjadi dua sub kelas: versi Kepler yang menggunakan lensa cekung dan versi Galileo yang menggunakan satu lensa cekung dan satu lensa cembung.

Karakteristik Teleskop

Magnifikasi M : banyak objek (bintang ganda, galaksi) yang tampak sebagai benda titik oleh mata telanjang, menunjukkan struktur luasan jika diamati dengan teleskop. Karena benda yang diamati berada pada jarak yang jauh sekali (secara praktis ∞), maka layakanya yang diukur adalah perbesaran angularnya. Berdasarkan Gambar A.1, terlihat bahwa magnifikasi/perbesaran M bergantung pada perbandingan antara panjang fokus.

$$M = \frac{\theta_I}{\theta_o} = \frac{\frac{h}{f_e}}{\frac{h}{f_o}} = \frac{f_o}{f_e}, \quad (\text{A.1})$$

dengan f_o dan f_e menyatakan panjang fokus objektif dan okuler/*eyepiece*.



Gambar A.1: Magnifikasi angular pada sistem teleskop. Lensa di sebelah kiri adalah lensa objektif sedangkan di sebelah kanan adalah lensa okuler/eyepiece. Bayangan benda terbentuk maya pada jarak tak hingga dengan sinar-sinar sejajar ke mata.

Medan pandang. Medan pandang teleskop dirumuskan dengan $FoV = \frac{app\ FoV = 45^\circ \text{ sampai } 55^\circ}{M}$. Makin detail perbesaran teleskop, medan pandang teleskop makin kecil. *app FoV* menyatakan medan pandang okuler dari pabrik.

Resolusi α : jarak sudut terkecil antara dua objek yang bisa dipisahkan dalam sebuah citra dinamakan daya pisah atau resolusi teleskop. Batas bawah resolusi teleskop diberikan oleh difraksi, yakni interferensi cahaya yang datang dari berbagai posisi di bidang bukaan (apertur) teleskop (luas lensa objektif). Bayangkan misalnya untuk satu dimensi, saat interferensi destruktif terjadi: kita bagi apertur teleskop menjadi segmen-segmen $2n$ dengan panjang tiap segmen $d = \frac{D}{2n}$, D menyatakan diameter bukaan teleskop. Maka interferensi destruktif terjadi pada

$$\frac{D}{2n} \sin \alpha = \frac{\lambda}{2} \text{ atau } \alpha_n \approx \sin \alpha_n = \frac{n\lambda}{D} \text{ dengan } n = 1, 2, 3, \dots$$

Untuk apertur berbentuk lingkaran dengan diameter D , difraksi minimum pertama terjadi pada $\alpha_1 \approx \frac{1,22\lambda}{D}$. Maka dua objek bisa dipisahkan oleh sebuah teleskop jika jarak sudut pisah mereka lebih besar daripada α_1 . Ini dinamakan kriteria Rayleigh.

Light gathering power: apertur atau diameter D teleskop menentukan luasan pengumpul cahaya yang selanjutnya difokuskan. Dibandingkan dengan mata manusia dengan $D_m \approx 5$ mm, sebuah teleskop dengan diameter D_t mampu mengumpulkan cahaya $\frac{D_t^2}{D_m^2}$ kali lebih banyak, sehingga mampu melihat magnitudo yang lebih redup daripada mata. Dikenal pula besaran yang dinamakan magnitudo limit teleskop. Magnitudo limit teleskop

menggambarkan magnitudo bintang paling redup yang bisa dilihat mata dengan bantuan teleskop. Rumusnya diberikan oleh:

$$m_{limteleskop} = m_{limmata} + 5 \log \frac{D_t}{D_m}. \quad (A.2)$$

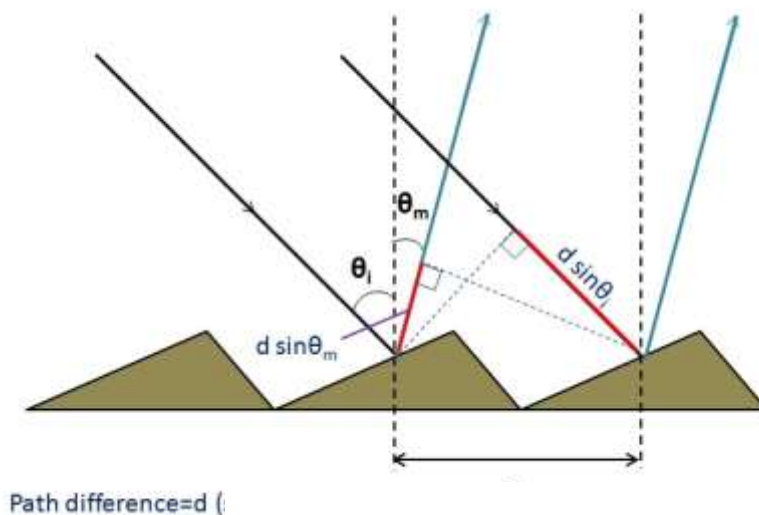
Eksposur dan efisiensi kuantum: plat fotografi atau detektor fotoelektrik mampu mengumpulkan cahaya berjam-jam, sedangkan mata umumnya hanya bisa mengumpulkan cahaya selama sekitar $\frac{1}{20}$ detik saja. Eksposur lama meningkatkan magnitudo limit teleskop. Mata atau plat fotografi memiliki efisiensi kuantum sekitar 1% saja. Artinya hanya 1% cahaya dari seluruh foton datang saja yang bisa dideteksi. Detektor modern seperti CCD memiliki efisiensi kuantum mendekati 100%.

Spektrograf

Spektrograf adalah alat yang digunakan untuk melihat spektrum cahaya, menguraikan cahaya polikromatik ke komponen-komponen monokromatiknya. Contoh spektrograf paling sederhana yakni prisma. Jenis lain yakni kisi difraksi yang biasanya dikarakterisasi dengan konstanta kisi $\frac{1}{d}$ dengan perbedaan panjang lintasan cahaya antara dua kisi/garis yang bersebelahan:

$$d(\sin \theta_i + \sin \theta_m) = n\lambda, \text{ dengan } n = \pm 1, \pm 2, \dots \quad (A.3)$$

Geometrinya bisa dilihat pada Gambar A.2 berikut.



Gambar A.2: Ilustrasi kisi difraksi. Panah hitam menunjukkan sinar datang sedangkan panah biru menunjukkan sinar pantul. Garis merah menggambarkan perbedaan lintasan yang ditempuh cahaya dari 2 kisi yang saling bersebelahan. Sumber: wikipedia oleh akun Vigneshdm1990.

Komplikasi

Aberasi kromatis. Karena indeks refraksi suatu lensa bergantung pada panjang gelombang, cahaya dengan panjang gelombang berbeda akan difokuskan pada titik yang berbeda, sehingga bayangan tidak terbentuk secara tajam pada satu bidang fokus. Hal ini tidak terjadi pada teleskop reflektor.

Aberasi sferis. Meskipun bebas dari aberasi kromatis, teleskop reflektor sering kali mengalami aberasi sferis: cahaya dari tepi bukaan tidak dibelokkan ke titik fokus yang tepat. Masalah ini biasanya diatasi dengan membuat cermin dengan kelengkungan parabola, bukan lingkaran.

Seeing atmosfer. Resolusi teleskop-teleskop besar di permukaan Bumi dibatasi oleh *seeing* atmosfer. Turbulensi udara membuat indeks refraksi udara menjadi bergantung terhadap waktu, menyebabkan citra sumber titik bergoyang-goyang, bergabung membentuk bentangan. Masalah ini lazimnya diatasi dengan memasang sistem instrumen yang dinamakan *adaptive optic*. *Adaptive optic* mengoreksi perubahan indeks bias udara ini. Cara lain tentu saja dengan melakukan pengamatan di lokasi yang amat tinggi, bahkan jika perlu keluar atmosfer Bumi.

b. Rentang Panjang Gelombang Lain

Teleskop radio. Radio adalah salah satu pita gelombang elektromagnetik yang banyak diteruskan oleh atmosfer. Maka teleskop radio adalah instrumen pengamatan yang ideal untuk dibuat landas Bumi. Karena rentang panjang gelombang radio yang diamati umumnya berada dalam rentang cm hingga meter, maka antena parabola bisa dibuat dari garis-garis logam sederhana sehingga diameter piringan bisa besar sekali, hingga mencapai 100 m. Di sisi lain, resolusi teleskop radio, yang menurut kriteria Rayleigh sebanding dengan λ , sangat buruk dibandingkan teleskop optik. Namun hal ini bisa diatasi salah satunya dengan menggabungkan informasi dari teleskop-teleskop yang terletak di lokasi berbeda-beda membentuk interferometer.

Instrumen untuk Astronomi Energi Tinggi. Pengamatan pada panjang gelombang ultraviolet dan yang lebih pendek terhalang oleh tiga rintangan utama: i) atmosfer Bumi kedap terhadap foton dengan energi lebih dari 10 eV, artinya pengamatan foton dengan energi di atas nilai ini mengharuskan lokasi detektor di atas atmosfer Bumi. Terobosan utama dalam astronomi sinar-X dan sinar gamma adalah diluncurkannya teleskop angkasa pertama, SAS-2, pada tahun 1972. ii) Optika geometri tidak bisa diterapkan untuk foton pada rentang energi sinar-X ($0,1 \text{ keV} < E < 100 \text{ keV}$) dan lebih dari itu. iii) Fluks foton turun secara tajam sebagai fungsi energi, makin tinggi energi, makin rendah fluks foton yang datang. Pemantulan sudut kecil terhadap bidang pemantul masih mungkin dilakukan untuk sinar-X. Oleh karena itu pengamatan sinar-X menggunakan teleskop tipe khusus yang membuat cahaya hanya menyerempet cermin teleskop saja.

c. Pengamatan di Luar Gelombang Elektromagnetik

Secara prinsip, seluruh tipe partikel yang stabil (tidak cepat meluruh) bisa digunakan untuk mengumpulkan informasi mengenai alam semesta. Sebagai tambahan selain foton, sumber informasi yang bisa diamati adalah partikel elementer bermuatan dan inti yang stabil.

Partikel bermuatan—sinar kosmik. Victor Hess pada tahun 1912 menemukan di atas sebuah balon udara bahwa radiasi ion meningkat dengan ketinggian. Ia melakukan pengamatan pula ketika gerhana Matahari, tetapi tidak mendapati adanya penurunan. Maka Hess menyimpulkan bahwa Matahari tidak bisa dianggap sebagai sumbernya. Belakangan, kajian terhadap defleksi dalam medan magnet menunjukkan bahwa sinar kosmik didominasi oleh proton.

Spektrum sinar kosmik mengindikasikan pembentukan mereka bukan berasal dari proses termal. Proses termal menunjukkan hubungan termodinamika antara temperatur dengan energi partikel pembawa informasi. Proses non termal tidak demikian.

Neutrino. Keuntungan neutrino dibanding foton adalah karena neutrino tidak mudah berinteraksi. Ia seperti partikel hantu yang menembus begitu saja apapun yang dilaluinya. Sebagai perbandingan, foton biasanya perlu waktu jutaan tahun untuk melintas dari lokasi pembentukannya di pusat bintang hingga permukaan bintang. Mengapa demikian? Karena foton berinteraksi dengan berbagai partikel di dalam bintang terlebih dahulu. Bayangkan kita berada di tengah ruang pesta lalu ingin pulang. Sebelum berhasil keluar, lazimnya kita menyapa setiap tamu yang kita kenal, berbelok ke sana kemari sehingga perlu waktu lama untuk akhirnya membebaskan diri dari kerumunan. Neutrino tidak seperti foton atau kita yang terjebak dalam pesta. Usai diproduksi di pusat bintang, neutrino bisa menembus keluar begitu saja tanpa berinteraksi dengan apapun yang menghadangnya.

Gelombang gravitasi. Mirip dengan persamaan Maxwell yang memprediksi gelombang elektromagnetik, relativitas umum Einstein memprediksi keberadaan gelombang gravitasi sebagai distorsi ruang waktu. Einstein menggambarkan gravitasi sebagai kelengkungan ruang waktu. Saat ada massa menempati ruang waktu, maka ruang waktu di situ akan melengkung sesuai dengan besar massa di sana. Jika massa ini bergerak dengan percepatan, maka akan terbentuk riak gelombang kelengkungan ruang waktu. Riak gelombang inilah yang dinamakan gelombang gravitasi. Walau begitu, gelombang gravitasi sangat lemah sehingga perlu detektor yang sangat sensitif untuk mendeteksinya. Salah satu ‘kemenangan’ yang berhasil diraih yakni dideteksinya gelombang gravitasi untuk pertama kali oleh LIGO pada tahun 2015 lalu.

SOAL

1. Alasan utama pembuatan teleskop pengamatan cahaya tampak dibuat makin besar adalah
 - a. Untuk membuat gambar yang makin tajam dengan resolusi sudut sangat kecil.
 - b. Untuk mengumpulkan cahaya lebih banyak.
 - c. Untuk mendapatkan gambar yang makin detail.
 - d. Untuk mengamati warna bintang dengan akurat.
 - e. Untuk memperoleh resolusi spektrum yang tinggi.
2. Latar belakang utama teleskop radio dibuat kian besar dengan menyebarkannya di seluruh penjuru benua adalah
 - a. Untuk membuat gambar yang makin tajam dengan resolusi sudut sangat kecil.
 - b. Untuk mengumpulkan cahaya lebih banyak.
 - c. Untuk mendapatkan gambar yang makin detail.
 - d. Untuk mengamati warna bintang dengan akurat.
 - e. Untuk memperoleh resolusi spektrum yang tinggi.
3. A simple convex lens forms the image of a distant point source at a place called the
 - a. focal length
 - b. focal point
 - c. object point
 - d. objective
 - e. half diameter point
4. Which combination of lens parameters will give the brightest image of a faint comet?
 - a. Large diameter, short focal length
 - b. Small diameter, short focal length
 - c. Small diameter, long focal length
 - d. Large diameter, long focal length
 - e. Thin lense, long focal length
5. Makin besar cermin objektif suatu teleskop, maka
 - a. Makin merah kenampakan objek yang diamati.
 - b. Makin jauh kenampakan objek yang diamati.
 - c. Makin luas area di langit yang bisa diamati pada suatu waktu pengamatan.
 - d. Makin sempit luas area di langit yang bisa diamati pada suatu waktu pengamatan.
 - e. Tidak ada jawaban yang tepat.

PELATIHAN ONLINE 2019 ASTRONOMI – PAKET 4



6. Jika teleskop berdiameter 1 meter perlu waktu 1 jam untuk mengumpulkan cahaya. Berapa waktu eksposur bagi teleskop berdiameter 6 meter untuk mengumpulkan cahaya dengan jumlah yang sama?
 - a. 1 jam
 - b. 10 menit
 - c. 140 detik
 - d. 100 detik
 - e. 1,67 detik

7. Andra ingin mengamati sebuah kawah di Bulan yang diameternya 1000 km menggunakan teleskop refraktornya yang memiliki diameter sekitar 8 inch. Bantu Andra memilih lensa okuler yang tepat agar ia dapat melihat kawah seutuhnya! Diberikan jarak Bumi-Bulan 384400 km dan medan pandang seluruh okuler yang tersedia 50° .
 - a. 4 mm
 - b. 5 mm
 - c. 8 mm
 - d. 10 mm
 - e. 15 mm

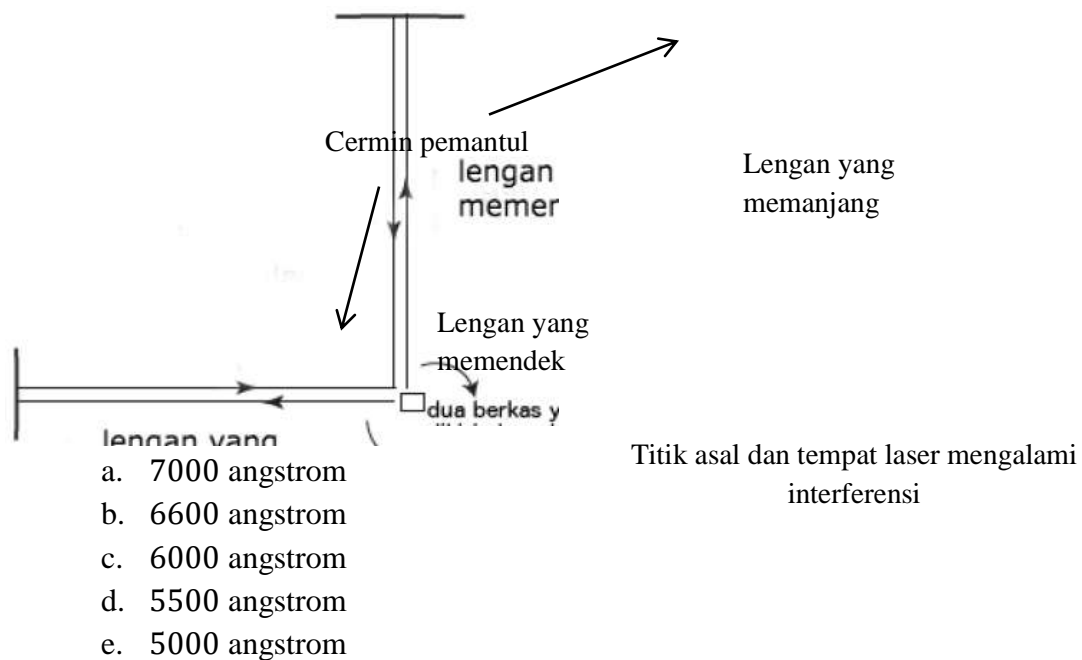
8. Di suatu pedesaan, magnitudo bintang paling redup yang bisa dilihat dengan mata telanjang dengan diameter pupil 8 mm adalah 6. Maka bukaan teleskop yang perlu dibawa ke sana agar bisa mengamati bintang hingga setidaknya magnitudo 11 adalah, **kecuali**
 - a. 2 inch
 - b. 4 inch
 - c. 5 inch
 - d. 6 inch
 - e. 8 inch

9. Alpha Centaury A dan B terpisah sejauh 11 sa dan berjarak 4,2 tahun cahaya dari Bumi. Pilih di antara pernyataan berikut yang tepat.
 - a. Alpha Centaury A dan B terpisah kurang dari $5''$.
 - b. Mata mampu memisahkan kedua bintang.
 - c. Perlu interferometer dengan diameter efektif minimum 10 meter untuk memisahkan kedua bintang pada panjang gelombang visual.
 - d. Teleskop IOAA dengan apertur 8 cm mampu memisahkan kedua bintang pada panjang gelombang visual.
 - e. Tidak ada pernyataan benar.

10. Teleskop sederhana disusun oleh 2 lensa konvek yang memiliki lokasi titik fokus bersama dan terpisah sejauh 202 cm. Jika diketahui *focal ratio* atau nisbah fokus (f/D) teleskop tersebut 10 kali dan diameternya 20 cm, maka perbesaran teleskop saat itu ... kali.
- 100000
 - 10000
 - 1000
 - 100
 - 10
11. Mengapa detektor neutrino dibangun jauh di bawah tanah?
- Interior Bumi memiliki kerapatan tinggi sehingga neutrino bisa terperangkap oleh material isi Bumi.
 - Memperbesar peluang interaksi antara neutrino dengan detektor di daerah dengan tekanan tinggi.
 - Untuk melindungi neutrino dari gangguan partikel di atmosfer.
 - Memberi perlambatan oleh gravitasi Bumi.
 - Untuk melindungi detektor dari gangguan tembakan radiasi seperti sinar kosmik.
12. Berapa jari-jari kelengkungan cermin yang membentuk citra 6,2 cm di belakang cermin dari sebuah objek yang terletak pada 26 cm di depan cermin?
- 5 cm
 - 6,6 cm
 - 10 cm
 - 8,1 cm
 - 16,2 cm
13. In astronomy, compared to eyepiece, objective lens has
- negative focal length
 - zero focal length
 - large focal length
 - small focal length
 - equal focal length
14. Kerapatan atmosfer meningkat makin dekat ke permukaan Bumi. Berdasarkan fakta ini dan konsep dalam optika geometri, maka kita
- Akan melihat benda langit pada posisi lebih tinggi daripada seharusnya saat di tepat zenith.
 - Akan melihat Matahari pepat berbentuk pepat, memanjang di arah vertikal.
 - Akan memiliki tambahan waktu untuk mengamati bintang saat terbit dan terbenam.

- d. Akan melihat bintang makin terang saat makin dekat ke atmosfer.
 - e. Akan melihat bintang berkedip-kedip di langit.
15. Sebuah bintang dengan magnitudo 8 diamati menggunakan teleskop. Berapa magnitudo bintang yang setara dengan magnitudo bintang tersebut ketika dilihat menggunakan teleskop dengan diameter 1 meter? Anggap diameter pupil mata 10 mm.
- a. -4
 - b. -2
 - c. 0
 - d. 2
 - e. 4
16. Pada soal nomor 15, berapa magnitudo yang dilihat mata melalui teleskop jika 30% cahaya hilang terdisipasi selama proses transmisi?
- a. -1,20
 - b. -0,69
 - c. -0,60
 - d. 0
 - e. 0,30
17. Secara praktis, gelombang gravitasi mungkin diamati ketika ada fenomena berikut, kecuali
- a. Supernova
 - b. Merger bintang neutron
 - c. Akresi material oleh lubang hitam
 - d. Merger lubang hitam
 - e. Semua benar
18. LIGO adalah interferometer yang dibangun untuk mendeteksi gelombang gravitasi dan memiliki dua lengan saling tegak lurus yang masing-masing panjangnya 4 km. Laser dengan fase yang sama ditembakkan dari titik asal di bagian siku-siku menuju ujung masing-masing lengan. Laser tersebut kemudian dipantulkan menuju titik asal. Jika tidak ada gangguan, laser dari kedua lengan akan melewati panjang lintasan yang sama sehingga terjadi pola interferensi konstruktif. Interferensi destruktif terjadi ketika total lintasan yang dilalui kedua laser berbeda sebesar setengah panjang gelombang. Dalam eksperimen, pola interferensi destruktif terjadi ketika satu lengan memanjang 875 angstrom sedangkan lengan lainnya memendek dengan nilai yang sama (lihat gambar). Maka panjang gelombang laser yang digunakan adalah

PELATIHAN ONLINE 2019 ASTRONOMI – PAKET 4



19. Sebuah CCD memiliki jumlah piksel 512×712 piksel dengan masing-masing piksel berukuran $9 \mu\text{m}$. Berapa jumlah piksel rata-rata yang terpakai untuk memotret Mars dengan diameter sudut $5''$ jika CCD tersebut dipasang pada teleskop dengan $f/10$ dan diameter 60 cm?
- Kurang dari 1 piksel CCD
 - Seluruh piksel CCD
 - 49
 - 46
 - 23
20. Observatorium Nasional Republik Indonesia direncanakan akan dibangun di bukit Timau, NTT. Hasil pemodelan meteorologis menunjukkan nilai seeing di sana sebesar $2''$. Maka, pernyataan yang benar adalah
- Teleskop utama 3,5 meter yang akan dibangun mampu mengamati bintang 3,83 magnitudo lebih redup dibanding teleskop Zeiss di Observatorium Bosscha dengan diameter 60 cm.
 - Resolusi optik terbaik teleskop utama 3,5 meter yang akan dibangun saat digunakan di Timau nanti adalah sebesar $0,04''$.
 - Untuk objek yang sama, pemotretan bisa dilakukan 0,17 kali lebih cepat dengan teleskop utama 3,5 meter yang akan dibangun dibanding teleskop Zeiss 60 cm di Observatorium Bosscha.
 - Pernyataan a, b, c salah.
 - Pernyataan a, b, c benar.