



## Memahami gerhana: momen GMC 26 Desember 2019 sebagai obyek pembelajaran

Moedji Raharto\*, N. Sopwan

Program Studi Astronomi, Institut Teknologi Bandung

\*e-mail: moedji@itb.ac.id

### Abstrak

Sistem Bumi, Bulan dan Matahari memproduksi fenomena gerhana Bulan dan gerhana Matahari, salah satu fenomena gerhana Matahari adalah gerhana Matahari Cincin (GMC), seperti GMC 26 Desember 2019. Setiap tahun berlangsung gerhana Matahari maupun gerhana Bulan, pada tahun 2019 terdapat 5 gerhana, dengan komposisi 2 gerhana bulan dan 3 gerhana matahari, yaitu Gerhana Bulan Total (GBT) 21 Januari 2019 dan Gerhana Bulan Sebagian 17 Juli 2019, sedang gerhana Matahari tahun 2019 adalah gerhana Matahari Sebagian 6 Januari 2019, Gerhana Matahari Total 3 Juli 2019 dan gerhana Matahari Cincin 26 Desember 2019. Dua dari 5 gerhana 2019 yang bisa diamati dari wilayah Indonesia yaitu Gerhana Bulan Sebagian 17 Juli 2019 dan gerhana Matahari Cincin 26 Desember 2019. Makalah ini akan menguraikan konsep gerhana secara umum, dan membahas gerhana Matahari Cincin 26 Desember 2019 yang jalurnya melewati sebagian wilayah Indonesia. Pembahasan gerhana ini dimaksudkan untuk persiapan pemanfaatan gerhana Matahari Cincin 26 Desember 2019 atau gerhana matahari lainnya sebagai wahana pendidikan siswa maupun masyarakat luas di Indonesia.

Kata kunci : Gerhana, Saros, Meton

### 1. Pendahuluan

Gerhana untuk manusia, takdir Allah swt Yang Maha Pencipta telah menetapkan rute pengembangan intelektualitas manusia melalui kehadiran Bulan dengan ukuran diameternya 400 kali lebih kecil dari diameter Matahari dan jarak Bulan 400 kali lebih dekat dibanding jarak ke Matahari, sedemikian rupa sehingga ukuran diameter sudut Bulan dan Matahari menjadi hampir sama, sekitar setengah derajat. Sebuah pilihan yang luar biasa manfaatnya, kombinasi jarak dan ukuran benda langit selain menghasilkan gerhana, juga menghasilkan siklus sinodis dan siklus tropis yang dimanfaatkan dalam kalender.

Fenomena gerhana Bulan dan gerhana Matahari berdekatan dengan fenomena bulan Purnama dan fenomena bulan Mati. Bila pada masa bulan Purnama dan masa bulan Mati, bertepatan dengan musim gerhana, yakni kedudukan Matahari berada dekat dengan titik simpul orbit Bulan mengelilingi Bumi, maka akan berlangsung fenomena gerhana Bulan maupun fenomena gerhana Matahari.

Di abad 21 ini kehadiran gerhana Bulan maupun gerhana Matahari disambut meriah oleh manusia, makhluk cerdas

penghuni di planet Bumi. Pemahaman gerhana oleh intelektualitas manusia telah mengubah "gerhana" yang menakutkan menjadi gerhana yang bersahabat, bahkan "gerhana" yang diburu dan diabadikan momen momennya. Kehadiran gerhana dapat diprediksi, gerhana menjadi fenomena langit yang dinantikan, manusia menjadi pengamat pasif, manusia tidak mampu bereksperimen, mengatur gerak Bulan mengelilingi Bumi dan gerak Bumi mengelilingi Matahari.

Fenomena gerhana Bulan dan gerhana Matahari merupakan fenomena yang menarik bagi manusia, makhluk cerdas penghuni planet Bumi yang berinteraksi dengan langit dan fenomena langit. Secara historis gerhana Bulan dan gerhana Matahari merupakan fenomena gerhana yang paling awal dikenal oleh manusia. Fenomena itu berlangsung untuk dua benda langit yang paling terang bagi penghuni planet Bumi yaitu yang pertama adalah Matahari dan yang ke dua adalah Bulan Purnama.

Fenomena gerhana Bulan dan gerhana Matahari merupakan fenomena yang berlangsung sangat panjang, hasil dari sistem Bumi, Bulan dan Matahari. Sistem

Bumi, Bulan dan Matahari merupakan sistem yang stabil, diperlukan untuk mengamati fenomena astronomis berjangka panjang. Pemandangan Bulan Purnama menarik kebanyakan orang karena bentuknya bundar mengesankan cerah, mengubah pemandangan langit malam yang menyeramkan menjadi langit yang bersahabat. Sebelum ada TV, masa Bulan Purnama sering dimanfaatkan oleh anak – anak untuk bermain di luar rumah. Kini pemanfaatan itu sudah agak jarang, sebagian juga untuk memanfaatkan suasana itu untuk pertunjukkan sendratari misalnya atau ada yang memanfaatkan untuk keperluan ritual lainnya. Ungkapan lama wajahmu mirip Bulan Purnama, untuk mengungkapkan gambaran keceriaan seseorang. Bayang-bayang gedung dan aktivitas malam kelelawar yang terbang disela pepohonan menjadi terlihat dari malam-malam biasa tanpa penerangan cahaya Bulan.

Ukuran Bumi – Bulan dan Matahari dan jarak sistem Bumi – Bulan, jarak Bumi dan Matahari, kemiringan orbit Bulan mengelilingi Bumi terhadap ekliptika membentuk sebuah sistem Bumi – Bulan dan Matahari. Siklus sinodis Bulan dan siklus sideris Bulan, siklus Sideris Matahari menjadi kunci, Bumi sebagai planet berkehidupan, sistem bisa berlangsung bersinambung dalam jangka yang amat panjang dan toleran terhadap masalah – masalah dan kesalahan kolektif, kesalahan kelompok masyarakat luas yang tidak fatal. Setiap tahun penduduk planet Bumi mempunyai fenomena selingan yang dapat disaksikan dari planet Bumi, yaitu gerhana bulan dan gerhana Matahari.

Bulan purnama merupakan obyek langit yang nomor dua paling terang di langit setelah Matahari. Bulan dan Matahari dua obyek yang sangat kontras, Bulan hanyalah karang pemantul cahaya Matahari. Cahaya Matahari telah menolong manusia untuk mengetahui keberadaan bola karang Bulan yang mengorbit Bumi melalui visual. Matahari merupakan sumber energi, dayanya sangat besar, sengatan hangatnya dari jarak 150 juta kilometer masih bisa kita rasakan, sedangkan Bulan Purnama walaupun hanya berjarak 384400 km tidak

menghangatkan Bumi. Bulan purnama tidak berbahaya untuk ditatap dengan mata bugil dan mudah dicari karena bundar besar dan terang di langit yang cerah.

Planit Bumi, bola batu yang berisi lebih dari 70% cekungan air dan berangkasa juga tidak luput dari sorot cahaya Matahari. Keberadaan sumber cahaya bola gas pijar Matahari dengan radius 700 ribu kilometer itu juga membentuk bayang-bayang umbra dan penumbra Bumi. Lokasi dalam ruang, bayang-bayang penumbra Bumi seolah membungkus umbra. Angkasa Bumi menambah luasnya kawasan ruang umbra maupun penumbra Bumi hingga mencapai 2% dari radius bola Bumi.

Bulan mengorbit Bumi berbentuk ellips, jarak Bumi-Bulan bervariasi antara 356400 km jarak pada saat di perigee, titik terdekat dengan Bumi, sampai 406700 km pada saat Bulan berada di apogee, titik terjauh dengan Bumi. Kompleksitas orbit Bulan menyebabkan jarak perigee maupun apogee tidak selalu sama untuk setiap satu putaran orbit Bulan atau satu lunasi. Jarak perigee yang dicantumkan di atas (356400 km) merupakan jarak minimal yang pernah dicapai Bulan dan jarak apogee yang dicantumkan di atas (406700 km) merupakan jarak maksimum yang pernah dicapai oleh Bulan.

Kerucut bayang-bayang umbra Bumi yang terpanjang bisa mencapai 1406000 km, yaitu saat planet Bumi berada pada aphelion, titik terjauh terhadap Matahari. Kerucut bayang-bayang umbra Bumi terpendek adalah 1360000 km yaitu saat Bumi di perihelion, titik terdekat terhadap Matahari. Oleh karena itu diameter umbra Bumi bervariasi dari 1,28 derajat hingga 1,56 derajat atau sekitar 2,5 hingga 3,0 kali diameter sudut Bulan.

## 2. Hasil dan Pembahasan

Apa yang perlu dieksplorasi? Makna gerhana bagi manusia?

Pernahkah anda membayangkan sebelum Matahari terbentuk pada 5 milyar tahun silam? Sebelum Bulan lahir sebagai satelit planet Bumi beberapa milyar tahun silam? Dimasa itu tak ada fenomena gerhana Bulan dan gerhana Matahari. Di saat fenomena gerhana Matahari dan

gerhana Bulan telah berlangsung beberapa milyar tahun namun mahluk di planet Bumi belum merespon langit, fenomena gerhana berlangsung "tanpa" makna.

Begitu pula disaat kesadaran tentang langit sebagai benda ciptaanNya, mahluk cerdas di planet Bumi belum bisa memberi makna fenomena gerhana sebagai tantangan intelektualitas manusia walaupun fenomena gerhana telah berlalu berjuta kali. Kini fenomena gerhana menjadi bagian kehidupan intelektualitas manusia, manusia terbiasa dan dapat memahami fenomena gerhana Bulan dan gerhana Matahari. Manusia terbiasa memburu gerhana Bulan dan gerhana Matahari, gerhana bukan sesuatu yang menakutkan, sesuatu yang menarik untuk dilihat dan menarik untuk dipelajari serta diambil hikmahnya.

Fenomena gerhana dalam sistem Bumi, Bulan dan Matahari merupakan fenomena yang spektakuler bagi umat manusia, fenomena langit yang sangat tua dan berulang setiap tahun. Ratusan hingga ribuan tahun yang silam fenomena gerhana itu nampak sangat langka bagi penghuni planet Bumi karena penduduknya belum aktif memburu gerhana dan belum sepenuhnya memahami bagaimana fenomena gerhana bisa berlangsung.

Fenomena gerhana yang telah berlangsung berulang dalam kurun waktu berjuta dan bahkan bermilyar tahun lamanya dapat dipergunakan sebagai instrumen untuk mengetahui perkembangan budaya umat manusia. Bagaimana suatu masyarakat dalam suatu zaman merespon fenomena gerhana. Fenomena gerhana Bulan dan gerhana Matahari yang tidak rutin berlangsung itu pernah dianggap oleh manusia sebagai tanda kemarahan para dewa atas perilaku manusia yang tidak berkenan oleh para dewa. Misalnya peperangan antar suku bangsa, fenomena gerhana bisa melerai peristiwa pertumpahan darah karena adanya pandangan supra-rasional itu. Begitupula kepercayaan di masyarakat Indonesia pada tahun 1970an masih terdapat kepercayaan bahwa kehadiran gerhana dapat menimbulkan bencana atau malapetaka, pertanda datangnya bencana penyakit, bencana alam atau kegagalan panen dsb dengan menabuh kentongan dianggap akan

mempersingkat berlangsungnya fenomena gerhana. Bahkan ibu yang hamil merendam diri pada malam hari karena takut anaknya yang akan dilahirkan akan belang merah seperti pemandangan merahnya bulan saat gerhana bulan total.

Andaikan posisi Bulan 10 kali jauhnya dari posisi jaraknya terhadap Bumi yang sekarang maka kondisi planet Bumi akan sangat lain dan fenomena gerhana mungkin tak pernah terjadi. Dalam kondisi semacam itu manusia planet Bumi tak mempunyai pengetahuan tentang gerhana.

Melalui fenomena gerhana Matahari Total manusia diberitahu lebih awal tentang keberadaan angkasa di sekitar Matahari yang penuh dengan lontaran materi dari Matahari. Pada jalur Gerhana Matahari total, manusia memperoleh pelajaran andaikan cahaya Matahari tak sampai ke angkasa Bumi, kita bisa menyaksikan bintang di siang hari, biru langit berubah menjadi hitam, pekam dan bintang bertaburan.

Pada momen gerhana Matahari sebagian atau gerhana Matahari cincin langit tetap terang, walaupun cahaya Matahari lebih sedikit dari biasanya namun masih cukup terang disebarkan oleh angkasa Bumi dan terang langit akibat sebaran cahaya Matahari itu menghalangi pemandangan bintang-bintang pada siang hari.

Melalui fenomena gerhana bulan dapat diketahui struktur angkasa bagian luar planet Bumi. Warna Bulan saat di dalam umbra menunjukkan dinamika komposisi angkasa planet Bumi. Komposisi debu atau aerosol di angkasa Bumi merupakan indikator bagi pola musim yang berlangsung di biosfer Bumi.

Selain itu gerhana juga membuka jalan mengungkap misteri dinamika pelambatan rotasi planet Bumi dan misteri lain tentang evolusi angkasa Bumi dalam jangka panjang. Fenomena gerhana juga merupakan jalan untuk memperkuat keimanan manusia lewat fenomena alam yang diciptakanNya, mahasuci Allah dengan segala ciptaanNya, Dia lah yang maha Cendekia dan mengajarkan serta menuntun intelektualitas manusia melalui ciptaanNya di alam semesta yang sangat luas dan sangat kaya.

**Tabel 1.** Data Gerhana Matahari dari 71 Gerhana Seri Saros130

Urutan Dalam No Saros	Tanggal	Bulan	Tahun
46	3	1	1908
47	14	1	1926
48	15	1	1944
49	5	2	1962
50	16	2	1980
51	27	2	1998
52	9	3	2016
53	20	3	2034
54	30	3	2052
55	11	4	2070
56	21	4	2088

#### a. Gerhana Matahari Cincin 26 Desember 2019

Fenomena gerhana merupakan fenomena yang dilahirkan dalam sistem Bumi, Bulan dan Matahari. Bumi beredar mengelilingi Matahari, akibat revolusi Bumi itu manusia di planet Bumi mengenal ada siklus tahun tropis (365,2422 hari) dan tahun sideris (365,25636 hari). Siklus tahun tropis merupakan siklus posisi Matahari berada dalam arah vernal ekuinok (titik Aries) dua kali berurutan. Sedangkan siklus tahun sideris merupakan siklus posisi Matahari berada dalam arah bintang acuan dua kali berurutan. Sementara itu juga terdapat siklus Bulan mengorbit planet Bumi yaitu siklus bulan sideris (27,32166 hari) dan siklus bulan sinodis (29,53059 hari). Siklus bulan Sideris merupakan siklus bulan mengorbit Bumi mengacu pada bintang sedang siklus bulan sinodis merupakan fenomena siklus fasa Bulan yang sama dua kali berurutan, misalnya dari fasa purnama ke fasa purnama berikutnya merupakan satu siklus sinodis bulan, rata rata 29,53059 hari. Siklus – siklus itu merupakan sebuah paket sehingga sistem Bumi, Bulan dan Matahari, merupakan zona planet padat, menempatkan planet Bumi sebagai planet berkehidupan, planet tempat berkembangnya mahluk cerdas.

Setiap tahun menghasilkan fenomena 4 gerhana, minimal 2 gerhana matahari dan 2 gerhana bulan dan maksimal bisa 7 gerhana, 3 gerhana matahari dan 4 gerhana bulan atau sebaliknya 4 gerhana matahari 3 gerhana bulan, atau 2 gerhana matahari dan 5 gerhana bulan, atau 5 gerhana matahari dan 2 gerhana bulan. Tahun 2019 terdapat 5 gerhana, dengan komposisi 2 gerhana bulan dan 3 gerhana matahari, yaitu Gerhana Bulan Total (GBT) 21 Januari 2019 dan Gerhana Bulan Sebagian 17 Juli 2019, sedang gerhana Matahari tahun 2019 adalah gerhana Matahari Sebagian 6 Januari 2019, Gerhana Matahari Total 3 Juli 2019 dan gerhana Matahari Cincin 26 Desember 2019. Dua dari 5 gerhana 2019 yang bisa diamati dari wilayah Indonesia yaitu Gerhana Bulan Sebagian 17 Juli 2019 dan gerhana Matahari Cincin 26 Desember 2019.

Gerhana Matahari Cincin 26 Desember 2019 (GMC-26 Desember 2019) merupakan gerhana ke-46 dari 71 gerhana Matahari dalam seri Saros 132. GMC terjadi karena diameter sudut piringan Matahari lebih besar dari diameter sudut piringan Bulan. Semidiameter sudut Matahari pada saat gerhana Matahari Cincin mencapai maksimum adalah  $0^{\circ}16' 15'',7$  sedangkan Bulan hanya  $0^{\circ} 15' 33''$  atau 96% lebih kecil

dari semidiameter sudut Matahari. GMC-26 Desember 2019 dimulai dengan momen Gerhana Matahari Sebagian (GMS) pada 10:34 WIB dan diakhiri dengan momen GMS pada 14:01 WIB. Puncak GMC terjadi pada jam 12:18 WIB dengan durasi maksimal 3 menit 40 detik, lebar jalur GMC 117,9 km, pada 100,3' Lintang Utara (LU) dan 102o16,5' Bujur Timur (BT), dengan tinggi Matahari saat puncak GMC adalah 65,6o dan azimuth 183,6o. Untuk zona Waktu Indonesia Tengah (WITA), waktu momen gerhana ditambahkan satu (+1) jam. Untuk zona Waktu Indonesia Timur (WIT), waktu momen gerhana ditambahkan dua (+2) jam.

Jalur GMC-26 Desember 2019 melewati 7 provinsi dan 42 kabupaten/kota di Indonesia. Jalur GMC-26 Desember 2019 melewati provinsi Aceh bagian selatan, Sumatera Utara bagian Selatan, provinsi Riau, Provinsi kepulauan Riau, Kalimantan Barat bagian Utara, sebagian Kalimantan Utara dan sebagian Kalimantan Timur.

Jalur Gerhana Matahari Cincin 26 Desember 2019 melewati dua (2) kabupaten di provinsi Aceh, yaitu Kabupaten Aceh Singkil bagian selatan, dan Kabupaten Simeuleu. Gerhana Matahari Cincin 2019 bertepatan dengan lima belas (15) tahun peristiwa tsunami yang melanda Aceh (26 Desember 2004). Jalur Gerhana Matahari Cincin 26 Desember 2019 melewati dua belas (12) kabupaten/kota di provinsi Sumatera Utara, yaitu Kota Sibolga, Kota Padang Sidempuan, Kabupaten Nias Utara bagian Utara, Kabupaten Humbang Hasundutan bagian Selatan, sebagian kecil kabupaten Labuhan Batu bagian Sealatan, Sebagian Kabupaten Labuhan batu Selatan, Kabupaten Mandailing Natal bagian Utara, Kabupaten Padang Lawas, Kabupaten Padang lawas Utara (kecuali sebagian kecil dibagian Utara), Kabupaten Tapanuli Selatan (kecuali sebagian kecil dibagian Utara), Kabupaten Tapanuli Tengah, dan Sebagian kabupaten Tapanuli Utara.

Jalur Gerhana Matahari Cincin 26 Desember 2019 melewati sepuluh (10) kabupaten/kota di provinsi Riau, yaitu Kota pekanbaru bagian Utara, Kota Dumai bagian selatan, Kabupaten Bengkalis (kecuali Pulau Rupa), Kabupaten Siak (kecuali bagian Selatan), Kabupaten Rokan Hulu bagian Selatan, Rokan Hilir bagian Selatan, kabupaten Pelalawan bagian Utara, kepulauan Meranti, Kabupaten Kampar bagian Utara, dan sebagian kecil kabupaten Indragiri Hilir bagian Utara.

Jalur Gerhana Matahari Cincin 26 Desember 2019 melewati lima (5) kabupaten/kota di provinsi Kepulauan Riau, yaitu Kota Batam, Kabupaten Karimun, Kota Tanjung Pinang, dan kabupaten Bintan Kepulauan (termasuk kepulauan Tambelan), dan sebagian kecil kabupaten Lingga bagian Utara.

Jalur Gerhana Matahari Cincin 26 Desember 2019 melewati delapan (8) kabupaten/kota di provinsi Kalimantan Barat, yaitu Kota Singkawang, kabupaten bengkayang, Kabupaten Sambas bagian Selatan, Kabupaten Landak bagian Utara, Kabupaten Sangau bagian Utara, sebagian kabupaten Sintang bagian Utara, Kabupaten Kapuas hulu bagian Utara, dan sebagian kecil kabupaten Sekadau bagian Utara.

Jalur Gerhana Matahari Cincin 26 Desember 2019 melewati tiga (3) kabupaten/kota di provinsi Kalimantan Timur, yaitu Kabupaten Mahakam Ulu bagian Utara, sebagian kecil kabupaten Kutai Timur bagian Utara, sebagian kabupaten Berau bagian Utara, dan berakhir di kepulauan Maratua. Jalur Gerhana Matahari Cincin 26 Desember 2019 melewati dua (2) kabupaten Provinsi Kalimantan Utara, yaitu Kabupaten Malinau dan Bulungan bagian Selatan.

Wilayah lainnya di Indonesia yang tidak terlewati oleh jalur GMC, dapat menyaksikan Gerhana Matahari Sebagian dengan persentase piringan Matahari yang tertutupi permukaan Bulan bervariasi.

Persentase minimum dari piringan Matahari yang tertutupi oleh permukaan Bulan sebesar 40% berada di kota Merauke dan Provinsi Papua bagian selatan.

### **b. Mengetahui Siklus Saros dalam Gerhana Matahari dan Gerhana Bulan**

Fenomena gerhana berulang, bahkan bisa ditandai di arah rasi lokasi tempat gerhana berlangsung. Pengulangan fenomena itu nampaknya diketahui sebagian manusia. Saros berarti pengulangan, fenomena berulangnya gerhana yang mirip dengan gerhana sebelumnya di arah langit yang hampir sama. Satu siklus SAROS = 223 kali siklus sinodis bulan, atau 18 tahun 11 hari bila suatu malam berlangsung gerhana bulan maka 223 kali bulan purnama terlihat maka akan berlangsung gerhana yang mirip dengan gerhana 18 tahun silam.

Gerhana Bulan dan Matahari yang berlangsung di arah langit yang hampir sama, berulang setiap 223 kali lunasi Bulan atau  $(223 \times 29,53 \text{ hari}) = 6585,19 \text{ hari}$  atau  $(6585,19/365,2422 \text{ tahun})$ ; kira-kira 18 tahun 11,3 hari. Jadi tanggal berlangsungnya gerhana bergeser sekitar 11 hari lebih lambat dari tanggal gerhana pada seri saros yang sama sebelumnya. Siklus gerhana ini dinamakan dengan siklus Saros.

Adanya siklus Saros berarti ada siklus 54 tahun 1 bulan, agar jam ijtimak (konjungsi) mendekati waktu ijtimak 54 tahun sebelumnya. Apakah siklus ini juga berlaku untuk siklus Ijtimak? Misal siklus Saros 129 pada: 7 Maret 1951 (jam 20:50:58 UT), 18 Maret 1969 (jam 04:51:58 UT), 29 Maret 1987 (jam 12:46:27 UT), 8 April 2005 (jam 20:33:05 UT), 20 April 2023 (jam 04:13:41 UT), 30 April 2041 (jam 11:47:32 UT).

Pada dua gerhana berurutan dalam satu seri Saros yang sama, diameter sudut Bulan berubah sangat kecil. Hal ini bisa dimengerti karena keterkaitan siklus Saros dengan kelipatan anomalistik dan nodikal. Siklus Saros 223 periode sinodis =  $223 \times 29,530589 \text{ hari} = 6585,3233 \text{ hari}$ , Satu

siklus Saros hampir sama dengan 239 periode anomalistik =  $239 \times 27,554551 \text{ hari} = 6585,5377 \text{ hari}$ , satu siklus Saros hampir sama dengan 242 periode nodikal =  $242 \times 27,212220 \text{ hari} = 6585,3572 \text{ hari}$ .

Rata-rata tiap 173,3 hari, Matahari berada di arah titik simpul, yaitu titik potong orbit bulan mengelilingi Bumi dengan ekliptika, yaitu bidang orbit Bumi mengelilingi Matahari. Di saat itu berlangsung musim gerhana; gerhana bulan terjadi bila Matahari berada di salah satu titik simpul dan Bulan di titik simpul lainnya. Satu tahun syamsiah adalah 365,2422 hari dan satu tahun gerhana 346,6 hari, oleh karena itu dalam satu tahun bisa terjadi 2 musim gerhana, dan paling banyak terjadi 3 musim gerhana pada satu tahun Syamsiah, yaitu di bulan Januari, Juli/Agustus dan Desember.

Gerhana Bulan dan Matahari yang berlangsung di arah langit yang hampir sama, berulang setiap 223 kali lunasi Bulan atau  $(223 \times 29,53 \text{ hari}) = 6585,19 \text{ hari}$  atau  $(6585,19/365,2422 \text{ tahun})$ ; kira-kira 18 tahun 11 hari. Jadi tanggal berlangsungnya gerhana bergeser sekitar 11 hari lebih lambat dari tanggal gerhana pada seri saros yang sama sebelumnya. Siklus gerhana ini dinamakan dengan siklus Saros.

Gerhana Matahari dengan nomor Saros yang sama terjadi 28' sebelah barat dari kejadian gerhana Matahari seri Saros sama sebelumnya. Batas rata-rata jarak Matahari terhadap titik simpul agar gerhana tetap terjadi adalah:  $(15^\circ,35' + 18^\circ,51')/2 = 16^\circ 26'$ ; Bila batas tempat terjadinya gerhana Matahari di sekitar titik simpul tersebut adalah dua kali batas rata-rata, jadi =  $2 \times 16^\circ 26'$ , maka satu seri Saros rata-rata bisa terjadi.

Adanya siklus Saros berarti ada siklus 54 tahun 1 bulan, agar jam ijtimak (konjungsi) mendekati waktu ijtimak 54 tahun sebelumnya. Apakah siklus ini juga berlaku untuk siklus Ijtimak? Misal siklus Saros 129 pada: 7 Maret 1951 (jam 20:50:58 UT), 18 Maret 1969 (jam 04:51:58 UT), 29 Maret 1987 (jam 12:46:27 UT), 8

April 2005 (jam 20:33:05 UT), 20 April 2023 (jam 04:13:41 UT), 30 April 2041 (jam 11:47:32 UT).

### c. Jumlah Gerhana Rata – Rata Per-Abad

Perhitungan yang lebih cermat satu seri Saros rata-rata ~ 73 kali GM, atau satu seri Saros rata-rata adalah  $73 \times 18,03$  tahun = 1315 tahun. Seri Saros dimulai dengan GMS di lintang geografi tinggi. GMC dan GMT di lintang menengah dan berakhir dengan GMS di lintang geografi tinggi pada arah kutub berlawanan ketika seri Saros dimulai. Seri Saros Ganjil dimulai dengan GMS di kawasan kutub Utara dan berakhir di kawasan kutub Selatan. Sedang seri Saros Genap kebalikannya. Dalam selang waktu dari tahun 1207 SM hingga tahun 2161 M terdapat 8000 GM dan 5200 GB atau 238 GM/abad atau  $238 \sim 42$  seri GM dalam satu siklus Saros 8 tahun. Pada abad 21 terdapat 221 Gerhana Matahari, dengan komposisi GMS berjumlah 76, GMT berjumlah 67, GMC berjumlah 71 dan GMH berjumlah 7.

### d. Gerhana 6 Bulanan

Setelah berlangsung fenomena gerhana, 6 bulan sinodis kemudian dapat terjadi GM berikutnya. Dalam siklus, Bulan bergeser dari titik simpul sebesar ( $6 \times 30^{\circ},67$ ) ~  $184^{\circ},02$  atau  $4^{\circ},02$  di timur titik simpul. Seri gerhana 6 bulanan ini paling banyak terjadi  $37^{\circ}/4,02 \sim 9$  kali pada saat ke GM sembilan, tempat terjadinya gerhana bergeser sejauh ( $9 \times 4^{\circ},02 \sim 36^{\circ}$ )  $36^{\circ}$  sedang  $2x$  batas atas yang mungkin dicapai adalah ( $37^{\circ} - 36^{\circ}$ )  $< 4^{\circ}$ .

### e. Maksimal 5 Gerhana Matahari dalam Setahun

Gerhana Matahari sering terjadi bila diameter sudut Matahari dan diameter sudut Bulan keduanya mencapai maksimum, dan kemiringan bidang orbit Bulan terhadap eliptika minimum. Misal terjadi gerhana di

bagian barat batas major (batas atas), (2 kali batas atas  $2 \times 18^{\circ},5 = 37^{\circ}$ ). Pada 29,53 hari kemudian akan terjadi fasa Bulan baru berikutnya. Satu bulan Draconik rata-rata adalah 27,21 hari. Maka gerhana berikutnya akan terjadi:  $(29,53 - 27,21) \times 360^{\circ}/27,21 \sim 30^{\circ},6$  dari posisi terjadinya gerhana pada sebelumnya, setahun bisa terjadi 4 kali Gerhana Matahari. Bonus satu gerhana lagi bila musim Gerhana Matahari terjadi pada Bulan Januari, karena pada tahun tersebut akan ada 13 fasa Bulan-Baru.

### f. Mengenal Siklus Meton

Adakah hubungan penampakan fasa Bulan di langit dalam penanggalan Syamsiah Masehi? Siklus sinodis bulan rata – rata 29,5305 hari, sedang dalam sebulan kalender masehi merentang 28 hingga 31 hari, jadi kemungkinannya satu bulan tanpa bulan purnama, atau dua purnama dalam satu bulan, misalnya tahun 2018, Januari dengan 2 bulan purnama, 2 Januari dan 31 Januari, Februari 2018 tanpa bulan Purnama dan Maret 2018 dengan 2 bulan purnama yaitu tanggal 2 Maret dan 31 Maret 2018. Tahun 2018 terdiri dari 13 bulan purnama. Tahun 2019 terdapat 12 bulan purnama. Setiap tahun masehi terdapat minimal 12 fasa bulan purnama atau fasa bulan yang sama dan maksimal 13 fasa bulan purnama atau fasa bulan yang sama. Data lainnya tahun 1999 berjarak 19 tahun sebelum tahun 2018 terdiri dari 13 bulan purnama, Januari dengan 2 bulan purnama 2 Januari dan 31 Januari, Februari tanpa bulan purnama, April dengan 2 gerhana yaitu 1 April 1999 dan 30 April 1999. Tahun 2000 terdapat 12 bulan purnama yang tersebar di tiap bulan masehi.

Dalam setahun tropis kalender Matahari, minimal 12 bulan purnama dalam setahun dan maksimal 13 bulan purnama. Komposisi jumlah bulan purnama dalam 19 tahun terdapat 12 tahun masehi dengan 12 bulan purnama dan 7 tahun dengan 13

bulan purnama. Jadi jumlah bulan purnama dalam 19 tahun adalah  $(12 \times 12 + 7 \times 13) = 144 + 91 = 235$  bulan purnama. Begitupula untuk fasa bulan lainnya fasa kuarter awal, fasa konjungsi, fasa kuarter-akhir dsb. Siklus 19 tahun atau 235 lunasi bulan dikenal dengan siklus Meton. Siklus Meton dalam astronomi merupakan parameter praktis untuk mengetahui sebuah keteraturan fasa bulan, 235 lunasi atau siklus Saros (223 lunasi) ditambah setahun,  $(223 + 12)$  lunasi = 235 lunasi.

Apa keistimewaan siklus Meton? Salah satu siklus Meton adalah fenomena fasa Bulan Purnama yang berlangsung hari ini akan berulang pada tanggal yang sama setelah 19 tahun atau 235 lunasi. Dalam jangka pendek siklus Meton dapat dipergunakan untuk melihat peristiwa fasa bulan yang berlangsung pada tanggal masehi yang sama. Seperti kita ketahui bahwa kalendar masehi merupakan kalendar dengan basis tahun tropis matahari. Siklus Meton, 235 lunasi sekitar 19 tahun tropis.

Berulangnya fenomena fasa Bulan dan gerhana Bulan atau gerhana Matahari menjadi perhatian makhluk cerdas, alasannya sangat sederhana untuk mengetahui atau menandai kapan berulangnya fenomena alam itu tanpa mengetahui mekanisme kerja alam yang sangat kompleks dan belum bisa diketahui saat itu.

#### g. Siklus Meton dan Fasa Bulan

Pada tanggal kelahiran, saat usia ke 19 tahun, 38 tahun, 57 tahun atau 76 tahun atau 95 tahun manusia dapat melihat bulan di langit, momen mengingat kembali kondisi fasa bulan di langit ketika dilahirkan. Bila waktu dilahirkan pada fasa bulan purnama maka pada usianya ke 19, 38, 57, 76 dan 95 juga akan menyaksikan fasa bulan purnama dan seterusnya. Siklus 19 tahun itu dikenal sebagai siklus Meton, yaitu siklus 235 lunasi bulan atau setelah 235 kali siklus sinodis

bulan, maka fasa bulan yang sama atau hampir sama akan berulang pada tanggal kalendar Matahari, atau pada tanggal kalendar masehi yang sama.

Beda bujur ekliptika Bulan dan Matahari menjadi ukuran fasa Bulan, pada fasa purnama, momen beda bujur ekliptika Bulan dan Matahari sebesar 180 derajat, fasa konjungsi/ijtimak beda bujur ekliptika Bulan dan Matahari sebesar 0 derajat, fasa kuarter awal atau bulan tampak separuh sore hari beda bujur ekliptika Bulan dan Matahari sebesar 90 derajat, fasa kuarter akhir atau bulan tampak separuh pagi hari beda bujur ekliptika Bulan dan Matahari sebesar 270 derajat dstnya. Bila satu bulan sinodis 29,530589 hari maka satu siklus Meton =  $235 \times 29,530589$  hari = 6939.688415 hari.

Bangsa – bangsa (Mesopotamia) telah mengenal siklus Meton, sebuah siklus fasa Bulan yang berulang kembali pada tanggal Syamsiah – Masehi yang sama atau hampir sama (lebih kurang 2 hari). Fasa fasa Bulan yang berlangsung pada suatu tanggal dalam kalendar atau penanggalan Syamsiah Masehi yang sama akan berulang kembali setelah 235 lunasi atau kira-kira 19 tahun (Syamsiah/Matahari).

Bila terjadi 4 kali siklus Meton, berarti jumlah hari dalam 4 siklus Meton adalah  $4 \times 235$  lunasi = 940 lunasi, atau  $940 \times 29,530589$  hari = 27 758,75366 hari. Sedangkan satu tahun tropis adalah 365,242199 hari, oleh karenanya  $940$  lunasi =  $(27758,75366 / 365,242199)$  tahun tropis = 76,00094878 tahun (kira-kira  $4 \times 19$  tahun = 76 tahun). Dogget (1992) memberikan persamaan jumlah hari dalam 5 700 000 tahun sama dengan jumlah hari dalam 70 499 183 lunasi yaitu 20 818 82 250 hari.

Kalendar Matahari yang dipergunakan sekarang adalah kalendar masehi Gregorian: 1 tahun rata rata = 365.2425 hari. Dalam 400 tahun terdapat 97 tahun kabisat atau tahun panjang (1 tahun kabisat 366 hari) dan 303 tahun basit atau tahun pendek (1 tahun basit = 365 hari). Jadi dalam 5700000

tahun Gregorian terdapat tahun kabisat sebanyak  $(5700000/400) \times 97 = 1382250$  tahun kabisat dan tahun basit sebanyak  $(5700000/400) \times 303 = 4317750$  tahun basit.

Siklus 235 lunasi bulan dikenal sebagai siklus Meton. Jumlah hari rata-rata dalam 235 lunasi adalah  $(235 \times \text{siklus sinodis bulan} = 235 \times 29,530589 \text{ hari}) = 6939,688415$  hari. Sedangkan 19 tahun tropis adalah  $(19 \times \text{satu tahun tropis rata-rata} = 19 \times 365,242199 \text{ hari}) = 6939,601781$  hari. Selisih 235 lunasi terhadap 19 tahun tropis adalah  $(235 \text{ lunasi} - 19 \text{ tahun}) = 0,08$  hari.

Sedangkan satu tahun tropis adalah 365,242199 hari, oleh karenanya 940 lunasi  $= (27758,75366 / 365,242199)$  tahun tropis  $= 76.00094878$  tahun (kira-kira 4 x 19 tahun = 76 tahun). Dogget (1992) memberikan persamaan jumlah hari dalam 5700000 tahun sama dengan jumlah hari dalam 70499183 lunasi yaitu 2081882250 hari.

#### **h. Kesalahan Jangka Panjang dalam Estimasi Meton**

Dalam jangka panjang persamaan 19 tahun Gregorian = 235 lunasi bulan menjadi tidak akurat dan tidak konsisten? Misalnya dalam jangka 30000 siklus Meton jumlah bulan purnama yang diestimasi oleh sistem Metonik berlebih sebanyak 817 dibanding dengan seharusnya.

Beda dengan Dogget (1992) 70500000 bulan purnama – 70499183 bulan purnama = 817 bulan purnama, estimasi jumlah bulan purnama Metonik 817 lebih banyak dibanding dengan Dogget (1992) dalam tempo 5700000 tahun atau 300000 siklus Metonik. Jadi dalam 1000 siklus Metonik terjadi pergeseran  $(817/300000) \times 1000 = 817/300$  atau kelebihan sebanyak 2.723333 lunasi per 1000 siklus metonik. 19 tahun Gregorian =  $19 \times 365.2425 \text{ hari} = 235$  lunasi, jadi 1 lunasi =  $(19 \times 365.2425 \text{ hari}) / 235 = 29.5302447$  hari.

Selisih 29.5305869 hari - 29.5302447 hari = 0.000342219149 hari setiap lunasi; 19

tahun atau setiap 235 lunasi terjadi pergeseran  $235 \times 0.000342219149 \text{ hari} = 0.0804215000$  hari. Dalam kurun waktu 5700000 tahun akan terjadi  $(5700000/19) \times 0.0804215000 \text{ hari} = 24126.4500$  hari

Atau  $24126.4500 \text{ hari} / 29.5305869 = 816.998663$  atau 817 lunasi, ada pergeseran hampir 817 lunasi; ingat ini untuk peristiwa 5700000 tahun?? Dalam jangka panjang persamaan 19 tahun Gregorian = 235 lunasi menjadi tidak akurat dan tidak konsisten?

Padanan siklus Metonik tidak mengacu siklus Sideris, melainkan siklus tropis yang acuannya titik Aries, selalu bergeser sistematis dikarenakan gerak presesi sumbu Bumi, sehingga terjadi pergeseran antara siklus Metonik (235 siklus sinodis) terhadap 19 tahun siklus tropis.

19 tahun tropis =  $19 \times 365.2422 = 6939.6018$  hari

19 tahun sideris =  $19 \times 365.25636 = 6939.87084$  hari

235 periode sinodis =  $235 \times 29.53059 = 6939.68865$  hari

235 periode Sideris =  $235 \times 27.32166 = 6420.59$  hari

Gerhana dengan siklus Metonik (235 lunasi atau 19 tahun = 6939.69 hari), satu seri Gerhana Metonik hanya terbatas 5 anggota siklus dan di dalamnya terdapat gerhana siklus Octon  $5 \times 3.8 \text{ tahun} = 19$  tahun. Gerhana Metonik adalah gerhana dengan tanggal yang hampir bersamaan. Dalam gerhana siklus Meton merupakan pengulangan 5 kali siklus Octon, siklus 47 lunasi. Siklus gerhana Octon merupakan siklus gerhana 3.8 tahun (1387.94 hari). Gerhana dalam rangkaian siklus Octon terdiri dari 21 gerhana misalnya gerhana yang berlangsung antara May 21, 1993 and May 20, 2069 (lihat table), tapi tidak selamanya 21 gerhana tapi hanya 16 gerhana (1997-2054).

### 3. Simpulan

Mencari cara sederhana untuk menentukan jumlah gerhana tidak mudah. Salah satu pendekatannya adalah menggunakan pendekatan empiris melalui persamaan sebagai berikut:

Bila  $x$  adalah jumlah lunasi yang memenuhi hubungan matematis sebagai berikut:  $x = 6a + 5b + c$ ;  $a+b+c =$  jumlah gerhana,  $a : b : c = 5.7:2:1$  atau  $57:20:10$ , maka solusi  $a=32$ ;  $b=8$  dan  $c=3$  dengan  $a =$  gerhana berjarak 6 bulan,  $b=$  gerhana berjarak 5 bulan,  $c=$  gerhana berjarak 1 bulan.

Fasa bulan dalam rentang waktu satu siklus Meton ada 235. Dalam selang waktu satu siklus Metonik terdapat 43 gerhana, 32 gerhana berjarak 6 bulan, 8 gerhana berjarak 5 bulan dan 3 gerhana berjarak 1 bulan dari gerhana sebelumnya. Jadi dari 235 lunasi sekitar 18.3 % akan terjadi gerhana.

### Ucapan Terima Kasih

Sebagian data yang dipresentasikan dalam makalah ini merupakan hasil penelitian bersama Program Penelitian, Pengabdian kepada Masyarakat, dan Inovasi (P3MI) ITB tahun 2018 dan 2019. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih.

### Daftar Pustaka

- Anonim. 1981. Almanak Hisab Rukyat; Badan Hisab & Rukyat Departemen Agama RI, Proyek Pembinaan Badan Peradilan Agama Islam hal. 136 – 151
- Doggett, LE. 1992. *Bab XII: Calendars dalam Explanatory Supplement to The Astronomical Almanac*. hal. 575-608; Univ. Science Books, California edited P. Kenneth Seidelmann
- Espenak, F. 1989. *Fifty Year Canon of Lunar Eclipses: 1986-2035*, NASA Ref. Publ 1216
- Espenak, F. 1987. *Fifty Year Canon of Solar Eclipses: 1986-2035*, NASA Ref. Publ 1178
- Espenak, F. and Meeus, J. 2009. *Five Millennium Catalog of Lunar Eclipses – 1999 to +3000 (2000 BCE to 3000 CE) – January 2009*. NASA/TP-2009-214173
- Espenak, F. and Meeus, J. 2009. *Five Millennium Catalog of Solar Eclipses – 1999 to +3000 (2000 BCE to 3000 CE) – Revised – January 2009*. NASA/TP-2009-214174
- Ilyas, M. 1984. *A Modern Guide to Astronomical Calculation of Islamic Calendar, Times and Qibla*. Berita Publishing, Kuala Lumpur
- Ilyas, M. 1994. Lunar Crescent Visibility and Islamic Calendar, QJR astr. Soc. 35, 425-461 Meeus, J., 1983, *Astronomical Table of the Sun, Moon and Planets*. Willmann - Bell, Inc. – USA
- Kaler, James B. 2002. *The Ever-Changing Sky: A Guide to the Celestial Sphere*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK
- Link, F. 1975. *Lunar Eclipses in Astronomy: A Handbook edited by Roth, Gunter Dietmar translated and revised by Arthur Beer*. 289 – 312 Sky Publishing Corporation Cambridge, Massachusetts
- Livingston, dkk. (editors). 2000. The Last Total Solar Eclipse of the Millennium in Turkey. *Astronomical Society of The Pacific Conference Series* vol 205
- Meeus, J. 1983. *Astronomical Tables of The Sun, Moon, and Planets*. Willmann-Bell, Inc, Virginia, USA
- Meeus, J. 1991. *Astronomical Algorithms*. Willmann-Bell, Inc, Virginia, USA