

Fenomena Gerhana Bulan dan Gerhana Matahari dalam Sistem Kalendar

Moedji Raharto^{1,a)}, Novi Sopwan^{2,b)}

¹Kelompok Keilmuan Astronomi,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

²Program Studi Ilmu Falak,
Fakultas Syariah dan Hukum, UIN Sunan Ampel Surabaya
Jl. A. Yani 117 Surabaya, Indonesia

^{a)}mraharto2009@gmail.com (corresponding author)

^{b)}sopwan@uinsby.ac.id

Abstrak

Sistem Bumi, Bulan dan Matahari menghasilkan berbagai fenomena langit berulang dan terus menerus dalam jangka waktu yang amat panjang dalam skala kehidupan manusia. Diantara fenomena langit yang berulang tersebut adalah fasa bulan, gerhana Bulan, gerhana Matahari, posisi terbit dan terbenam Matahari, fenomena sabit bulan di equinok, fenomena sabit bulan di solstice/di titik balik utara maupun selatan dsb. Sistem kalendar Bulan dibangun berdasarkan siklus sinodis Bulan, sistem kalendar Matahari dibangun berdasarkan siklus tropis Matahari dan sistem kalendar Luni – Solar dibangun berdasarkan siklus sinodis Bulan dan siklus tropis Matahari. Makalah ini memaparkan keterkaitan antara fenomena gerhana Bulan dan gerhana Matahari dalam sistem kalendar, keterkaitan karena keduanya merupakan penurunan dari fenomena langit yang dihasilkan oleh sistem Bumi, Bulan dan Matahari.

Kata-kata kunci: kalendar, gerhana bulan, gerhana matahari, meton, saros

PENDAHULUAN

Matahari merupakan sebuah bola gas raksasa yang pijar dengan daya 10^{26} watt. Daya yang sangat besar itu menyebabkan manusia dapat mengenal bongkah batu Bulan, orbit Bulan mengelilingi Bumi, fasa – fasa Bulan, orbit planet dan satelit alamnya. Daya Matahari yang besar dan lebih dari 99% tatasurya terkonsentrasi pada Matahari, praktis planet-planet dan benda langit terikat secara gravitasi oleh Matahari. Planet 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 kedudukan Matahari berada dalam arah vernal ekuinok (titik Aries) dua kali berurutan, rata – rata 365. 2422 hari. Sedangkan siklus tahun sideris merupakan siklus kedudukan Matahari berada dalam arah bintang acuan dua kali berurutan.

Berbagai siklus berulang atas fenomena alam juga berlangsung, diantaranya siklus sinodis fasa Bulan, atau siklus dua fasa Bulan berurutan, misalnya dari fasa purnama ke fasa purnama berikutnya merupakan satu siklus sinodis bulan, rata – rata 29.53059 hari. Sementara itu juga terdapat siklus Bulan mengorbit planet Bumi yaitu siklus bulan sideris (27.32166 hari). Siklus bulan Sideris merupakan siklus bulan mengorbit Bumi mengacu pada bintang.

Kedua siklus itu, siklus tropis Matahari dan siklus sinodis Bulan banyak dipergunakan dalam sistem kalendar. Raharto dkk (2018) memaparkan sistem kalendar dan hari libur nasional. Sistem kalendar yang dipergunakan di Indonesia dapat dikelompokkan ke dalam sistem kalendar Matahari, sistem kalendar Bulan dan sistem kalendar Luni Solar. Fenomena gerhana bulan merupakan fenomena yang dilahirkan dalam sistem Bumi, Bulan dan Matahari.

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.

UMBRA, PENUMBRA DAN FENOMENA GERHANA

Keberadaan Matahari sebagai sumber cahaya ini menimbulkan adanya bayang bayang benda langit yang dikenal dengan umbra dan penumbra. Ukuran Matahari sebagai sumber cahaya yang sangat besar itu menyebabkan adanya kawasan umbra, antumbra dan kawasan penumbra benda langit. Bila ukuran Matahari sebagai sumber cahaya sama atau lebih kecil dari ukuran planet atau bulan maka tak terbentuk bayangan “kerucut umbra” planet/bulan.

Selain itu juga tak akan terjadi fenomena gerhana Matahari Cincin, dalam sistem Bumi, Bulan dan Matahari. Secara umum kedudukan Matahari selalu di ekliptika, fenomena gerhana Bulan maupun gerhana Matahari akan berlangsung bila kedudukan Matahari dekat dengan titik simpul orbit Bulan terhadap ekliptika.

Bila Matahari dekat titik simpul orbit Bulan terhadap ekliptika dan Bulan berjarak sekitar 180 derajat terhadap Matahari maka akan berlangsung gerhana Bulan. Bila Matahari dekat titik simpul orbit Bulan terhadap ekliptika dan Bulan berjarak sekitar 0 derajat terhadap Matahari maka akan berlangsung gerhana Matahari.

Diameter linier bola gas Matahari, $D_m \approx 1\,400\,000\text{ km}$ (tepatnya $2 \times 6.96 \times 100\,000\text{ km} = 1\,392\,000\text{ km}$) dan temperatur permukaannya adalah 5880 K. Bandingkan dengan diameter linier bola karang Bulan, $D_b \approx 3\,500\text{ km}$ (tepatnya $2 \times 1.738 \times 1000\text{ km} = 3476\text{ km}$) dan diameter Bola Bumi yang mempunyai radius 6378 km adalah 12 756 km. Secara teoritis **variasi panjang Umbra Bumi: 1360380.597 km – 1406794.428 km, sedang jarak Bumi – Bulan**

bervariasi, variasi Jarak Bumi – Bulan (1): 364 296.44 km hingga 405 503.56 km, atau Variasi Jarak Bumi – Bulan (2): 356 400 km – 406 700 km.

Panjang Umbra Bumi lebih besar dibanding jarak Bumi Bulan, jadi memungkinkan terjadi gerhana Bulan. Data – data tersebut memperkuat momen fenomena gerhana Bulan bisa berlangsung bila perjalanan Bulan dalam orbitnya bisa melewati kawasan penumbra saja, kawasan penumbra dan umbra Bumi. Bila Bulan hanya melewati kawasan penumbra saja dinamakan gerhana Bulan penumbra (n), bila bundaran Bulan melewati kawasan penumbra dan sebagian kawasan umbra Bumi dinamakan gerhana Bulan Sebagian (p) dan bila seluruh bundaran Bulan melewati kawasan penumbra dan seluruh bundaran Bulan melewati kawasan umbra Bumi dinamakan gerhana Bulan Total (t).

Bentuk geometri kawasan umbra dan penumbra bisa beragam. Dalam kasus gerhana Bulan, bulan berada di kawasan umbra Bumi. Bola Bumi dengan radius 6378 km (diameter 12756 km) akan memblok/menghalangi cahaya Matahari yang jatuh ke permukaan Bulan. Bila sebagian Bulan berada di kawasan penumbra Bumi, dari permukaan Bulan akan melihat Gerhana Matahari Sebagian, sebagian bola gas pijar Matahari terhalang oleh bola Bumi. Pada momen Gerhana Bulan Sebagian, kita menyaksikan sebagian Bulan (yang berwarna hitam) berada di kawasan umbra Bumi dan sebagian berada di kawasan penumbra Bumi.

KERUCUT UMBRA

Bila terdapat sebuah sumber titik cahaya (atau bola yang sangat kecil), dan sebuah bola dengan radius R pada jarak d dari sumber titik cahaya tersebut divergen atau meluas. Di kawasan umbra, penglihatan ke sumber radiasi akan terhalang oleh bola. Dalam hal ini praktis tidak terdapat daerah penumbra, kawasan penglihatan ke arah sumber sebagian akan tertutup/terhalang oleh bola.

Misalkan M = pusat bola gas Matahari dan E = pusat bola Bumi Garis singgung $M1E1$ menyinggung bola gas Matahari dan bola Bumi, Garis ME dan $M1E1$ berpotongan di ujung kerucut umbra Bumi U , Sudut u adalah sudut $MUM1$, u kecil sehingga bisa didekati $\sin u \approx \tan u \approx M1M/MU$; $MU = ME + EU$, $\tan u = M1M/MU = EE1/EU$, $\tan u = R_{mth} / (ME + EU) = R_{bm} / EU$, $EU = [R_{bm} / (R_{mth} - R_{bm})] \times dmth$

Perhatikan segitiga datar $MM1U$, tegak lurus di $M1$ dan segitiga $EE1U$ tegak lurus di $E1$. $M1E1U$ garis singgung di bola Matahari di $M1$ dan bola Bumi di $E1$. Sudut $MM1U$ dan sudut $EE1U$ adalah 90° . Jadi segitiga $MM1U$ dan $EE1U$ sebangun. Dan $(MU / \sin M1) = (MM1 / \sin u)$ dan $(EU / \sin E1) = (EE1 / \sin u)$; maka bila $\sin M1 = \sin E1 = \sin 90^\circ = 1$ dan $\sin u = MM1/MU$ dan $\sin u = EE1 / EU$; jadi $MM1/MU = EE1 / EU$; $M1M/MU = EE1/EU$; $MU = ME + EU$, $R_{mth} / (ME + EU) = R_{bm} / EU$ maka panjang Umbra EU adalah $EU = [R_{bm} / (R_{mth} - R_{bm})] \times dmth$

Bila B pusat Bulan dan U adalah ujung kerucut umbra Bulan maka BU adalah panjang umbra Bulan. $BU = \{ [R_{bm} / (R_{mth} - R_{bm})] \times (dmth) \}$

Bila B pusat Bulan dan U adalah ujung kerucut umbra Bulan maka BU adalah panjang umbra Bulan. $BU = \{ [R_{bln} / (R_{mth} - R_{bln})] \times (dmth) \}$, d_{bln} = jarak Bumi – Bulan dan $dmth$ = jarak Bumi – Matahari.

Kedudukan Bumi di perihelion: PU (Bumi) = $1\ 470\ 913\ 12\ \text{km} \times \{ 6378 / (696\ 000 - 6378) \} = 9.248544855 \times 10^{-3} \times 147\ 091\ 312\ \text{km} = 1360380.597\ \text{km}$.

Kedudukan Bumi di aphelion: $PU (\text{Bumi}) = 152\,109\,813 \text{ km} \times \{6378 / (696000 - 6378)\} = 9.248544855 \times 10^{-3} \times 152\,109\,813 \text{ km} = 1406794.428 \text{ km}$.

Variasi Jarak Bumi – Matahari: 147 091 312 km (di perihelion) hingga 152 109 813 km (di aphelion). Variasi Jarak Bumi – Bulan (1): 364 296.44 km hingga 405 503.56 km

Variasi Jarak Bumi – Bulan (2): 356 400 km – 406 700 km

Variasi panjang Umbra Bumi: 1360380.597 km – 1406794.428 km

Kedudukan Bumi di perihelion: $PU (\text{Bulan}) = 1\,470\,913\,12 \text{ km} \times \{1738 / (696000 - 1738)\} = 2.503377687 \times 10^{-3} \times 147\,091\,312 \text{ km} = 368225.1085 \text{ km}$

Kedudukan Bumi di aphelion: $PU (\text{Bulan}) = 152\,109\,813 \text{ km} \times \{1738 / (696000 - 1738)\} = 2.503377687 \times 10^{-3} \times 152\,109\,813 \text{ km} = 380788.3119 \text{ km}$

Variasi Jarak Bumi – Matahari: 147 091 312 km (di perihelion) hingga 152 109 813 km (di aphelion).

Variasi Jarak Bumi – Bulan (1): 364 296.44 km hingga 405 503.56 km

Variasi Jarak Bumi – Bulan (2): 356 400 km – 406 700 km

Variasi panjang Umbra Bulan: 368225.1085 km – 380788.3119 km

Panjang umbra Bumi bervariasi antara 1 360 000 km hingga 1 406 000 km, dan jarak Bumi – Bulan bervariasi antara 356 400 km (perigee) hingga 406 700 km (apogee). Saat bulan di perigee, dan Bumi di aphelion, maka radius umbra yang dilewati Bulan adalah 2772". Bila Bulan di perigee, dan Bumi di perihelion, maka radius umbra yang dilewati Bulan adalah 2805". Bila Bulan berada di apogee dan Bumi di aphelion, maka radius umbra yang dilewati Bulan adalah 2307". Bila Bulan di perigee dan Bumi di perihelion maka radius umbra yang dilewati Bulan adalah 2340".

Umbra Bumi yang jauh lebih panjang dari jarak rata-rata Bumi – Bulan memungkinkan terjadi gerhana Bulan. Ukuran diameter umbra Bumi yang lebih besar dibanding dengan diameter Bulan memungkinkan terjadi gerhana Bulan Total, dimana seluruh Bulan memasuki kawasan umbra Bumi, atau bila ada pengamat yang berada di bagian seluruh permukaan Bulan pada saat itu bisa menyaksikan gerhana Matahari total, Matahari ditutup oleh Bola Bumi. Ragam gerhana Bulan:

- (1) *Gerhana Bulan Penumbra*, selama gerhana berlangsung, Bulan hanya berada pada kawasan Penumbra Bumi, bagian Bulan yang berada di kawasan ini akan menyaksikan gerhana Matahari Sebagian, sebagian bundaran Matahari tertutup oleh sebagian bundaran Bumi disimbolkan (n).
- (2) *Gerhana Bulan Sebagian*, selama gerhana Bulan berlangsung, hanya sebagian bundaran Bulan memasuki kawasan Umbra Bumi disimbolkan (p).
- (3) *Gerhana Bulan Total*, selama gerhana Bulan berlangsung, terjadi fenomena seluruh Bulan memasuki kawasan Umbra Bumi disimbolkan (t).

Bagian Bulan yang berada di kawasan penumbra Bumi akan menyaksikan gerhana Matahari Sebagian, sebagian bundaran Matahari tertutup oleh bundaran bola Bumi. Bagi penduduk Bumi sukar membedakan perubahan kecerlangan bulan purnama sebelum berlangsung gerhana penumbra dengan saat Bulan berada pada penumbra. Bila posisi Bulan saat pertengahan gerhana penumbra sangat dekat dengan umbra Bumi maka akan terjadi keredupan yang bisa diamati oleh mata bugil manusia.

Variasi Jarak Bumi – Matahari: 147 091 312 km (di perihelion) hingga 152 109 813 km (di aphelion).

Variasi Jarak Bumi – Bulan (1): 364 296.44 km hingga 405 503.56 km

Variasi Jarak Bumi – Bulan (2): 356 400 km – 406 700 km

Variasi panjang Umbra Bulan: 368225.1085 km – 380788.3119 km

Umbra Bulan sedikit lebih panjang dibanding dengan jarak Bumi-Bulan, dengan demikian bisa berlangsung gerhana Matahari Total, dan gerhana Matahari Cincin, bila panjang kerucut umbra Bulan lebih pendek dibanding dengan jarak Bumi – Bulan. Ragam gerhana Matahari:

- (1) *Gerhana Matahari Total* (GMT) disimbolkan (T). Momen Gerhana dalam GMT: Gerhana Matahari Sebagian, kemudian Gerhana Matahari Total, pertengahan Gerhana Matahari Total dan Gerhana Matahari Sebagian. Gerhana Matahari Total, seluruh bundaran Matahari di langit tertutup oleh bundaran Bulan, diameter sudut Bulan lebih besar dibanding dengan diameter sudut Matahari.
- (2) *Gerhana Matahari Cincin* (GMC) disimbolkan (A). Momen Gerhana dalam GMC: Gerhana Matahari Sebagian, kemudian Gerhana Matahari Cincin (bentuk Cincin yang tidak simetri), pertengahan Gerhana Matahari Cincin (bentuk Cincin Simetri), Gerhana Matahari Cincin (bentuk Cincin yang tidak simetri). Gerhana Matahari Cincin, bundaran Bulan berada di dalam bundaran Matahari, karena diameter sudut Bulan lebih kecil dibanding dengan diameter sudut Matahari.
- (3) *Gerhana Matahari Sebagian* (GMS) disimbolkan (P). Momen Gerhana dari Awal hingga Akhir adalah Gerhana Matahari Sebagian. Gerhana Matahari Sebagian, sebagian bundaran Bulan menutupi sebagian bundaran Matahari.

Syarat terjadinya gerhana

Titik simpul orbit Bulan tersebut beregresi ke arah barat, oleh karena itu Matahari lebih cepat mencapai titik simpul. Periode Matahari dari titik simpul ke titik simpul yang sama berikutnya dinamakan satu tahun gerhana, lamanya 346.62005 hari (Matahari rata-rata). Periode ini rata-rata lebih pendek 18.63631 hari dibanding dengan periode sideris (365.25636 hari) Bumi mengelilingi Matahari.

Kemungkinan terjadi gerhana hanya bila Matahari dan Bulan berada pada bujur ekliptika dekat titik simpul orbit Bulan dalam rentang $15^{\circ}.35 < \Delta\lambda < 18^{\circ}.51$.

Syarat minor gerhana

Pada batas tersebut keadaan maksimum yang dapat dicapai adalah gerhana persinggungan antara bola Matahari dan Bulan. Satu hari, Matahari bergerak pada ekliptika $(360^{\circ}/365.25) \sim 0^{\circ}.985626283/\text{hari}$.

Dalam satu Bulan sinodis Matahari bergerak sejauh $(360^{\circ} / 346.62) \times 29.53 = 30^{\circ}.67$ terhadap node/ titik simpul. Syarat minor terjadinya gerhana adalah $\Delta\lambda \sim 15^{\circ}.35$, dan musim gerhana dicapai $2 \times \Delta\lambda \sim 30^{\circ}.7$ beda bujur ekliptika Matahari terhadap titik simpul.

SIKLUS SAROS DALAM GERHANA BULAN DAN GERHANA MATAHARI

Pembahasan siklus gerhana dimaksudkan untuk mengenal fenomena gerhana dalam berbagai sistem kalender. Salah satu siklus gerhana dinamakan siklus SAROS, yang berarti

pengulangan. Periode Saros adalah 223 kali periode sinodis bulan atau 6585.32 hari, sedangkan 19 tahun gerhana bersesuaian dengan 19×346.62 hari = 6585.78 hari. Oleh karenanya terdapat selisih waktu antara periode Saros dengan siklus terjadinya gerhana Matahari, yaitu sebesar 0.46 hari. Dalam satu hari kalendar, Matahari bergeser $360^\circ/365.2425$ hari atau hampir $60'$ ke timur. Jadi dalam waktu 0.46 hari Matahari bergerak sebesar $0.46 \times 60' \sim 28'/\text{siklus Saros}$.

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 = 223×29.530589 hari = 6585.3233 hari, Satu siklus Saros hampir sama dengan 239 periode anomalistik = 239×27.554551 hari = 6585.5377 hari, satu siklus Saros hampir sama dengan 242 periode nodikal = 242×27.212220 hari = 6585.3572 hari. Tabel 1 memberikan contoh tanggal berlangsungnya gerhana matahari ke 46 hingga 56 dari 71 Gerhana Matahari dalam satu seri Saros 130.

Tabel 1. Contoh Gerhana Matahari ke X dari 71 GM Seri Saros 130

X	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

ESTIMASI JUMLAH GERHANA DALAM SATU SIKLUS SAROS

Sebagai lanjutan pembahasan contoh di atas, 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 rata-rata 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 $(2 \times 16^\circ 26') / 28' = 70$ Gerhana Matahari. Atau merentang minimal sekitar 66 gerhana hingga maksimal sekitar 80 gerhana dalam satu seri Saros.

Perhitungan yang lebih cermat satu seri Saros rata-rata ~ 73 kali GM, atau satu seri Saros rata-rata adalah 73×18.03 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 (3367 tahun) dari tahun 1207 SM hingga tahun 2161 M terdapat sekitar 8000 GM (238 GM/abad) dan sekitar 5200 GB (154 GB/abad) 238 GM/abad atau 238~ 43 seri GM dalam satu siklus Saros 18 tahun. [1 Saros = 18 thn, 1 abad sekitar $(100/ 18.03 \text{ thn}) = 5.546$ gerhana dalam seri Saros yang sama dalam se abad, jadi sekitar $238/5.546 \approx 43$ seri Saros], Jumlah gerhana dalam 1 abad bisa sangat bervariasi misalnya 1901 – 2000 terdapat 228 GM dan 228 GB, 2901 – 3000 terdapat 224 GM dan 230 GB.

MUSIM GERHANA

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.

Fenomena gerhana bisa bertepatan dengan Bulan dari lintang ekliptika positif ke lintang ekliptika negatif dinamakan dengan “Descending Node” dan sebaliknya dinamakan “Ascending Node”, contoh keduanya tergambar dalam nomor Saros gerhana seperti dalam table 2a dan table 2b di bawah ini.

Tabel 2a. Jadwal Gerhana Matahari “Descending Node”

Saros No	tgl	bln	thn
120	20	3	2015
130	9	3	2016
140	26	2	2017
150	15	2	2018

Tabel 2b: Jadwal Gerhana Matahari “Ascending Node”

Saros No	tgl	bln	thn
125	13	9	2015
135	1	9	2016
145	21	8	2017

155	11	8	2018
-----	----	---	------

Musim gerhana berlangsung bila kedudukan Matahari di langit berdekatan dengan salah satu titik simpul orbit Bulan mengelilingi Bumi terhadap ekliptika. Titik simpul orbit Bulan mengelilingi Bumi terhadap ekliptika berpindah secara sistematis dengan periode sekitar 19 tahun, yaitu $365.2422 / (365.2422 - 346.6) = 19.59$ tahun. Oleh karena itu musim gerhana dapat berlalu pada bulan Januari hingga bulan Desember dalam calendar masehi, atau dari bulan Muharram hingga bulan Dzulhijjah dalam kalender Hijriah.

FENOMENA GERHANA DALAM SISTEM KALENDAR SURYA/SYAMSAH

Pada abad 21 terdapat 2 tahun Masehi dengan jumlah gerhana maksimum yaitu 7 buah gerhana dalam setahun yaitu tahun 2038 dan tahun 2094. Contoh tersebut diperlihatkan dalam Tabel 3a dan table 3 b di bawah ini.

Tabel 3a: Tahun 2038 dengan 3 gerhana Matahari (2 gerhana Matahari Cincin dan 1 gerhana Matahari Total) dan 4 gerhana Bulan Penumbra

Konjungsi 2038				Bulan Purnama 2038			
Bln	Tgl	WIB	GM	Bln	Tgl	WIB	GB
Jan	5	20:41	A	Jan	21	11:00	n
Feb	4	12:52		Feb	19	23:09	
Mar	6	6:15		Mar	21	9:09	
Apr	4	23:43		Apr	19	17:36	
May	4	16:19		May	19	1:23	
Jun	3	7:24		Jun	17	9:30	n
Jul	2	20:32	A	Jul	16	18:48	n
Aug	1	7:40		Aug	15	5:57	
Aug	30	17:13		Sep	13	19:24	
Sep	29	1:57		Oct	13	11:22	
Oct	28	10:53		Nov	12	5:27	
Nov	26	20:47		Dec	12	0:30	n
Dec	26	8:02	T				

Tabel 3b: Tahun 2094 dengan 4 gerhana Matahari (3 gerhana Matahari Sebagian dan 1 gerhana Matahari Total dan 3 gerhana Bulan (1 gerhana bulan sebagian dan 2 gerhana bulan total)

Konjungsi 2094				Bulan Purnama 2094			
Bln	Tgl	WIB	GM	Bln	Tgl	WIB	GB
				Jan	1	23:51	p
Jan	17	2:05	T	Jan	31	19:36	
Feb	15	12:43		Mar	2	14:35	
Mar	16	22:44		Apr	1	7:11	
Apr	15	8:37		Apr	30	20:54	
May	14	19:09		May	30	7:58	
Jun	13	7:03	P	Jun	28	16:58	t
Jul	12	20:36	P	Jul	28	0:39	
Aug	11	11:38		Aug	26	7:51	
Sep	10	4:31		Sep	24	15:33	
Oct	9	19:44		Oct	24	0:47	
Nov	8	11:42		Nov	22	12:27	
Dec	8	2:50	P	Dec	22	2:56	t

Secara umum dapat disimpulkan bahwa fenomena gerhana dalam sistem kalender Matahari adalah sebagai berikut:

- (1) Bisa berlangsung pada semua bulan dalam kalender masehi
- (2) Maksimal bisa terjadi tiga musim gerhana dalam setahun (contoh pada table 3a dan 3b)
- (3) Gerhana ke gerhana berikutnya bisa berjarak 1 bulan sinodis, 5 bulan sinodis atau 6 bulan sinodis (contoh pada table 3a dan 3b)

GERHANA 6 BULANAN

Setelah berlangsung fenomena gerhana, 6 bulan sinodis kemudian dapat terjadi GM berikutnya. Dalam siklus, Bulan bergeser dari titik simpul sebesar $(6 \times 30^\circ.67) \sim 184^\circ.02$ 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 $2 \times$ batas atas yang mungkin dicapai adalah $(37^\circ - 36^\circ) < 4^\circ$

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), ($2 \times$ 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.

CATATAN DUA GERHANA BULAN TOTAL DI TAHUN 2018

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. Fenomena dua bulan purnama dalam satu bulan sangat dimungkinkan karena selang waktu dua bulan purnama berturut-turut kurang dari 30 hari, rata-rata 29.5305 hari. Kecuali untuk bulan Februari karena jumlah harinya hanya 28 atau 29 hari, maka tidak mungkin terjadi dua bulan purnama pada bulan Februari.

Blue Moon tidak pernah terjadi pada bulan Februari, karena jumlah hari hanya 28 atau 29 hari pada tahun kabisat. Istilah Blue Moon yang sekarang diperuntukkan bulan purnama kedua dalam bulan yang sama. Pada bulan Januari 2018 terdapat 2 bulan Purnama yaitu tanggal 2 Januari 2018 jam 09:24 wib dan 31 Januari 2018 jam 20:27 wib. Bulan Purnama 31 Januari 2018 jam 20:27 wib, dinamakan Blue Moon. Blue Moon 31 Januari 2018 ke tujuh dalam abad 21 dan bertepatan dengan gerhana Bulan Total, fenomena pertama dalam abad 21 dan yang kedua dan terakhir untuk abad 21 adalah gerhana bulan total 31 Januari tahun 2037. Pada abad 21 terdapat 41 “Blue Moon” versi definisi Blue moon adalah bulan purnama ke dua pada suatu bulan Masehi, bila pada bulan tersebut terjadi dua bulan purnama dan hanya dua Blue Moon yang bertepatan dengan musim gerhana yaitu Gerhana Bulan Total 31 Januari 2018 dan gerhana Bulan Total tahun 2037. Definisi Blue Moon telah populer dan terus dipopulerkan dimasyarakat, selama konsistensi dari definisi tersebut dapat dipertahankan, maka definisi Blue Moon, merupakan jembatan antara masyarakat dengan keilmuan astronomi. Astronom memahaminya sebuah pola keteraturan di alam semesta, sedang masyarakat bisa ada yang memaknai dalam bentuk pandangan yang lain.

Perbandingan antara dua gerhana bulan pada tahun 2018

Pada tahun 2018 terdapat 5 gerhana, 3 gerhana matahari sebagian dan 2 gerhana bulan total. GMS 16 Februari 2018, GMS 13 Juli 2018 dan GMS 11 Agustus 2018 (kawasan kutub utara), GBT 31 Januari – 1 Februari 2018 dan GBT 28 Juli 2018.

Gerhana Matahari tidak dapat disaksikan dari wilayah Indonesia, sedang 2 GBT dapat disaksikan dari wilayah Indonesia. Bagi penduduk yang berdiam di wilayah Indonesia, tahun 2018, dapat menyaksikan 2 gerhana Bulan Total yaitu pada tanggal 31 Januari 2018 dan 27 - 28 Juli 2018.

Bandung, Gerhana Bulan dimulai momen gerhana Bulan Penumbra pada jam 17:51 wib, posisi Bulan masih di bawah ufuk, - 4 derajat; 18:48 wib mulai gerhana Bulan sebagian, tinggi 9 derajat; gerhana bulan total mulai jam 19:52 wib tinggi 23 derajat; pertengahan 20 30 wib tinggi 31 derajat pertengahan gerhana 21 08 tinggi 40 derajat gerhana total berakhir 22:11 wib gerhana sebagian berakhir tinggi 52 derajat, penumbra berakhir 23:08 wib tinggi 62 derajat.

GERHANA MATAHARI DAN GERHANA BULAN TAHUN 2018

Tabel 4a: Gerhana Matahari 2018

Ijtimak 2018 (UT)				Ijtimak 2018 (WIB)		
Bulan	Tanggal	UT	GM	Bulan	Tanggal	WIB
Januari	17	02:17		Januari	17	09:17
Februari	15	21:05	P	Februari	16	04:05
Maret	17	13:12		Maret	17	20:12
April	16	01:57		April	16	08:57
Mei	15	11:48		Mei	15	18:48
Juni	13	19:43		Juni	14	02:43
Juli	13	02:48	P	Juli	13	09:48
Agustus	11	09:58	P	Agustus	11	16:58
September	9	18:01		September	9	01:01
Oktober	9	03:47		Oktober	9	10:47
November	7	16:02		November	7	23:02
Desember	7	07:20		Desember	7	14:20
Januari	17	02:17		Januari	17	09:17

Tabel 4b: Gerhana Bulan 2018

Bulan Purnama 2018 (UT)				Bulan Purnama 2018 (WIB)		
Bulan	Tanggal	UT	GB	Bulan	Tanggal	WIB
Januari	2	2:24		Januari	2	09:24
Januari	31	13:27	t	Januari	31	20:27
Maret	2	0:51		Maret	2	07:51
Maret	31	12:37		Maret	31	19:37
April	30	0:58		April	30	07:58
Mei	29	14:20		Mei	29	21:20
Juni	28	4:53		Juni	28	11:53
Juli	27	20:20	t	Juli	28	03:20
Agustus	26	11:56		Agustus	26	18:56
September	25	2:53		September	25	09:53
Oktober	24	16:45		Oktober	24	23:45

November	23	5:39		November	23	12:39
Desember	22	17:49		Desember	23	00:49

GERHANA DAN SIKLUS METONIK

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 5 siklus Octon atau 5 x 3.8 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).

Tabel 5. Contoh Siklus Metonik Gerhana Matahari

Contoh 1: Siklus Metonik Gerhana Matahari			
Saros	tgl	bln	thn
118	21	5	1993
128	20	5	2012
138	21	5	2031
148	20	5	2050
158	20	5	2069
Contoh 2: Siklus Metonik Gerhana Matahari			
Saros	tgl	bln	thn
120	9	3	1997
130	9	3	2016
140	9	3	2035
150	9	3	2054
160	9	3	2073
Contoh 3: Siklus Metonik Gerhana Matahari			
Saros	tgl	bln	thn

122	25	12	2000
132	26	12	2019
142	26	12	2038
152	26	12	2057
			2076
Contoh 4: Siklus Metonik Gerhana Matahari			
Saros	tgl	bln	thn
126	1	8	2008
136	2	8	2027
146	2	8	2046
156	2	8	2065
			2084

ESTIMASI JUMLAH GERHANA DALAM SATU SIKLUS METON

Mencari cara sederhana untuk menentukan jumlah gerhana diperlihatkan dalam Tabel 5. 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.

Tabel 6: Perhitungan Jumlah gerhana dalam interval siklus Meton

Berapa jumlah gerhana dalam 1 siklus Metonik?	
1 siklus Metonik (lunasi) defenisi	235
$x = 6a + 5b + c$; $a+b+c =$ jumlah gerhana, $a:b:c = 5.7:2:1$ atau $57:20:10$	43
solusi $a=32$; $b =8$ dan $c=3$	
$a =$ gerhana berjarak 6 bulan	32

b= gerhana berjarak 5 bulan	8
c= gerhana berjarak 1 bulan	3
Jumlah gerhana 1 siklus Metonik = $32 + 8 + 3$	43
Jumlah lunasi = $6 \times 32 + 5 \times 8 + 1 \times 3 =$	235
Persentase Lunasi di musim gerhana = $(43/235) \times 100\% =$	18.29787

Tanggal syamsiah, fasa Bulan bersiklus 235 lunasi atau kira-kira 19 tahun (syamsiah). Siklus 235 lunasi bulan dikenal sebagai siklus Meton. Jumlah hari rata-rata dalam 235 lunasi adalah ($235 \times$ siklus sinodis bulan = 235×29.530589 hari) = 6939.688415 hari. Sedangkan 19 tahun tropis adalah ($19 \times$ satu tahun tropis rata-rata = 19×365.242199 hari) = 6939.601781 hari. Selisih 235 lunasi terhadap 19 tahun tropis adalah (235 lunasi – 19 tahun) = 0.08 hari. Dalam 19 tahun tropis, 12 tahun diantaranya setiap tahun terdapat 12 lunasi dan 7 tahun sisanya setiap tahun terdapat 13 lunasi.

Bila terjadi 4 kali siklus Meton, berarti jumlah hari dalam 4 siklus Meton adalah 4×235 lunasi = 940 lunasi, atau 940×29.530589 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 4×19 tahun = 76 tahun). Dogget (1992) memberikan persamaan jumlah hari dalam 5700000 tahun sama dengan jumlah hari dalam 70499183 lunasi yaitu 2081882250 hari.

Tahun 2018 terdapat 13 bulan Purnama, dua bulan purnama berada di bulan Januari dan dua di bulan Maret, bulan Februari tanpa bulan purnama dan yang lainnya terdistribusi pada bulan April hingga Desember.

Setiap 19 tahun terdapat 235 bulan Purnama, hanya 7 dari 19 tahun dengan setahun terdapat 13 bulan purnama sedang 12 tahun yang lain hanya 12 bulan purnama. Sedang bulan Februari tanpa bulan Purnama selama abad 21 hanya berlangsung pada 4 tahun, yaitu tahun 2018, 2037, 2067 dan 2094. Jadi pertama di abad 21 bulan Februari tanpa Bulan Purnama, berikutnya akan berlangsung pada tahun 2037.

FENOMENA GERHANA DALAM KALENDAR QAMARIAH

Musim gerhana berlangsung bila kedudukan Matahari di langit berdekatan dengan salah satu titik simpul orbit Bulan mengelilingi Bumi terhadap ekliptika. Titik simpul orbit Bulan mengelilingi Bumi terhadap ekliptika berpindah secara sistematis dengan periode sekitar 19 tahun, yaitu: $365.2422 / (365.2422 - 346.6) = 19.59$ tahun.

Oleh karena itu musim gerhana dapat berlalu pada bulan Januari hingga bulan Desember, atau dari bulan Muharram hingga bulan Dzulhijjah

DUA GERHANA DALAM BULAN RAMADHAN

Satu bulan sinodis rata-rata 29.53059 hari, sedangkan satu tahun gerhana adalah 346.62005 hari. Oleh karena itu selang waktu berlangsungnya dua gerhana dalam satu bulan Ramadhan kira-kira $(12 \times 29.53059) / ((12 \times 29.53059) - 346.62005)$ tahun Hijriah atau kira-kira 22.87 tahun.

Perbedaan seri Saros antara gerhana Bulan dan gerhana Matahari dalam satu bulan Ramadhan adalah 26, misalnya: GMT 6 November 2003 berseri Saros nomor 126 dan GMT 24 November 2003 berseri Saros nomor 152, contoh lainnya Gerhana Bulan Total 6 Juli 1982 bernomor Saros 129 dan Gerhana Matahari Sebagian 20 Juli 1982 bernomor Saros 155.

Perbedaan nomor Saros antara Gerhana Bulan dalam Ramadhan dengan dua gerhana yang satu dan yang berikutnya adalah

$$S1 = (S0 + 7) \pm 10 \times n$$

dengan: $S1$ = nomor Saros sekarang, $S0$ nomor Saros sebelumnya, dan n = bilangan bulat 0, 1, 2.

Misal GMT 6 Juli 1982 bernomor Saros 129, maka $S0 = 129$, sehingga nomor Saros GMT 6 November 2003 adalah $S1 = 126$ atau $S1 = (S0 + 7) - 10 \times 1$.

Seri Saros GMS 20 Juli 1982 adalah 155, maka $S0 = 155$ maka nomor GMT 24 November 2003, $S1 = 152$ atau $S1 = (S0 + 7) - 10 \times 1$.

Pasangan saros Bulan dan Matahari dapat berlangsung (tidak selalu) pada bulan Ramadhan lainnya dengan selang waktu 223 tahun Hijriah.

Sejak awal tahun Islam hingga sekarang lebih dari 60 Ramadhan dengan dua gerhana, gerhana Bulan di pertengahan bulan Ramadhan dan gerhana Matahari di akhir bulan Ramadhan. Termasuk Gerhana Bulan Sebagian yang terjadi pada bulan Ramadhan 1311 H, yaitu 21 Maret 1894 (Saros 111) dan Gerhana Matahari Sebagian 6 April 1894 (Saros 137) yang diyakini sebagai kelahiran Imam Mahdi bagi faham Ahmadiyah.

Gerhana Bulan dan Matahari yang berlangsung di arah langit yang hampir sama, berulang setiap 223 kali lunasi Bulan atau $(223 \times 29.53 \text{ hari}) = 6585.19$ 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.

Adanya siklus Saros berarti ada siklus 54 tahun 1 bulan, agar jam ijtimak (konjungsi) mendekati waktu ijtimak 54 tahun sebelumnya.

Tampaknya siklus ini juga berlaku untuk siklus Ijtimak/konjungsi. 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).

FENOMENA GERHANA DALAM KALENDAR LUNI SOLAR

Kasus yang diangkat adalah kalender Luni Solar untuk penentuan Waisak, hasil awal pada abad 21 terdapat pengelompokan gerhana Bulan yang bertepatan dengan bulan purnama pada bulan Mei dan Juni. Tabel 7a dan 7b merupakan jumlah maksimal gerhana yang bertepatan dengan Waisak.

Tabel 7a: Tanggal dan jam momen Bulan Purnama bertepatan dengan musim gerhana pada bulan Mei dan Juni, 50 tahun pertama abad 21

	Mei	Juni	Mei	UT	Juni	UT
	GB	GB	tanggal	jam	tanggal	jam
2002	n	n	26	11:51	24	21:42
2003	t		16	3:36	14	11:16
2004	t		4	20:33	3	4:20
2010		p	27	23:07	26	11:30
2011		t	17	11:09	15	20:13
2012		p	6	3:35	4	11:12
2013	n		25	4:25	23	11:32
2020		n	7	10:45	5	19:12
2021	t		26	11:14	24	18:40
2022	t		16	4:14	14	11:52
2023	n		5	17:34	4	3:42
2029		t	27	18:37	26	3:22
2030		p	17	11:19	15	18:41
2031	n	n	7	3:40	5	11:58
2038		n	18	18:23	17	2:30
2039		p	8	11:20	6	18:48
2040	t		26	11:47	24	19:19
2041	p		16	0:52	14	10:59
2048		p	27	18:57	26	2:08
2049	n	n	17	11:13	15	19:26
2050	t		6	22:26	5	9:51
2050	t		6	22:26	5	9:51

Tabel 7b: Tanggal dan jam momen Bulan Purnama bertepatan dengan musim gerhana pada bulan Mei dan Juni, 50 tahun kedua abad 21

	Mei	Juni	Mei	UT	Juni	UT
	GB	GB	tanggal	jam	tanggal	jam
2056		n	29	1:58	27	9:47
2057		p	18	19:02	17	2:18
2058		t	8	10:12	6	19:15
2059	p		27	8:04	25	18:12
2067	n	n	28	18:42	27	2:52
2068	p		17	5:35	15	17:00
2069	t		6	9:11	5	0:19
2075		p	30	2:38	28	9:46
2076		t	18	17:38	17	2:38
2077		p	8	2:23	6	15:07

2085		n	9	16:04	8	2:02
2086	p		28	12:35	27	0:04
2087	t		17	15:55	16	6:58
2088	p		5	16:25	4	8:08
2094		t	30	0:58	28	9:58
2095		p	19	9:21	17	22:05
2096	n		7	11:06	6	2:58

KESIMPULAN

Pada sistem kalender Matahari, terlihat pola jarak berlangsungnya gerhana sebulan, 5 bulan atau 6 bulan. Jumlah gerhana maksimum dalam setahun juga bisa dilihat seperti contoh dalam table 4a dan 4b.

Hubungan antara fenomena gerhana juga bisa dilihat lewat siklus Meton, pola 19 tahun, pola 10 Saros selama 4 atau 5 kali seperti dalam contoh dalam table 5.

Sistem kalender bulan juga memberi pola Saros khusus seperti dua gerhana dalam satu bulan? Fenomena gerhana pada sistem kalender mempunyai pola pola khusus, untuk system Luni Solar seperti pada table 7a dan table 7b. Kajian dan penjelasan yang lebih detail pola pola pengelompokan gerhana dalam sistem kalender diperlukan untuk mengerti sistematika.

UCAPAN TERIMA KASIH

Sebagian dari material ini memperoleh pendanaan dalam Program P3MI ITB 2019. Penulis mengucapkan terima kasih atas pendanaan tersebut.

REFERENSI

1. F. Espenak, *Fifty Year Canon of Lunar Eclipses: 1986-2035*, NASA Ref. Publ 1216 (1989)
2. F. Espenak, *Fifty Year Canon of Solar Eclipses: 1986-2035*, NASA Ref. Publ 1178 (1987)
3. F. Espenak, and J. Meeus, *Five Millennium Catalog of Lunar Eclipses – 1999 to +3000 (2000 BCE to 3000 CE) – January 2009*, NASA/TP-2009-214173 (2009)
4. F. Espenak and J. Meeus, *Five Millennium Catalog of Solar Eclipses – 1999 to +3000 (2000 BCE to 3000 CE) – Revised – January 2009*, NASA/TP-2009-214174 (2009)
5. M. Raharto, dan N. Sopwan, *Mengenal Fenomena Benda Langit Melalui Kalender*, Prosiding Seminar Pendidikan IPA Pasca Sarjana - Universitas Malang, vol 2 hal. 36 – 50, ISBN 978602 9286 229 (2017)
6. M. Raharto, N. Sopwan, M. Irfan-Hakim, dan Y. Sugianto, *Sistem Kalender dan Hari Libur Nasional*, Prosiding SNIPS 2018, p 189-199, ISBN 9786026140540 (2018)
7. M. Raharto, N. Sopwan, Listya Dara Sunda Prabawa, AR. Abriyanto, *Buku Panduan Gerhana*, ITB Press, ISBN 9786025417689 (2018)
8. M. Raharto, Listya Dara Sunda Prabawa, AR. Abriyanto, *Daftar gerhana 100 tahun mendatang di Indonesia*, ITB Press, ISBN 9786025417702 (2018)