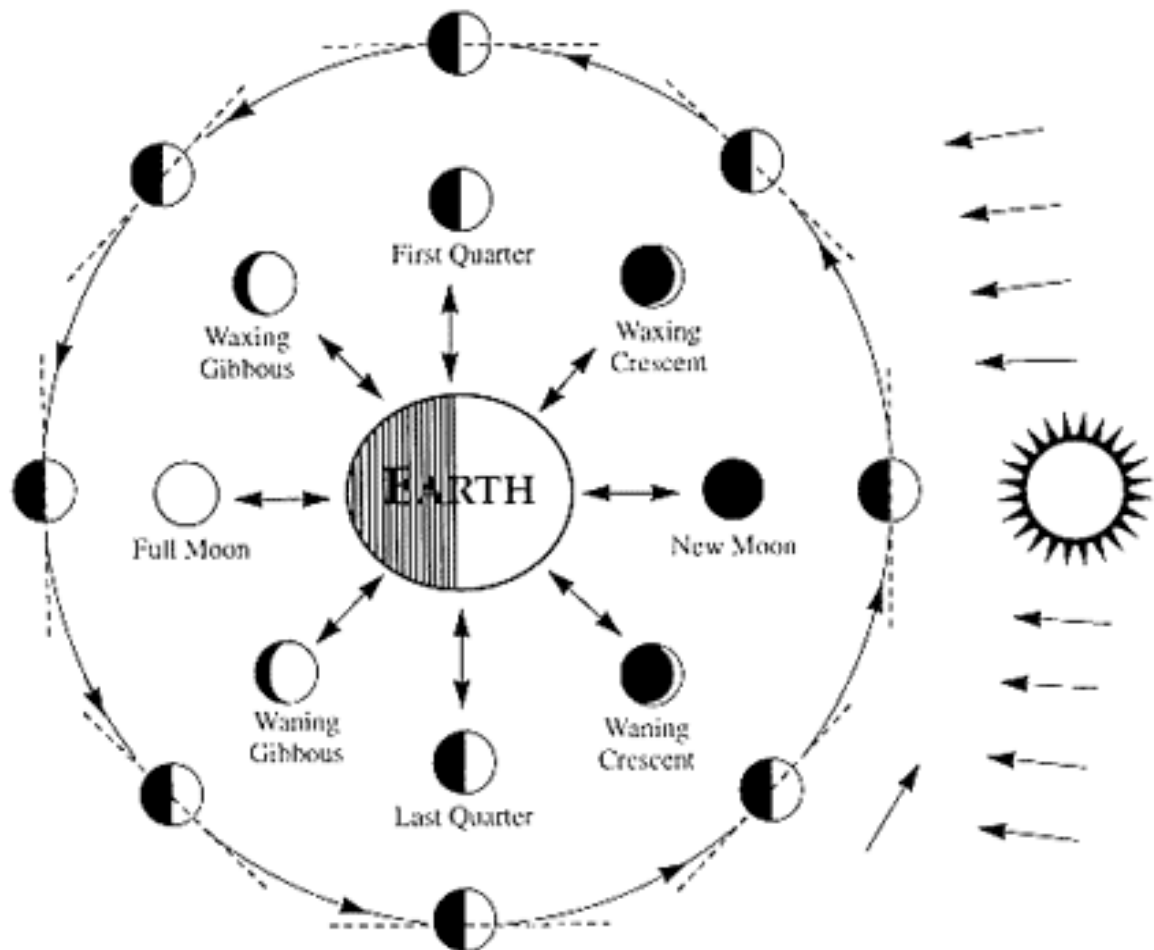


MEKANIKA BENDA LANGIT



Dr. Eng. Rinto Anugraha, M.Si.

Jurusan Fisika Fakultas MIPA

Universitas Gadjah Mada

2012



Kata Pengantar

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh. Alhamdulillah, akhirnya buku teks untuk matakuliah Mekanika Benda Langit yang diajarkan di program Studi S1 dan S2 Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Gadjah Mada dapat diselesaikan. Buku ini sebenarnya merupakan kumpulan tulisan penulis di internet tentang ilmu hisab / ilmu falak, disertai dengan beberapa tambahan. Mengingat pentingnya ilmu tersebut, maka penulis memberanikan diri untuk mengusulkan dan mengampu matakuliah yang diberi nama Mekanika Benda Langit, dan sudah mulai berjalan sejak semester ganjil Tahun Ajaran 2011/2012.

Dalam buku ini dijelaskan tentang waktu dan kalender, khususnya kalender Gregorian (Masehi) dan kalender Islam, serta konversi antara keduanya. Kemudian disajikan pula pembahasan tentang bumi, koordinat bola, serta transformasi koordinat antara ekliptika geosentrik, ekuator geosentrik dan horisontal. Dibahas pula jarak antara dua tempat di permukaan bumi serta arah kiblat yang merupakan sudut azimuth dari satu tempat ke tempat kedua yang terletak di Ka'bah, Saudi Arabia. Selanjutnya perhitungan posisi matahari dan bulan diberikan secara gamblang dengan beberapa model algoritma. Setelah pembahasan tentang fase-fase bulan, gerhana bulan dan matahari akhirnya ditutup dengan kapita selekta tentang kalender 2012 dan software Accurate Times.

Penulis berharap semoga buku teks ini dapat bermanfaat bagi mahasiswa, pecinta ilmu hisab dan masyarakat umum serta mendatangkan manfaat bagi penulis di dunia dan akhirat. Di sisi lain, penulis menyadari bahwa di dalam buku ini masih terdapat kekurangan, salah ketik atau kesalahan lainnya, sehingga koreksi dan masukan dari pembaca akan diterima dengan tangan terbuka. Terima kasih.

Yogyakarta, 23 Februari 2012 (1 Rabi'ul Akhir 1433 H)

Dr. Eng. Rinto Anugraha, M.Si.
Lab Fisika Material dan Instrumentasi
Jurusan Fisika FMIPA UGM Yogyakarta

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	iv
Pendahuluan	1
BAB I Waktu dan Kalender	6
1.1. Kalender Julian, Kalender Gregorian dan Julian Day	6
1.2. Kalender Islam Aritmetika	12
1.3. Macam–macam Waktu	19
1.3.1. Universal Time dan Dynamical Time	20
1.3.2. Macam–macam hari (day)	20
1.3.3. Greenwich Sidereal Time	21
1.3.4. Local Sidereal Time (LST)	23
1.3.5. Macam–macam bulan (month)	24
1.3.6. Macam–macam tahun (year)	25
BAB II. Bumi dan Koordinat Bola	26
2.1. Bumi	26
2.1.1. Jarak dari permukaan bumi ke pusat bumi	28
2.1.2. Jarak Dua Tempat Di Permukaan Bumi	30
2.2. Segitiga Bola dan Arah Kiblat	33
2.2.1. Geometri bola	33
2.2.2. Rumus segitiga bola dan arah kiblat	35
2.2.3. Hari Meluruskan Arah Kiblat	41
2.3. Sistem Koordinat	47
2.3.1. Sistem Koordinat 2 dan 3 dimensi	47
2.3.2. Sistem Koordinat Ekliptika Heliosentrik	50
2.3.3. Sistem Koordinat Ekliptika Geosentrik	51
2.3.4. Sistem Koordinat Ekuator Geosentrik	52
2.3.5. Sistem Koordinat Horisontal	53
2.4. Transformasi Sistem Koordinat	55
2.4.1. Transformasi Koordinat dari Ekliptika Geosentrik (Lambda, Beta) ke Ekuator Geosentrik (Alpha, Delta)	56
2.4.2. Transformasi koordinat dari Ekuator Geosentrik (Alpha,	

	Delta) ke Ekliptika Geosentrik (Λ , β)	58
2.4.3.	Transformasi koordinat dari Ekuator Geosentrik (α , δ) ke Horison (h , A)	59
2.4.4.	Transformasi koordinat dari Horison (h , A) ke Ekuator Geosentrik (α , δ)	62
BAB III	Posisi Matahari	63
3.1.	Rumus Menentukan Posisi Matahari	63
3.2.	Posisi Matahari Algoritma Meeus	68
3.2.1.	Koreksi bujur ekliptika	69
3.2.2.	Koreksi Lintang ekliptika	71
3.2.3.	Koreksi Jarak Bumi–Matahari	71
3.3.	Equation of Time	75
3.3.1.	Rumus equation of time	78
3.3.2.	Equation of Time dan Waktu Shalat	80
3.4.	Waktu Shalat	81
3.4.1.	Cara Menghitung Waktu Sholat	88
3.4.2.	Rumus Waktu Sholat	90
BAB IV	Posisi Bulan	98
4.1.	Algoritma Brown	98
4.1.1.	Bujur Ekliptika Bulan	99
4.1.2.	Lintang Ekliptika Bulan	100
4.1.3.	Jarak Bumi–Bulan	100
4.2.	Algoritma Meeus	103
4.2.1.	Koreksi bujur ekliptika	104
4.2.2.	Koreksi lintang ekliptika	105
4.2.3.	Koreksi jarak bumi–bulan	106
4.2.4.	Posisi bulan menurut algoritma Meeus	107
BAB V	Fase-fase bulan	112
5.1.	Fase-fase bulan menggunakan algoritma Meeus	114
5.2.	Fase bulan menggunakan tabel Meeus	120
BAB VI	Gerhana	126
6.1.	Fakta-fakta tentang gerhana	128

6.2.	Gerhana Bulan	134
6.3.	Data–Data Gerhana Bulan Total 10 Desember 2011 menurut Algoritma Meeus, NASA dan Bao Lin Liu – Alan D. Fiala	136
6.3.1.	Algoritma Jean Meeus	136
6.3.2.	Data NASA	139
6.3.3.	Buku Canon of Lunar Eclipse 1500 BC to AD 3000 (Bao Lin Liu dan Alan D. Fiala)	139
6.3.4.	Ilustrasi NASA Gerhana Bulan Total 10 Desember 2011	139
6.4.	Gerhana matahari 22 Juli 2009	140
6.4.1.	Gerhana matahari menggunakan algoritma Meeus	143
BAB VII	Kapita Selekta	148
7.1	Kalender tahun 2012	148
7.1.1.	Hari–hari besar dan awal bulan Islam 1433 H dan 1434 H	149
7.1.2.	Hari–hari besar non–Islam	153
7.1.3.	Ekuinoks dan Solstice	154
7.1.4.	Gerhana dan transit	154
7.1.5.	Hari Meluruskan Arah Kiblat	155
7.2.	Mengenal software Accurate Times	156
	Referensi	166
	Lampiran 1	167
	Lampiran 2	173
	Lampiran 3	177
	Lampiran 4	194
	Biodata	200

PENDAHULUAN

Islam sebagai agama Allah SWT sangat menekankan akan pentingnya ilmu pengetahuan. Hal ini dapat dibaca dari ayat pertama yang turun kepada Rasulullah SAW yang berbunyi “Iqra’”, banyaknya ayat yang mengisyaratkan tentang ilmu pengetahuan di alam semesta, pujian dari Allah SWT kepada orang-orang yang berilmu, hingga banyaknya ilmuwan muslim di setiap generasi yang turut andil menyumbang peradaban bagi umat manusia.

Salah satu ilmu pengetahuan yang sangat penting bagi ummat Islam adalah ilmu hisab atau ilmu falak. Ilmu hisab ini sangat berkaitan dengan ibadah penting yaitu shalat, puasa dan haji. Dengan ilmu hisab, waktu shalat fardhu dapat ditentukan dengan memahami pergerakan matahari. Sementara pergerakan matahari itu sendiri telah ditentukan posisinya. Allah SWT berfirman

إِنَّ الصَّلَاةَ كَانَتْ عَلَى الْمُؤْمِنِينَ كِتَابًا مَوْفُوتًا

“Sesungguhnya shalat itu adalah fardhu yang ditentukan waktunya atas orang-orang yang beriman.” (An-Nisa: 103)

Penentuan masuknya bulan Ramadhan, Syawal dan Dzulhijjah sebagai patokan untuk ibadah puasa dan haji dapat diprediksi dengan memahami pergerakan matahari dan bulan. Selain itu, dengan sedikit memahami ilmu matematika bola, arah Ka’bah yang menjadi qiblat shalat dapat pula diketahui dari segala posisi di bumi. Mengingat pentingnya ilmu hisab, maka ilmu ini sangat perlu dipelajari oleh ummat Islam.

Secara bahasa, kata “hisab” berasal dari *haasaba – yuhaasibu – muhaasabatan – hisaaban*. Kata hisab berarti perhitungan. Ilmu hisab memang bermakna ilmu untuk menghitung posisi benda langit (matahari, bulan, planet-planet dan lain-lain). Yang memiliki akar kata yang sama dengan kata “hisab” adalah kata “husban” yang berarti perhitungan. Kata “husban” disebutkan dalam Al Qur’an untuk menyatakan bahwa pergerakan matahari dan bulan itu dapat dihitung dengan ketelitian sangat tinggi.

الشَّمْسُ وَالْقَمَرُ بِحُسْبَانٍ

“Matahari dan bulan (beredar) menurut perhitungan.” (Ar-Rahman:5)

Sementara itu kata “falak” berarti garis edar, sebagaimana disebutkan dalam firman Allah SWT:

لَا الشَّمْسُ يَنْبَغِي لَهَا أَنْ تُدْرِكَ الْقَمَرَ وَلَا اللَّيْلُ سَابِقُ النَّهَارِ وَكُلٌّ فِي فَلَكٍ يَسْبَحُونَ

“Tidaklah mungkin bagi matahari mendapatkan bulan dan malampun tidak dapat mendahului siang. Dan masing-masing beredar pada garis edarnya.” (Yaasin:40).

Dalam Al Quran, banyak dijumpai ayat-ayat yang berhubungan dengan fenomena alam. Setiap hari, matahari terbit di horizon timur, kemudian perlahan mulai meninggi hingga transit saat Zhuhur dan akhirnya terbenam di horizon barat. Akibat perubahan ketinggian matahari, panjang bayangan benda juga berubah-ubah. Fenomena ini diungkap dalam Surat Al Furqan:45.

أَلَمْ تَرَ إِلَىٰ رَبِّكَ كَيْفَ مَدَّ الظِّلَّ وَلَوْ شَاءَ لَجَعَلَهُ سَاكِنًا ثُمَّ جَعَلْنَا الشَّمْسُ عَلَيْهِ دَلِيلًا

“Apakah kamu tidak memperhatikan (penciptaan) Tuhanmu, bagaimana Dia memanjangkan (dan memendekkan) bayang-bayang; dan kalau dia menghendaki niscaya Dia menjadikan tetap bayang-bayang itu, kemudian Kami jadikan matahari sebagai petunjuk atas bayang-bayang itu.”

Ilmu ini memiliki kaitan erat dengan astronomi. Namun secara umum ilmu hisab hanya mengambil bagian kecil dari astronomi yaitu mempelajari pergerakan matahari, bulan, bumi serta planet-planet lain di tata surya (*solar system*). Dengan mempelajari ilmu hisab, kita akan dapat menentukan arah qiblat, waktu sholat, serta posisi matahari dan bulan setiap saat. Selain itu, kalender Islam dapat pula dihitung, sehingga masuknya bulan-bulan penting dalam Islam seperti Muharram, Ramadhan, Syawal dan Dzulhijjah

dapat diperkirakan. Dengan ilmu hisab, berbagai peristiwa alam yang menakjubkan seperti gerhana matahari, gerhana bulan, transit Merkurius dan Venus di matahari dapat pula dihitung dengan akurasi tinggi. Dan masih banyak lagi fenomena yang dapat ditelusuri melalui ilmu hisab.

Dengan mempelajari ilmu hisab, kita akan menemui sejumlah pertanyaan, diantaranya:

1. Kemanakah arah kiblat shalat jika kita berada di tempat seperti rumah kita sendiri?
2. Bagaimanakah cara menentukan selisih hari antara 2 tanggal dengan cepat, misalnya antara tanggal 16 Juli 622 M (yang bertepatan dengan tanggal 1 Muharram 1 H) dengan tanggal 17 Agustus 1945?
3. Bagaimana menentukan konversi antara penanggalan Masehi dan Hijriah?
4. Bagaimana cara menentukan waktu shalat di suatu tempat pada hari tertentu, misalnya di tempat berkoordinat 20 LU (Lintang Utara) dan 12 BT (Bujur Timur) pada tanggal 20-12-2012?
5. Berapakah ketinggian bulan tepat saat matahari terbenam pada tanggal 31 Desember 2012 dilihat dari atas Monas dengan ketinggian sekitar 100 m dari permukaan laut?
6. Benarkah pada tanggal 21 Desember 2012 saat matahari ada di atas horison, di wilayah yang terletak di sebelah utara 22 derajat lintang utara (seperti Jepang, Eropa, Rusia dll), bayangan benda selalu lebih panjang daripada tinggi benda?
7. Bagaimana cara menentukan lintasan di permukaan bumi yang mengalami gerhana matahari total (*total solar eclipse*) pada tanggal 22 Juli 2009? Kapanakah gerhana tersebut mulai dan berakhir? Berapakah lama waktu, dan lebar daerah yang terkena gerhana?
8. Berapakah lama waktu gerhana bulan total (*total lunar eclipse*) pada tanggal 21 Desember 2010?
9. Kapanakah tepat terjadi bulan baru, seperempat pertama, bulan purnama dan seperempat akhir bulan pada Maret 2012?
10. Sebagai tambahan, dimanakah posisi seluruh planet di tata surya dilihat dari Jakarta pada tepat tengah malam setelah masuk tanggal 1 Ramadhan 1430 H?

Beberapa pertanyaan di atas barangkali dapat dijawab dengan menggunakan software-software yang bertebaran atau merujuk pada data di website astronomi. Namun ada beberapa catatan:

- Software-software itu tentu disusun dengan rumus-rumus matematika/astronomi. Rumus-rumus itu tentu saja “tersembunyi” di balik software tersebut. Kita sebagai pengguna, hanya dapat memberikan input (masukan) dan kemudian keluar outputnya. Bagaimana prosesnya, dan bagaimana rumus itu sendiri, kita seringkali tidak mengetahui. Mungkin saja sebagian kita sudah cukup puas dengan hasil keluarannya. Namun khususnya bagi penulis, adalah penting untuk mengetahui prosesnya. Bagaimanapun juga, mengetahui rumus dasarnya adalah penting untuk memahami ilmu hisab ini secara utuh.
- Rumus-rumus matematika/astronomi yang terdapat dalam ilmu hisab ini, menurut hemat penulis, bukanlah rumus yang sulit. Hanya dibutuhkan pengetahuan dasar matematika seperti aljabar biasa (tambah, kurang, kali, bagi, pangkat, akar), trigonometri (seperti sinus, cosinus, tangen serta inversinya). Memang beberapa rumus agak panjang. Bahkan jika kita ingin menentukan penghitungan dengan akurasi sangat tinggi, terkadang dibutuhkan penjumlahan (serta perkalian) yang melibatkan ribuan suku. Namun, jangan khawatir, ribuan suku atau misalnya hanya sepuluh suku, sama saja jika kita mengerti.
- Saya berharap agar pembaca dapat memahami ilmu hisab secara lebih utuh, tidak hanya mengerti secara populer saja. Karena itu dalam buku ini tidak hanya pengetahuan populer saja, namun detail rumus-rumus dan angka-angkanya juga diberikan. Untuk memudahkan pembaca, rumus-rumus dan angka-angka perhitungan banyak yang disusun dalam bentuk file Microsoft Excel. Format ini sengaja dipilih, karena mayoritas dianggap sudah familiar. Dalam file Excel tersebut, pembaca tinggal mengisi tanggal/koordinat atau data penting lainnya, dan seketika hasilnya dapat diperoleh. Keuntungannya, rumus-rumus dan angka-angka perhitungan dapat dilihat langsung, dipelajari dan diverifikasi. Rumus juga dapat dimodifikasi, atau mengabaikan angka-angka kecil yang tak terlalu signifikan. Tak tertutup kemungkinan, ada diantara pembaca yang ingin membuat software hisab dengan memanfaatkan data-data

dalam file Excel tersebut.

Memang buku ini belum mampu menjawab seluruh pertanyaan di atas. Namun demikian, saya berharap buku ini dapat memberikan pencerahan bagi ummat, sehingga mampu berfikir cerdas dalam memahami persoalan seputar falak. Sebab hingga saat ini, ummat Islam masih disibukkan dengan perbedaan dalam menentukan kalender Islam. Tak jarang, perbedaan ini membuahkan kesalahpahaman dan perpecahan. Kita turut prihatin, jika sebagian ummat Islam belum dewasa berfikir dalam memahami perbedaan, termasuk dalam soal awal bulan. Menurut hemat kami, hingga saat ini perbedaan pendapat itu nampaknya masih menjadi sebuah keniscayaan, sehingga dibutuhkan landasan keilmuan yang memadai untuk memahaminya. Disinilah ruang yang disediakan oleh penulis untuk mengisinya. Jika ummat sama-sama memiliki landasan keilmuan yang kokoh, perbedaan sudut pandang dan metode itu bukan tidak mungkin untuk didialogkan sehingga mencapai titik temu. Dengan demikian, energi ummat dapat disalurkan untuk hal-hal yang jauh lebih bermanfaat.

Bagi pembaca yang ingin mendapatkan file Excel buatan saya, silakan diunduh dari

<http://rinto.staff.ugm.ac.id> atau

<http://www.4shared.com/folder/aEPi03c9/ilmu-hisab.html>

Bab I

WAKTU DAN KALENDER

1.1. Kalender Julian, Kalender Gregorian dan Julian Day

Ada banyak sistem penanggalan (kalender) di dunia ini. Diantaranya, kalender Islam, kalender Julian, kalender Gregorian, kalender Yahudi, kalender Hindu, kalender Persia, kalender China dan lain-lain. Kalender Islam sangat penting untuk diketahui, karena hal itu menjadi dasar dan patokan dalam melaksanakan ibadah puasa Ramadhan dan sunnah, zakat fitrah, shalat ied dan haji. Sementara itu kalender Gregorian (kalender Masehi) adalah kalender yang digunakan sehari-hari saat ini. Kalender Julian, meskipun sudah 500 tahun lebih tidak digunakan lagi, tetap penting untuk diketahui, setidaknya sebagai penghubung dengan kalender Islam di masa lampau. Misalnya, hubungan antara kalender Islam dengan Julian terhadap peristiwa-peristiwa di masa kenabian Muhammad SAW.

Pada kalender Julian, satu tahun secara rata-rata didefinisikan sebagai 365,25 hari. Angka 365,25 dapat dinyatakan dalam bentuk $(3 \times 365 + 1 \times 366)/4$. Karena itu dalam kalender Julian, terdapat tahun kabisat setiap 4 tahun. Kalender Julian berlaku sampai dengan hari Kamis 4 Oktober 1582 M. Paus Gregorius mengubah kalender Julian dengan menetapkan bahwa tanggal setelah Kamis 4 Oktober 1582 M adalah Jumat 15 Oktober 1582 M. Jadi, tidak ada hari dan tanggal 5 sampai dengan 14 Oktober 1582. Sejak 15 Oktober 1582 M itulah berlaku kalender Gregorian.

Banyaknya hari dalam tahun kabisat (leap year) adalah 366 hari, sedangkan dalam tahun biasa (common year) adalah 365 hari. Pada kalender Julian, tahun kabisat dimana bulan Februari terdiri dari 29 hari dirumuskan sebagai tahun yang habis dibagi 4. Contoh tahun kabisat pada kalender Julian adalah tahun 4, 100, 400. Untuk tahun negatif, ada perbedaan antara sejarawan dan astronom dalam penomoran tahun. Bagi sejarawan, hitungan mundur tahun sebelum tahun 1 adalah tahun 1 SM, 2 SM, 3 SM dan

seterusnya. Sementara menurut astronom hitungan mundur tahun sebelum tahun 1 adalah tahun 0, -1, -2 dan seterusnya. Sebagai contoh, tahun -45 sama dengan tahun 46 SM. Adapun tahun kabisat (leap year) yang habis dibagi 4 untuk tahun negatif dirumuskan secara astronomis. Jadi yang termasuk tahun kabisat adalah tahun 8, 4, 0, -4, -8, -12 dan seterusnya.

Dalam kalender Gregorian, definisi tahun kabisat yang habis dibagi 4 sedikit mengalami perubahan. Jika suatu tahun habis dibagi 4 tetapi tidak habis dibagi 100, termasuk tahun kabisat. Contohnya, tahun 1972, 2468 termasuk tahun kabisat. Jika suatu tahun habis 100, tetapi tidak habis dibagi 400, maka tahun tersebut bukan tahun kabisat. Jika habis dibagi 400, termasuk tahun kabisat. Jadi, tahun 1700, 1800, 1900 bukan tahun kabisat, sedangkan tahun 1600, 2000, 2400 termasuk tahun kabisat.

Terjadinya perubahan kalender Julian menjadi kalender Gregorian disebabkan adanya selisih antara panjang satu tahun dalam kalender Julian dengan panjang rata-rata tahun tropis (*tropical year*). Satu tahun kalender Julian adalah 365,2500 hari. Sementara panjang rata-rata tahun tropis adalah 365,2422. Berarti dalam satu tahun terdapat selisih 0,0078 hari atau hanya sekitar 11 menit. Namun, selisih ini akan menjadi satu hari dalam jangka 128 tahun. Jadi dalam ratusan atau ribuan tahun, selisih ini menjadi signifikan hingga beberapa hari. Jika dihitung dari tahun 325 M (saat Konsili Nicaea menetapkan musim semi atau vernal ekuinoks jatuh pada 21 Maret) sampai dengan tahun 1582, terdapat selisih sebanyak $(1582 - 325) \times 0,0078 \text{ hari} = 9,8 \text{ hari}$ atau hampir 10 hari. Dan ini dibuktikan dengan musim semi pada tahun 1582 M, dimana vernal ekuinoks jatuh pada tanggal 11 Maret, bukan sekitar tanggal 21 Maret seperti biasanya. Karena itulah, saat kalender Gregorian ditetapkan, tanggal melompat sebanyak 10 hari. Tanggal setelah 4 Oktober 1582 bukan 5 Oktober tetapi 15 Oktober 1582.

Dalam kalender Gregorian, panjang rata-rata satu tahun adalah 365,2425 hari yang mana cukup dekat dengan rata-rata tahun tropis sebesar 365,2422 hari. Selisihnya dalam setahun adalah 0,0003 hari, yang berarti akan terjadi perbedaan satu hari setelah sekitar 3300 tahun. Sebagai perbandingan, dalam kalender Islam yang menggunakan peredaran bulan, rata-rata satu bulan sinodik adalah 29,530589 hari. Dalam kalender

Islam secara aritmetik (bukan hasil observasi/rukyat), dalam 30 tahun (360 bulan) terdapat 11 tahun kabisat (355 hari) dan 19 tahun biasa (354 hari). Rata-rata hari dalam satu bulan adalah $(11 \times 355 + 19 \times 354)/360 = 29,530556$ hari. Dengan demikian dalam satu bulan, selisih antara satu bulan sinodik dengan satu bulan aritmetik adalah 0,000033 hari. Selisih ini akan menjadi satu hari setelah kira-kira 30000 bulan atau 2500 tahun.

Adanya perubahan dari kalender Julian menjadi Gregorian membuat kesulitan tersendiri untuk membandingkan peristiwa astronomis yang terpisah dalam jangka waktu cukup lama. Untuk mengatasi masalah ini, diperkenalkan Julian Day. Julian Day (JD) didefinisikan sebagai banyaknya hari yang telah dilalui sejak hari Senin tanggal 1 Januari tahun 4713 SM (sebelum Masehi) pada pertengahan hari atau pukul 12:00:00 UT (Universal Time) atau GMT. Perlu diingat, tahun 4713 SM tersebut sama dengan tahun -4712.

- JD 0 = 1 Januari -4712 12:00:00 UT = 1,5 Januari -4712 (karena pukul 12 menunjukkan 0,5 hari)
- JD 0,5 = 2 Januari -4712 00:00:00 UT
- JD 1 = 2,5 Januari -4712. Dan seterusnya
- 4 Oktober 1582 M = JD 2299159,5
- 15 Oktober 1582 M = JD 2299160,5

Jika JD berkaitan dengan waktu yang dihitung menurut Dynamical Time (TD, bukan DT) atau Ephemeris Time, biasanya digunakan istilah Julian Ephemeris Day (JDE, bukan JED). Sebagai contoh

- 17 Agustus 1945 UT = JD 2431684,5
- 27 September 1974 TD = JDE 2442317,5

Pemahaman terhadap Julian Day sangat penting. Julian Day menjadi syarat untuk menghitung posisi benda bulan, matahari dan planet-planet yang selanjutnya dipakai untuk menentukan bulan baru, waktu shalat dan lain-lain. Julian Day juga menjadi dasar untuk menentukan fenomena alam seperti menentukan kemiringan orbit rotasi bumi, menghitung kapan terjadinya ekuinoks dan solstice, dan sebagainya.

Metode untuk menghitung Julian Day untuk tanggal (D) – bulan (M) – tahun (Y) tertentu disajikan berikut ini.

- Misalnya tahun adalah Y (Y dapat pula negatif, asalkan tidak lebih kecil dari – 4712).
- Nomor bulan adalah M, dimana M = 1 untuk Januari, M = 2 untuk Februari dan seterusnya, hingga M = 12 untuk Desember.
- Nomor hari/tanggal adalah D. D dapat pula berbentuk pecahan. Namun perlu diperhatikan bahwa nilai maksimal D harus menyesuaikan dengan bulan M. Sebagai contoh, jika M = 4 (April), maka D tidak mungkin sama dengan 31.
- Jika $M > 2$, M dan Y tidak berubah. Jika M = 1 atau 2, ganti M menjadi M + 12 dan Y menjadi Y – 1. Dengan kata lain, bulan Januari dan Februari dapat dianggap sebagai bulan ke 13 dan ke 14 dari tahun sebelumnya.
- Untuk kalender Gregorian, hitung $A = \text{INT}(Y/100)$ dan $B = 2 + \text{INT}(A/4) - A$.
- Untuk kalender Julian, A tidak perlu dihitung, sedangkan B = 0.
- Julian Day dirumuskan sebagai $JD = 1720994,5 + \text{INT}(365,25 \times Y) + \text{INT}(30,6001(M + 1)) + B + D$.

Disini, INT adalah lambang di Excel untuk menyatakan integer (bilangan bulat dari suatu bilangan). Contoh $\text{INT}(12) = 12$. $\text{INT}(3,57) = 3$. Untuk bilangan negatif, $\text{INT}(-4,7) = -5$, bukan –4. $\text{INT}(-25,79) = -26$. Sementara itu tanda * menyatakan perkalian.

Metode menentukan JD di atas dapat digunakan untuk tahun negatif, tetapi tidak untuk Julian Day negatif. Karena itu nilai Y tidak boleh lebih kecil daripada –4712.

Soal : Hitunglah Julian Day untuk hari kemerdekaan RI tanggal 17 Agustus 1945.

Jawab :

- $D = 17$. $M = 8$. $Y = 1945$.
- $A = \text{INT}(1945/100) = \text{INT}(19,45) = 19$.
- $B = 2 + \text{INT}(19/4) - 19 = 2 + 4 - 19 = -13$.
- $JD = 1720994,5 + \text{INT}(365,25 \times 1945) + \text{INT}(30,6001 \times 9) + (-13) + 17 = 2431684,5$.

- 17 Agustus 1945 = JD 2431684,5.

Soal : Hitunglah Julian Day saat terjadi Nabi Muhammad SAW melakukan puasa pertama pada tanggal 26 Februari 624 M.

Jawab :

- Karena $M = 2$, maka M diubah menjadi 14 dan Y menjadi 623.
- Karena termasuk kalendar Julian, $B = 0$.
- Jadi $JD = 1720994,5 + \text{INT}(365,25 \times 623) + \text{INT}(30,6001 \times 15) + 0 + 26 = 1949029,5$.
- 26 Februari 624 M = JD 1949029,5.

Waktu dalam jam, menit dan detik dapat pula dimasukkan ke dalam pecahan hari. Karena 1 hari = 24 jam, 1 jam = 60 menit dan 1 menit = 60 detik, maka Pecahan hari = $(\text{jam} \times 3600 + \text{menit} \times 60 + \text{detik})/86400$.

Soal : Bulan baru (newmoon) terjadi pada hari Sabtu, 1 Januari 2962 SM pukul 19:47:04 TD. Carilah JDE.

Jawab :

- Dari data asal diketahui $M = 1$ dan $Y = -2961$.
- Karena itu M berubah menjadi 13 dan $Y = -2962$.
- $D = 1 + (19 \times 3600 + 47 \times 60 + 4)/86400 = 1,82435$. $B = 0$.
- Jadi $JDE = 1720994,5 + \text{INT}(365,25 \times -2962) + \text{INT}(30,6001 \times 14) + 0 + 1,82435 = 1720994,5 - 1081871 + 428 + 1,82435 = 639553,32435$.
- 1 Januari 2962 SM pukul 19:47:04 TD = JDE 639553,32435.

Nama hari dapat ditentukan dengan mudah dengan menggunakan JD. Perlu diketahui, pergantian hari terjadi pada pukul 00:00:00 dimana JD mengandung angka xxxxxxxx,5. Tambahkan JD dengan 1,5, lalu dibagi 7. Sisanya ditambah 1 menunjukkan nomor hari, dimana nomor hari = 1 adalah hari Ahad, nomor hari 2 hari Senin, dan seterusnya hingga nomor hari 7 menunjukkan hari Sabtu.

Soal : Tentukan hari apakah tanggal 17 Agustus 1945.

Jawab :

- JD untuk tanggal 17 Agustus 1945 adalah 2431684,5.
- $JD + 1,5 = 2431686$, yang selanjutnya jika dibagi 7 akan bersisa 5.
- Nomor hari = $5 + 1 = 6$.
- 17 Agustus 1945 adalah hari Jumat.

JD dapat pula digunakan untuk menentukan selang waktu antara dua tanggal.

Soal : Tentukan selang waktu antara dua gerhana matahari total yang terjadi pada tanggal 11 Juli 2010 dan 13 Nopember 2012.

Jawab :

- JD untuk kedua tanggal tersebut masing–masing adalah 2455388,5 dan 2456244,5.
- Selisih antara tanggal 11 Juli 2010 dan 13 Nopember 2012 adalah 856 hari.

Jika paparan di atas adalah mengubah tanggal menjadi JD, maka kini akan disajikan sebaliknya. Metode untuk mengubah JD menjadi tanggal adalah sebagai berikut.

- $JD1 = JD + 0,5$.
- $Z = \text{INT}(JD1)$.
- $F = JD1 - Z$.
- Jika $Z < 2299161$, maka $A = Z$.
- Adapun jika $Z \geq 2299161$, hitunglah $AA = \text{INT}((Z - 1867216,25)/36524,25)$ dan $A = Z + 1 + AA - \text{INT}(AA/4)$.
- $B = A + 1524$.
- $C = \text{INT}((B - 122,1)/365,25)$.
- $D = \text{INT}(365,25 * C)$.
- $E = \text{INT}((B - D)/30,6001)$.
- Tanggal (termasuk juga dalam bentuk desimal) dapat dihitung dari $B - D - \text{INT}(30,6001 * E) + F$.
- Bulan M dapat dihitung sebagai berikut. Jika $E = 14$ atau 15 , maka $M = E - 13$. Jika $E < 14$, maka $M = E - 1$.
- Tahun Y dapat dihitung sebagai berikut. Jika $M = 1$ atau 2 , maka $Y = C - 4715$. Jika $M > 2$, maka $Y = C - 4716$.

Soal : Tentukan tanggal bulan dan tahun untuk JD = 2457447,9505.

Jawab :

- $JD1 = 2457448,4505$. $Z = 2457448$ dan $F = 0,4505$.
- Karena $Z > 2299161$ maka $AA = \text{INT}((2457448 - 1867216,25)/36524,25) = 16$.
- $A = 2457448 + 1 + 16 - \text{INT}(16/4) = 2457461$.
- $B = 2458985$.
- $C = \text{INT}((2458985 - 122.1)/365,25) = 6731$.
- $D = \text{INT}(365,25 \times 6731) = 2458497$.
- $E = \text{INT}((2458985 - 2458497)/30,6001) = 15$.
- Tanggal = $2458985 - 2458497 - \text{INT}(30,6001 \times 15) + 0,4505 = 29,4505$.
- Angka desimal pada tanggal tersebut adalah 0,4505 hari yang jika dikonversikan ke dalam waktu menjadi pukul 10:48:43,2.
- Karena $E = 15$, maka Bulan $M = 15 - 13 = 2$ atau Februari.
- Karena $M = 2$, maka Tahun $Y = 6731 - 4715 = 2016$.
- Jadi JD 2457447,9505 = 29 Februari 2016 pukul 10:48:43,2.

1.2. Kalender Islam Aritmetika

Di atas telah dijelaskan kalender Julian, kalender Gregorian serta Julian Day (JD). Sebagai review singkat, kalender Julian digunakan sampai dengan hari Kamis 4 Oktober 1582 M. Satu hari sesudahnya adalah Jumat 15 Oktober 1582 M dimana yang berlaku adalah kalender Gregorian. Tidak ada tanggal 5 hingga 14 Oktober 1582. Disini akan menjelaskan tentang kalender Islam, serta metode konversi antara kalender Islam dengan kalender Masehi (Julian dan Gregorian).

Perlu dicatat bahwa kalender Islam yang disajikan disini adalah menurut perhitungan matematika/aritmetika, bukan berdasarkan observasi/rukyat. Karena itu, mungkin saja terjadi perbedaan satu hari, antara kalender Islam secara aritmetika, dengan kalender Islam yang disusun berdasarkan observasi hilal. Penjelasan akan diberikan di bawah ini.

Kalender Islam adalah kalender yang disusun berdasarkan pergerakan bulan. Kalender Islam sering disebut kalender Qamariyah (*lunar calendar*).

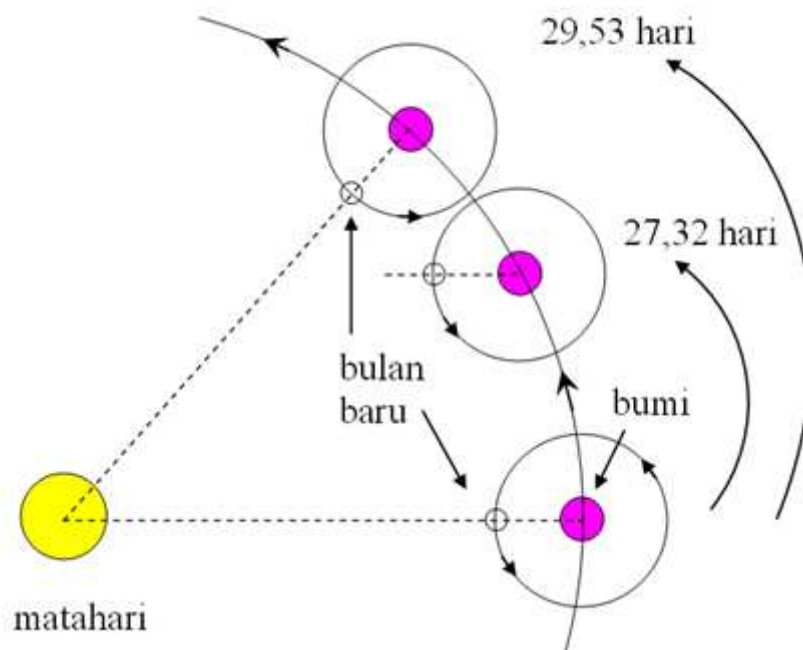
Gerakan bulan sekurangnya dibagi menjadi tiga:

1. Rotasi bulan terhadap sumbunya. Satu kali putaran memakan waktu 27,321582 hari = 27 hari 7 jam 43,1 menit.
2. Gerak bulan mengitari bumi. Satu kali putaran mengitari bumi dengan kerangka acuan (pengamat) bintang yang jauh yang disebut satu bulan sideris (*sidereal month*) memakan waktu 27.321582 hari = 27 hari 7 jam 43,1 menit. Satu bulan sideris ini tepat sama dengan satu kali rotasi bulan terhadap sumbunya, sehingga kita selalu melihat wajah bulan yang sama. (Namun demikian terdapat fenomena libration, yaitu fenomena penampakan sebagian permukaan bulan yang lain). Ketika bulan bergerak mengitari bumi, bumi juga bergerak mengitari matahari. Akibatnya dibutuhkan tambahan waktu, agar bulan tepat satu kali putaran mengitari bumi dengan kerangka acuan (pengamat) matahari. Satu kali putaran mengitari bumi dengan kerangka acuan (pengamat) matahari yang disebut satu bulan sinodik memakan waktu 29,530589 hari = 29 hari 12 jam 44 menit 3 detik. Lihat Gambar 1.1.
3. Gerak bulan mengitari matahari. Bumi mengitari matahari dalam lintasan elips, demikian juga lintasan bulan mengitari bumi berbentuk elips. Jarak bumi – matahari jauh lebih besar daripada jarak bulan – bumi. Dengan menggabungkan keduanya, bulan mengitari matahari dalam lintasan yang berbentuk elips yang bermodulasi/berpresisi. Lihat Gambar 1.2. Karena gaya gravitasi antara bulan–matahari jauh lebih besar daripada gravitasi antara bulan–bumi, dengan kata lain, sebenarnya bulan bergerak mengitari matahari karena gravitasi antara bulan–matahari, sedangkan lintasan bulan yang bermodulasi disebabkan oleh gravitasi bulan–bumi.

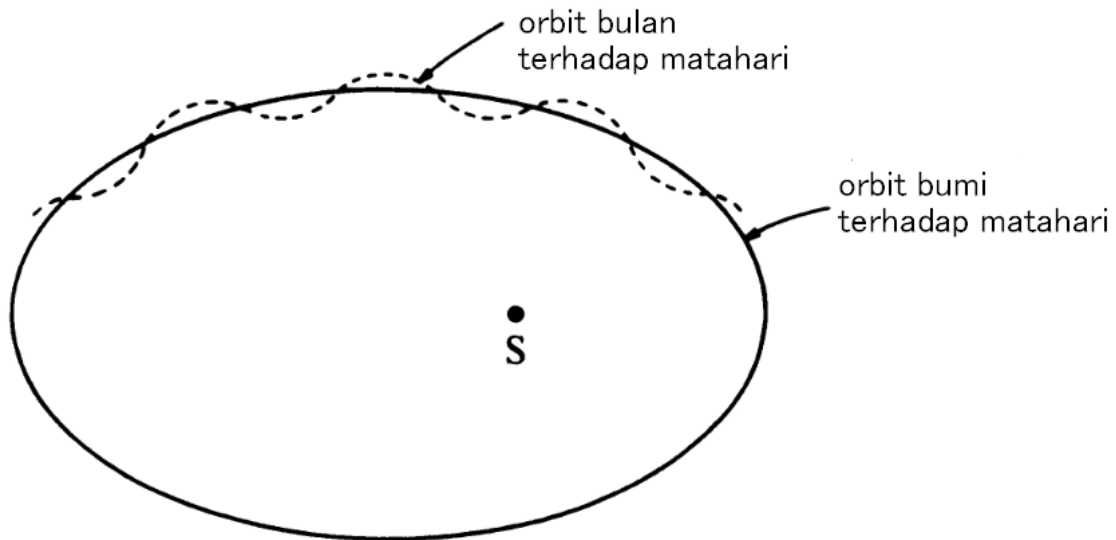
Kalender Islam disusun berdasarkan lama rata–rata satu bulan sinodik, yaitu 29,530589 hari atau 29 hari 12 jam 44 menit 2,9 detik. Rata–rata ini sedikit lebih besar daripada 29,5 hari. Angka 29,5 hari adalah nilai tengah dari 29 dan 30. Jadi kalender Islam secara

aritmetik disusun dengan cara menetapkan jumlah hari dalam satu bulan Islam sebesar 30 dan 29 hari secara bergantian.

- Bulan 1: Muharram 30 hari
- Bulan 2: Shafar 29 hari
- Bulan 3: Rabi'ul Awwal 30 hari
- Bulan 4: Rabi'ul Akhir 29 hari
- Bulan 5: Jumadil Awwal 30 hari
- Bulan 6: Jumadil Akhir 29 hari
- Bulan 7: Rajab 30 hari
- Bulan 8: Sya'ban 29 hari
- Bulan 9: Ramadhan 30 hari
- Bulan 10: Syawwal 29 hari
- Bulan 11: Dzulqa'dah 30 hari
- Bulan 12: Dzulhijjah 29 (30) hari



Gambar 1.1. Ilustrasi satu bulan sideris dan satu bulan sinodik.



Gambar 1.2. Orbit bulan dan bumi mengelilingi matahari S.

Khusus untuk bulan Dzulhijjah, jumlah hari bisa berjumlah 29 atau 30, sebagai kompensasi rata-rata lama satu bulan sinodik yang sedikit lebih besar dari 29,5 hari. Jika Dzulhijjah 29 hari, maka tahun itu bukan tahun kabisat, mengandung 354 hari. Jika bulan Dzulhijjah berisi 30 hari, maka tahun itu disebut tahun kabisat yang mengandung 355 hari. Dalam rentang 30 tahun Islam, terdapat 11 tahun kabisat yaitu pada tahun 2, 5, 7, 10, 13, 16, 18, 21, 24, 26, 29. Berarti dalam rentang 30 tahun (atau 360 bulan), banyaknya hari adalah $30 \times 354 + 11 = 10631$ hari. Rata-rata satu bulan adalah sama dengan $10631/360 = 29,530556$ hari. Angka ini sangat dekat dengan rata-rata bulan sinodik yaitu 29,530589 hari. Selisih dalam satu bulan adalah 0,000033 hari, atau menjadi sama dengan 1 hari dalam sekitar 30.000 bulan (2500 tahun). Selisih ini sangat kecil. Hingga saat ini, tahun Islam masih sekitar 1400-an, sehingga belum perlu untuk dilakukan koreksi.

Untuk menentukan apakah suatu tahun Islam termasuk tahun kabisat Islam tidaklah sulit. Bagilah suatu tahun Islam dengan 30, lalu ambil sisanya. Jika sisanya sama dengan angka 2, 5, 7, 10, 13, 16, 18, 21, 24, 26 atau 29, maka termasuk tahun kabisat Islam. Contohnya tahun 1431 H. Angka 1431 dibagi 30 adalah 47 bersisa 21. Karena bersisa 21, berarti 1431 H tahun kabisat. Contoh lain, tahun 914 H bukan tahun kabisat.

Ada beberapa catatan mengenai kalender Islam secara aritmetik ini.

1. Kalender ini hanyalah disusun berdasarkan perhitungan aritmetika, bukan berdasarkan observasi/rukyat atau hisab berkriteria syarat minimal penampakan hilal. Kalender ini digunakan untuk keperluan sipil sehari-hari atau administrasi, seperti halnya kalender Ummul Qura yang berlaku di Arab Saudi. Adapun untuk keperluan ibadah (puasa Ramadhan, Iedul Fitri, haji), maka harus dilakukan observasi hilal.
2. Terjadinya perbedaan tanggal antara sistem kalender ini dengan hasil observasi hilal, sangatlah mungkin. Mungkin saja terdapat perbedaan satu hari. Sebagai perbandingan, metode konversi Islam – Masehi pada software Accurate Times buatan Muhammad Odeh (Yordania) juga menyatakan “*Date Corversion is NOT based on Crescent Visibility. One-day difference is possible.*”
3. Alasan lain yang memungkinkan terjadinya perbedaan adalah sistem ini ditetapkan sama untuk seluruh dunia. Padahal, boleh jadi di 2 tempat yang sangat berjauhan, menurut observasi hilal tanggal Masehi yang sama menghasilkan tanggal Hijriyah yang berbeda. Misalnya, tanggal 17 Februari 1980 adalah 1 Rabi’uts Tsani 1400 H di Los Angeles tetapi di Jakarta masih 30 Rabi’ul Awwal. Ini disebabkan, pada tanggal 16 Februari 1980 saat matahari terbenam, hilal memungkinkan untuk dilihat di Los Angeles, tetapi tidak mungkin dilihat di Jakarta. (Disini, sejumlah faktor eksternal seperti status negeri Islam atau bukan, mengikuti pendapat Arab Saudi atau negeri Islam terdekat atau lokal, madzhab otoritas setempat dalam menetapkan bulan baru, tidak ikut diperhitungkan)
4. Dalam susunan kalender Islam aritmetik ini, bulan ganjil selalu 30 hari, dan bulan genap selalu 29 hari (kecuali bulan 12 untuk tahun kabisat). Sudah tentu dalam realitasnya berdasarkan observasi hilal, bulan ganjil bisa pula 29 hari sedangkan bulan ganjil bisa pula 30 hari. Tetapi tidak mungkin 28 atau 31 hari.
5. Disini penulis menyebut urutan tahun kabisat adalah 2, 5, 7, 10, 13, 16, 18, 21, 24, 26, 29. Urutan ini adalah urutan yang paling sering digunakan orang. Sebagai tambahan, ada pula variasi urutan tahun kabisat lainnya, seperti 2, 5, 7, 10, 13, 15, 18, 21, 24, 26, 29; 2, 5, 8, 10, 13, 16, 19, 21, 24, 27, 29; dan 2, 5, 8, 11, 13, 16, 19, 21, 24, 27, 30.

Sebagai patokan awal, tanggal Islam 1 Muharram 1 H secara umum disepakati sama dengan hari Jumat 16 Juli 622 M, baik menurut metode aritmetika maupun menurut observasi. Namun demikian ada catatan, ada pula yang menetapkan 1 Muharram 1 H adalah Kamis 15 Juli 622 M. Sedikit penjelasan mengenai soal ini, di Makkah pada Rabu 14 Juli 622 M saat matahari terbenam (sunset), konjungsi sudah terjadi dan bulan terbenam (moonset) terjadi setelah sunset. Saat sunset, altitude bulan bernilai positif. Namun, kecilnya altitude hilal dan selisih azimuth matahari–bulan yang juga kecil saat sunset mengakibatkan kecilnya sudut elongasi antara matahari–bulan saat sunset sehingga hilal belum memungkinkan untuk diamati. Barulah pada Kamis 15 Juli maghrib, hilal cukup mudah untuk dilihat dengan mata sehingga 1 Muharram 1 H ditetapkan pada Jumat 16 Juli 622 M.

Setelah memahami catatan di atas, selanjutnya akan dibahas metode konversi Islam – Masehi atau sebaliknya. Pemahaman terhadap Julian Day akan sangat membantu. Metode konversi dari tanggal Islam ke tanggal Masehi adalah sebagai berikut. Tanggal pertama (1 Muharram 1 H) adalah 16 Juli 622 M, dimana $JD = 1948439,5$ sehingga “tanggal nol” (patokan atau *epoch*) bersesuaian dengan $JD = 1948438,5$. Karena itu tanggal Islam tertentu menunjukkan selisih hari dengan $JD\ 1948438,5$.

Soal: Tentukan tanggal Masehi untuk 17 Ramadhan 615 H (17–9–615).

Jawab:

- Karena tahun 615 masih dijalani, jumlah tahun yang telah utuh dilalui sejak *epoch* adalah 614 tahun.
- $614\ \text{tahun} / 30\ \text{tahun} = 20$, sisa 14 tahun. Karena $30\ \text{tahun} = 10631\ \text{hari}$, maka $20\ \text{kali}\ 30\ \text{tahun} = 20 \times 10631 = 212620\ \text{hari}$. Selama sisa 14 tahun, terjadi 5 kali tahun kabisat (yaitu tahun 2, 5, 7, 10, 13). Jadi $14\ \text{tahun} = 14 \times 354 + 5 = 4961\ \text{hari}$.
- Karena bulan 9 masih dijalani, maka jumlah bulan yang telah utuh dilalui di tahun 615 H adalah 8 bulan. Dengan mengingat selang seling 30, 29, 30, 29 dan seterusnya, $8\ \text{bulan} = 236\ \text{hari}$.
- Dengan ditambah tanggal 17, maka total hari $= 212620 + 4961 + 236 + 17 = 217834\ \text{hari}$.

- Jadi JD 17 Ramadhan 615 H = $1948438,5 + 217834 = 2166272,5$.
- Dikonversi ke tanggal Masehi, diperoleh Jumat, 7 Desember 1218 M.

Disini ada beberapa catatan kecil. Konversi harus menyesuaikan dengan lama hari maksimum untuk setiap bulan. Contoh, untuk bulan Shafar maksimal tanggal 29. Tanggal setelah 29 Shafar adalah 1 Rabi'ul Awwal. Jika tanggal yang dimasukkan adalah 30 Shafar, hasilnya sama jika tanggal yang dikonversi adalah 1 Rabi'ul Awwal. Demikian juga tanggal 30 Dzulhijjah hanya bisa digunakan pada tahun kabisat Islam. Tanggal dan bulan hendaknya sesuai dengan batasan angka maksimal (misalnya angka bulan maksimal 12). Bisa saja kita memperoleh jawaban untuk konversi tanggal yang aneh, seperti tanggal 123 bulan 456 tahun 789 H, meskipun hasilnya tidak memiliki makna.

Selanjutnya akan dibahas konversi dari tanggal Masehi (Julian dan Gregorian) ke tanggal Islam. Julian Day juga akan digunakan.

Soal: Tentukan tanggal Islam untuk 29 Desember 2008 M.

Jawab:

- 29 Desember 2008 M = JD 2454829,5.
- Selisih hari dengan “tanggal nol” adalah $2454829,5 - 1948438,5 = 506391$.
- Karena 30 tahun Islam = 10631 hari, maka $506391/10631 = 47$ kali, sisa 6734 hari.
- 47 kali 30 hari = 1410 tahun.
- Sisa 6734 hari = 6733 hari + 1 hari = 19 tahun + 1 hari. Disini 6733 = 19 tahun, karena $6733 = 19 \times 354 + 7$ (Selama sisa 19 tahun utuh, ada 7 tahun kabisat Islam yaitu tahun 2, 5, 7, 10, 13, 16 dan 19).
- Sisa 1 hari ini menunjukkan hari pertama, bulan pertama dalam tahun tersebut, dan tahun yang sedang dijalani itu tentunya ikut dihitung.
- Tahun yang utuh dilalui = $1410 + 19 = 1429$. Ditambah dengan tahun yang dijalani, menjadi 1430.
- Bulan yang dijalani = 1.
- Tanggal yang dijalani = 1.

- Kesimpulannya 29 Desember 2008 M = 1 Muharram 1430 H.

Berikut ini hasil konversi beberapa tanggal, sebagai bahan latihan.

- Selasa 1 Muharram –1000 H = 14 Mei –349 M
- Sabtu 1 Januari 1 M = 16 Jumadil Awwal –640 H
- Rabu 1 Syawal 100 H = 26 April 719 M
- Jumat 15 Oktober 1582 M = 17 Ramadhan 990 H
- Kamis 30 Dzulhijjah 1502 H = 26 Oktober 2079 M
- Tanggal 1 – 30 bulan 5 tahun 20874 M = Tanggal 1 – 30 bulan 5 tahun 20874 H
(dengan beberapa catatan)

1.3. Macam–macam Waktu

Dalam standar internasional, satuan waktu adalah detik (*second*). 1 menit (*minute*) = 60 detik. 1 jam (*hour*) = 60 menit. Jam dalam desimal dapat dinyatakan dalam jam:menit:detik. Misalnya 3,125 jam = 3 jam 7 menit 30 detik. Cara konversi dari jam desimal menjadi JAM:MENIT:DETIK adalah sebagai berikut (INT adalah lambang untuk integer).

- JAM = INT(Jam Desimal).
- Sisa jam = Jam Desimal – JAM.
- MENIT = INT(60 X Sisa jam).
- Sisa menit = 60 X Sisa jam – MENIT.
- DETIK = 60 X Sisa menit.

Dalam pengertian umum sehari–hari, 1 hari (*day*) = 24 jam. Selanjutnya akan kita bahas berbagai macam waktu, sesuai dengan definisinya. Kelak akan kita ketahui, pengertian hari, bulan (*month*) dan tahun (*year*) juga bermacam–macam, bergantung kepada definisinya.

1.3.1. Universal Time dan Dynamical Time

Dasar dari pengukuran waktu adalah rotasi bumi terhadap sumbunya. Akibat rotasi bumi, matahari nampak bergerak, terbit di sebelah timur dan terbenam di sebelah barat. Jenis waktu yang terkait dengan gerakan matahari yang diamati di meridian Greenwich (bujur 0 derajat) adalah Universal Time (UT) atau Greenwich Civil Time. Kita sering menyebutnya Greenwich Mean Time (GMT). Bagi yang tinggal di Jakarta, misalnya, waktu lokal di Jakarta (atau Waktu Indonesia bagian Barat, WIB) adalah GMT + 7 jam atau lebih tepat UT + 7 jam. Contoh: pukul 14:00:00 UT = 21:00:00 WIB.

Namun perlu diketahui, rotasi bumi tidaklah konstan sepanjang waktu. Rotasi bumi perlahan-lahan melambat dan tidak teratur. Karena itu UT bukanlah waktu yang seragam (*uniform*). Sementara itu astronom memerlukan skala waktu yang seragam untuk keperluan perhitungan astronomis. Karena itu diperkenalkan sistem waktu yang seragam yaitu Dynamical Time (disingkat TD, bukan DT). Selisih antara TD dengan UT adalah Delta_T yang dirumuskan sebagai $\Delta T = TD - UT$.

Nilai Delta_T ini hanya bisa ditentukan lewat observasi. Observasi untuk menentukan Delta_T telah dilakukan orang sejak sekitar tahun 1620 M hingga saat ini. Tahun 1620, Delta_T sekitar 124 detik. Tahun 1800 sekitar 14 detik. Tahun 2000 sekitar 64 detik. Tahun 2009 sekitar 66 detik. Di luar rentang waktu itu, orang hanya bisa membuat perkiraan atau ekstrapolasi. Rumus untuk menentukan Delta_T adalah sebagai berikut.

- Sebelum tahun 948 M: $\Delta T = 2715,6 + 573,36 \cdot T + 46,5 \cdot T^2$ [detik]
- Antara tahun 948 – 1600 M: $\Delta T = 50,6 + 67,5 \cdot T + 22,5 \cdot T^2$ [detik]
- Disini $T = (\text{Tahun} - 2000)/100$.

Contoh: Tahun 632 M. Maka $T = (632 - 2000)/100 = -13,68$. $\Delta T = 3574$ detik.

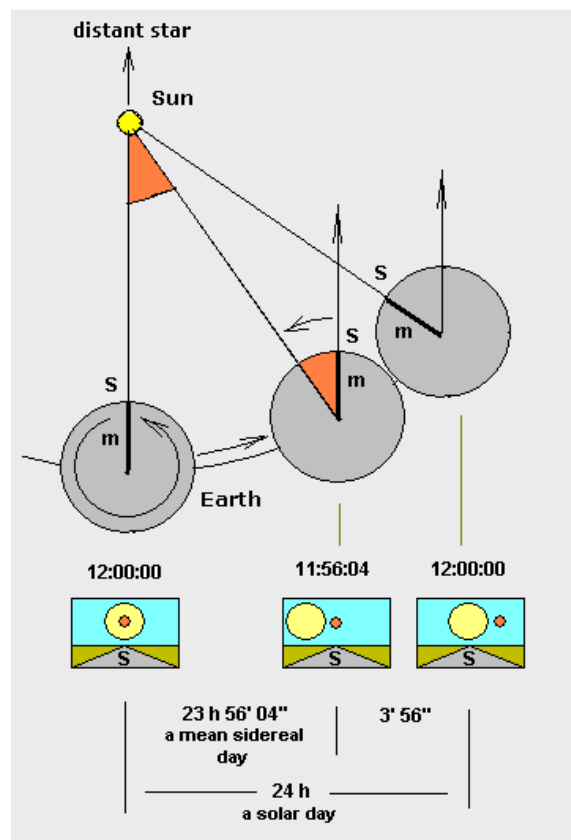
1.3.2. Macam-macam hari (day)

Suatu saat, suatu obyek langit tepat dalam posisi transit atau berada di meridian (saat posisinya tertinggi, atau ketika di atas horison posisinya tepat di utara (azimuth = 0

derajat) atau selatan (azimuth = 180 derajat) atau di zenith (tepat di atas kepala kita)). Keesokan harinya, obyek langit tersebut kembali tepat di atas meridian. Lama waktu antara dua kali transit dinamakan dengan satu hari (day), bergantung pada jenis obyek langit tersebut. Jika obyek itu adalah bintang tetap (fixed star) maka disebut sidereal day. Jika obyek itu adalah matahari maka disebut solar day. Jika obyek itu adalah matahari fiktif (yang lintasannya selalu seragam) maka disebut mean solar day.

1.3.3. Greenwich Sidereal Time

Satu *sidereal day* lebih pendek daripada satu *solar day*. Satu *solar day* lebih lama daripada satu *sidereal day* karena selama rentang waktu satu solar day tersebut, bumi bergerak sepanjang orbitnya sejauh kira-kira satu derajat terhadap matahari. Karena itu dibutuhkan waktu sedikit lebih lama buat matahari untuk kembali ke posisi semula, dibandingkan dengan bintang tetap. Lihat Gambar 1.3.



Gambar 1.3. Mean sidereal day dan mean solar day

Lama 1 hari = 24 jam. Waktu yang kita gunakan sehari-hari adalah solar time. 1 solar day sama dengan 24 jam solar time. Sementara itu, 1 sidereal day atau 24 sidereal time sama dengan 23 jam 56 menit 4 detik solar time. Waktu untuk menunjukkan sidereal time adalah Greenwich Sidereal Time (GST), sedangkan waktu untuk solar time adalah UT. Antara GST dan UT terdapat hubungan. Cara menentukan GST pada tanggal tertentu pukul 0 UT adalah sebagai berikut.

- Carilah Julian Day (JD) tanggal tersebut untuk pukul 0 UT. Kemudian
- $T = (JD - 2451545)/36525$.
- Rerata (*mean*) Sidereal Time di Greenwich saat 0 UT atau Greenwich Sidereal Time (GST) adalah
- $GST = 6,6973745583 + 2400,0513369072 * T + 0,0000258622 * T * T$.

Satuan GST adalah jam. Adapun jika waktu dalam UT bukan 0 UT tetapi sembarang, maka dihitung dulu GST yang bersesuaian dengan 0 UT, kemudian hasilnya dikalikan dengan 1,00273790935. Perlu diketahui, angka 1,00273790935 sama dengan satu *solar day* dibagi dengan satu *sidereal day*.

Nilai GST antara pukul 0:00:00 dan 23:59:59. Jika nilai GST lebih besar dari 24 jam, kurangi dengan 24 (atau kelipatannya), dan sebaliknya jika GST lebih kecil dari nol, maka tambahkan dengan 24 (atau kelipatannya).

Contoh: Tentukan GST untuk tanggal 17 Agustus 1945 M pukul 10:00:00 WIB.

Jawab:

- Pukul 10:00:00 WIB = 03:00:00 UT.
- Tanggal 17 Agustus 1945 M pukul 0 UT = JD 2431684,5
- $T = (2431684,5 - 2451545)/36525 = -0,543750855578$
- GST untuk 0 UT = pukul -1298,33258567 = pukul 21,66741433 = pukul 21:40:2,6916.
- Jadi GST untuk pukul 3 UT = pukul 21,66741433 + 1,00273790935 X 3 = pukul 24,675628058 = pukul 0,675628058 = pukul 0:40:32,2160.

Kita dapat pula menentukan GST dari UT.

Contoh: Tentukan UT untuk GST 17 Agustus 1945 pukul 0:40:32,2610 atau pukul 0,675628058.

Jawab:

- 17 Agustus 1945 = JD 2431684,5.
- $T = -0,543750855578$
- GST untuk pukul 0 UT = pukul 21,66741433.
- GST pada soal di atas dikurangi GST untuk 0 UT, yaitu $0,675628058 - 21,66741433 = -20,991786272 = \text{pukul } 3.008213728$.
- Hasil ini dibagi dengan 1,00273790935, diperoleh angka 3.
- Jadi GST 17 Agustus 1945 pukul 0:40:32,2160 sama dengan 3 UT.

Sebagai catatan, rumus di atas hanya memberikan nilai rerata (mean) GST. Adapun nilai GST sesungguhnya (true GST) diperoleh dengan menambahkan koreksi akibat nutasi longitude dan kemiringan bidang ekuator terhadap bidang ekliptika. Koreksi ini cukup kecil, tidak lebih dari satu detik.

Pemahaman terhadap sidereal time sangat penting, karena Greenwich sidereal time akan digunakan untuk: menentukan hour angle dalam koordinat ekuator yang selanjutnya digunakan untuk menentukan azimuth dan altitude obyek langit (matahari, bulan dll), menentukan waktu terbit (rising), terbenam (setting) dan transit obyek langit, koreksi koordinat dari geosentrik ke toposentrik dan lain-lain.

1.3.4. Local Sidereal Time (LST)

Jenis waktu lainnya adalah Local Sidereal Time (LST), yang dapat diperoleh dari GST. LST suatu tempat bergantung pada bujur (longitude) tempat tersebut.

- $\text{LST (BT = bujur timur)} = \text{GST} + \text{BT}/15$.
- $\text{LST (BB = bujur barat)} = \text{GST} - \text{BB}/15$.

Contoh: Tentukan LST di Jakarta (106,85 derajat BT) saat 17 Agustus 1945 pukul 10 WIB.

Jawab:

- Dari soal terdahulu kita tahu bahwa 17 Agustus 1945 pukul 10 WIB bersesuaian dengan
- GST pukul 0:40:32,2610 atau pukul 0,675628058.
- Jadi $LST = 0,675628058 + 106,85/15 = \text{pukul } 7,7989613913 = \text{pukul } 7:47:56,261$

1.3.5. Macam-macam bulan (month)

Lamanya satu bulan (month) secara astronomis bergantung pada pergerakan bulan (moon atau lunar). Bulan (moon) berotasi terhadap sumbunya. Gerakan bulan mengitari bumi dapat ditinjau menurut kerangka acuan matahari, bintang jauh atau vernal ekuinoks. Karena lintasan bulan mengitari bumi berbentuk elips, jarak bumi-bulan berubah setiap saat.. Suatu saat mencapai jarak terdekat (perigee), belasan hari kemudian mencapai jarak terjauh (apogee). Selain itu, bidang orbit bulan mengitari bumi tidak sejajar dengan bidang orbit bumi mengitari matahari (bidang ekliptika). Rata-rata kemiringan orbit bulan terhadap bidang ekliptika adalah sekitar 5,13 derajat. Karena itu suatu saat bulan tepat berada di bidang ekliptika dalam posisi naik (atau turun) dan belasan hari kemudian kembali tepat di bidang ekliptika dalam posisi turun (atau naik). Titik naik dan turun saat bulan tepat di bidang ekliptika masing-masing disebut ascending node dan descending node.

Dari berbagai macam gerakan bulan (moon) di atas, kita dapat mendefinisikan macam-macam bulan (month).

1. Sinodic month, yaitu lama rata-rata satu kali bulan mengitari bumi ditinjau dari matahari, yaitu sebesar 29 hari 12 jam 44 menit 2,8 detik. Ini dipakai sebagai acuan untuk kalender Islam.
2. Sidereal month, yaitu lama rata-rata satu kali bulan mengitari bumi ditinjau dari bintang jauh, yaitu sebesar 27 hari 7 jam 43 menit 11,5 detik.
3. Tropical month, yaitu lama rata-rata satu kali bulan mengitari bumi ditinjau dari vernal ekuinoks, yaitu sebesar 27 hari 7 jam 43 menit 4,7 detik.

4. Anomalistic month, yaitu lama rata-rata satu kali bulan mengitari bumi dari perigee ke perigee berikutnya, yaitu sebesar 27 hari 13 jam 18 menit 33,2 detik.
5. Draconic month, yaitu lama rata-rata satu kali bulan mengitari bumi dari satu ascending node ke ascending node berikutnya, yaitu sebesar 27 hari 5 jam 5 menit 35,8 detik.

1.3.6. Macam-macam tahun (year)

Suatu saat, matahari menempati posisi tertentu. Dilihat dari bumi, setiap saat posisi matahari berubah. Keesokan harinyapun, posisi matahari pada jam yang sama juga berubah (meskipun kecil). Akhirnya setelah 365 hari lebih, matahari kembali ke posisi semula. Inilah definisi satu tahun, yang juga bergantung pada kerangka acuan pengamat atau titik referensi:

- Jika titik referensinya adalah bintang jauh, maka disebut satu tahun sideris (sidereal year), yang lamanya adalah 365,2564 hari.
- Jika titik referensinya adalah titik pertama Aries, maka disebut tahun tropis (tropical year), yang lamanya 365,2422 hari. Tahun tropis inilah yang dipakai sebagai patokan kalender Gregorian.
- Karena jarak matahari-bumi berubah-ubah, suatu saat jarak keduanya mencapai minimum, yang disebut jarak perihelion. Satu tahun anomalistik (anomalistic year) jika yang dihitung selang waktu antara satu perihelion dengan perihelion berikutnya, yang lamanya adalah 365,2596 hari.

BAB II

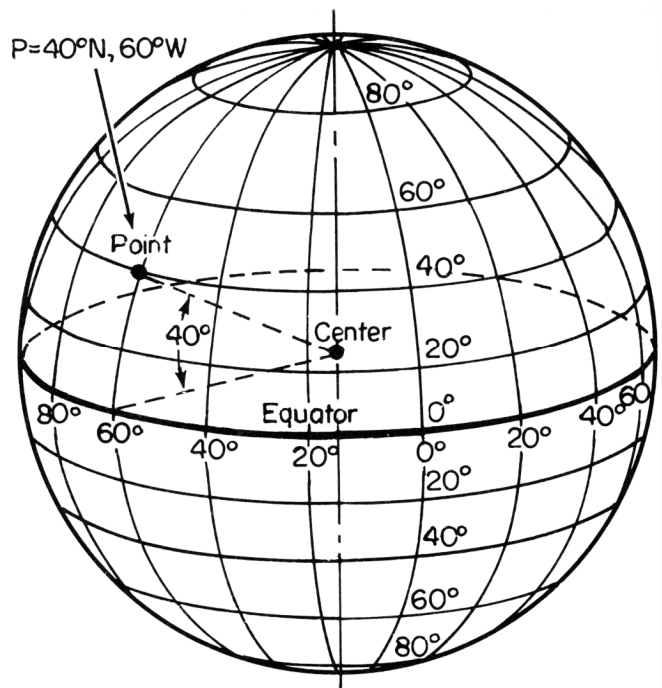
BUMI DAN KOORDINAT BOLA

Disini akan dijelaskan beberapa aspek tentang jarak (*distance*) di permukaan bumi. Akan ditinjau dua hal, yaitu jarak dari permukaan bumi ke pusat bumi, serta jarak antara dua tempat di permukaan bumi. Pengetahuan tentang jarak dari permukaan bumi ke pusat bumi ada hubungannya dengan transformasi dari koordinat geosentrik ke toposentrik. Transformasi dari geosentrik ke toposentrik sangat penting dalam menghitung posisi benda langit, seperti hilal, matahari, planet dan lain-lain dengan ketelitian tinggi. Sementara itu, jarak antara dua tempat akan berguna, misalnya ketika kita ingin menentukan jarak antara suatu tempat dengan Ka'bah.

2.1. Bumi

Kita sering menyatakan bahwa bumi berbentuk bola. Dalam banyak hal, ungkapan ini memang ada benarnya, terutama untuk mempermudah pemahaman tentang posisi di bumi. Namun sebenarnya pernyataan ini tidak seluruhnya benar, sebab bumi lebih tepat disebut berbentuk elipsoida, mirip seperti telur (dengan mengabaikan gunung, lembah dan sebagainya. Model yang lebih baik daripada elipsoida adalah geoid, tetapi tidak dibahas disini.). Jari-jari bola selalu konstan di semua permukaan bola. Namun, jari-jari bumi atau lebih tepatnya jarak dari permukaan ke pusat bumi tidak sama di semua tempat. Jarak dari permukaan ke pusat bumi mencapai nilai maksimum di ekuator (garis katulistiwa) dan minimum di kutub, walaupun selisih antara maksimum dan minimum cukup kecil dibandingkan dengan jari-jari bumi itu sendiri.

Setiap tempat di permukaan bumi dapat ditentukan dengan dua koordinat, yaitu bujur B (*longitude*) dan lintang L (*latitude*). Satuan koordinatnya adalah derajat. Satu derajat = 60 menit busur (arcminute) = 3600 detik busur (arcsecond). Seringkali menit busur dan detik busur cukup disebut menit dan detik saja. Namun demikian harap dibedakan dengan menit dan detik sebagai satuan waktu. Lihat Gambar 2.1.

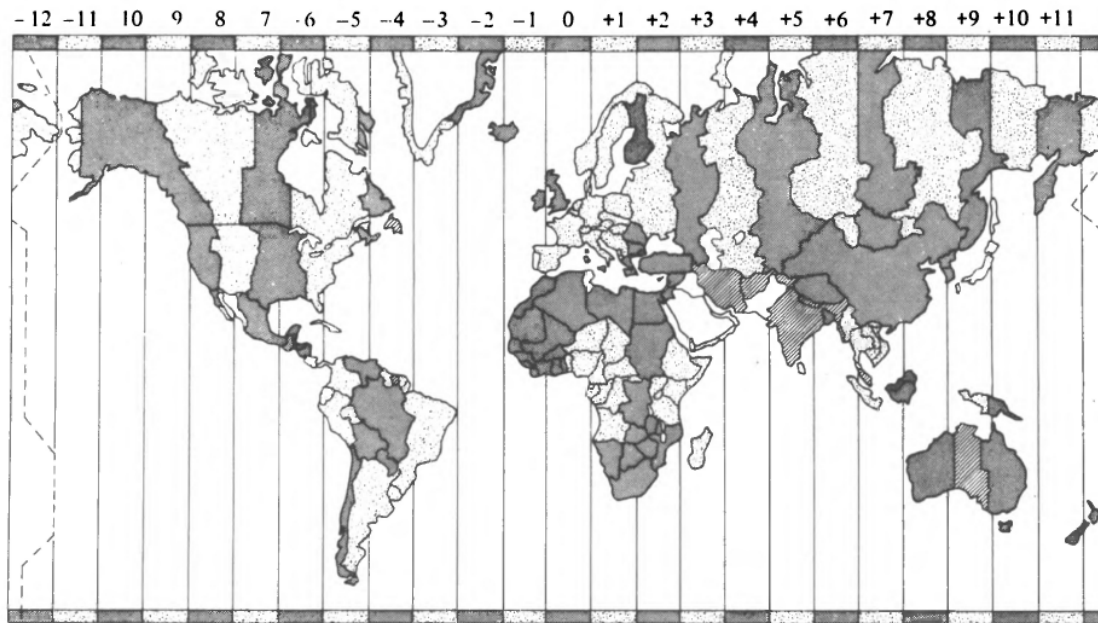


Gambar 2.1 Koordinat Bumi dengan lintang dan bujur

Garis bujur = 0 melewati kota Greenwich di London, Inggris. Sebelah timur Greenwich disebut bujur timur dan di sebelah barat Greenwich disebut bujur barat. Sesuai dengan kesepakatan umum, bujur timur bernilai positif dan bujur barat bernilai negatif. (Catatan: ada sejumlah literatur yang menulis sebaliknya, bujur barat bernilai positif, seperti *Astronomical Algorithm* karya Jean Meeus). Contoh: 120 BT (Bujur Timur) = 120 E (East) = 120 derajat. Sedangkan 135 BB (Bujur Barat) = 135 W (West) = -135 derajat. Seluruh bujur permukaan bumi dibagi ke dalam 360 derajat, yaitu dari -180 derajat hingga 180 derajat. Karena satu kali rotasi bumi = 24 jam, maka perbedaan waktu 1 jam berkonotasi dengan selisih bujur 15 derajat. Garis bujur 180 derajat terletak di Samudra Pasifik yang sekaligus merupakan garis batas tanggal internasional. Jika tepat di sebelah kiri (sebelah barat) garis tersebut hari Jumat siang, maka di sebelah kanannya (sebelah timurnya) masih hari Kamis siang.

Garis lintang = 0 sama dengan garis khatulistiwa (ekuator) yang membelah bumi menjadi dua bagian utara dan selatan. Kota Pontianak di Kalimantan Barat dilewati oleh ekuator. Di belahan bumi utara (lintang utara), lintang bernilai positif. Sebaliknya di bumi selatan (lintang selatan), lintang bernilai negatif. Contoh: 15 derajat LU (Lintang

Utara) = 15 N (North) = 15 derajat. Sedangkan 30 derajat LS (Lintang Selatan) = 30 S (South) = -30 derajat. Kutub Utara (South Pole) = 90 N = 90, sedangkan Kutub Selatan (South Pole) = 90 S = -90. Jadi seluruh lintang permukaan bumi antara -90 hingga 90 derajat.



Gambar 2.2. Pembagian waktu di seluruh dunia

Dengan demikian, suatu tempat ditandai dengan koordinat bujur dan lintang. Sebagai contoh, koordinat kota Fukuoka, Japan terletak di bujur 130:27 E dan lintang 33:35 N. Kiblat shalat yaitu Ka'bah memiliki koordinat bujur 39:49:34,18 E = 39,82616111 derajat, dan koordinat lintang 21:25:21,03 N = 21,42250833 derajat. Karena lintang Makkah lebih kecil daripada kemiringan sumbu rotasi bumi dengan sumbu bidang ekliptika bumi (yang nilainya sekitar 23:26:22 derajat), maka memungkinkan bagi matahari pada suatu saat tepat berada di atas Ka'bah. Ini merupakan salah satu teknik klasik untuk menentukan arah kiblat, yaitu saat matahari tepat di atas Ka'bah.

2.1.1. Jarak dari permukaan bumi ke pusat bumi

Telah disebutkan bahwa bumi bukanlah berbentuk bola sempurna, melainkan elipsoida. Karena itu garis keliling bumi yang beririsan dengan garis khatulistiwa (lintang

geografis = 0) tidak sama dengan garis keliing bumi yang melewati kutub utara dan kutub selatan. Jarak pusat bumi ke ekuator sedikit lebih besar daripada jarak pusat bumi ke kutub.

- Jarak pusat bumi ke ekuator = $a = 6.378.137,0$ meter
- Jarak pusat bumi ke kutub = $b = 6.356.752,314$ meter
- Antara a dan b terdapat hubungan, yaitu $b = a \cdot (1 - f)$ dimana nilai $f = 1/298,25722$.
- Eksentrisitas bumi = $e = 0,08181919133$.
- (Jika bumi adalah bola sempurna, maka nilai e dan f sama dengan 0)

Angka jari-jari di atas merujuk pada model WGS-84. Selanjutnya akan dihitung jarak antara pusat bumi seorang pengamat yang berada pada ketinggian H dari permukaan laut (bersatuan meter). Di permukaan bumi, pengamat tersebut terletak pada lintang geografis L . Perlu diketahui, ada pula yang disebut lintang geosentrik L' (yaitu sudut antara garis pusat bumi-lokasi dengan garis pusat bumi-khatulistiwa). Antara lintang geografis L (yang biasa digunakan) dengan lintang geosentrik L' terdapat sedikit perbedaan nilai.

Rumus-rumus yang digunakan adalah sebagai berikut.

- $\tan(u) = (b/a) \cdot \tan(L)$
- $R \cdot \sin(L') = (b/a) \cdot \sin(u) + (H/6378137) \cdot \sin(L)$
- $R \cdot \cos(L') = \cos(u) + (H/6378137) \cdot \cos(L)$
- Nilai $R \cdot \sin(L')$ positif di belahan bumi utara ($L > 0$), dan negatif di belahan bumi selatan ($L < 0$).
- Jarak antara pengamat tersebut dengan pusat bumi adalah $R = \sqrt{(R \cdot \sin(L'))^2 + (R \cdot \cos(L'))^2}$
- Sedangkan Lintang geosentrik L' adalah $\tan(L') = (R \cdot \sin(L')) / (R \cdot \cos(L'))$

Contoh:

Seorang pengamat berada di Monas (ketinggian 120 m) yang terletak di lintang 6:10:31,45 LS. Tentukan jarak pengamat tersebut ke pusat bumi.

Jawab:

- $H = 120$ meter.
- $L = -6,175402778$ derajat
- $\tan(u) = -0,1074225197$ radian
- $R \cdot \sin(L') = -0,1068585856$
- $R \cdot \cos(L') = 0,9942544525$
- Jarak pengamat ke pusat bumi adalah $R = 0,9999803366$ dengan satuan radius ekuator bumi = 6378,012 km.

Nilai $R \cdot \sin(L')$ dan $R \cdot \cos(L')$ sangat penting pada transformasi dari koordinat geosentrik (pengamat secara virtual di posisi pusat bumi) ke toposentrik (pengamat di permukaan bumi).

2.1.2. Jarak Dua Tempat Di Permukaan Bumi

Diketahui dua tempat/posisi di permukaan bumi. Tempat pertama memiliki koordinat geografis bujur $B1$ dan lintang $L1$. Tempat kedua $B2$ dan $L2$. Jarak antara kedua tempat tersebut dapat diketahui. Ada dua rumus yang akan diberikan disini.

Rumus pertama adalah rumus sederhana yang mengasumsikan bahwa bumi berbentuk bola.

- Sudut antara kedua tempat tersebut adalah d
- $\cos(d) = \sin(L1) \cdot \sin(L2) + \cos(L1) \cdot \cos(L2) \cdot \cos(B1 - B2)$
- Jika sudut d dalam radian, maka jarak kedua tempat adalah s kilometer, yaitu
- $s = 6378,137 \cdot d$ [km]
- Jika sudut d dalam derajat, maka jarak kedua tempat adalah s kilometer, yaitu
- $s = 6378,137 \cdot \pi \cdot d / 180$ [km] dimana $\pi = 3,14159265359$.

Perlu diingat, $1 \text{ radian} = 180/\pi = 57.2957795$ derajat.

Rumus kedua adalah rumus yang lebih kompleks dengan asumsi bahwa bumi berbentuk elipsoida. Rumus kedua ini akan memberikan hasil yang lebih tepat, yang disajikan sebagai berikut ($a = 6378,137$ km dan $f = 1/298,25722 = 0,0033528107$).

- $U = (L1 + L2)/2$
- $G = (L1 - L2)/2$
- $J = (B1 - B2)/2$
- $M = \sin(G)*\sin(G)*\cos(J)*\cos(J) + \cos(U)*\cos(U)*\sin(J)*\sin(J)$
- $N = \cos(G)*\cos(G)*\cos(J)*\cos(J) + \sin(U)*\sin(U)*\sin(J)*\sin(J)$
- $\tan(w) = \text{SQRT}(M/N)$ dimana w dalam radian
- $P = \text{SQRT}(M*N)/w$
- $D = 2*w*a$
- $E1 = (3*P - 1)/(2*N)$
- $E2 = (3*P + 1)/(2*M)$
- Jarak antara kedua tempat adalah
- $s = D*\{1 + f*E1*\sin(U)*\sin(U)*\cos(G)*\cos(G) - f*E2*\cos(U)*\cos(U)*\sin(G)*\sin(G)\}$

Contoh:

Tentukan jarak antara Ka'bah dengan Masjid Istiqlal dengan koordinat 106:49:50,64 BT dan lintang 6:10:11,2 LS.

Jawab:

- $B1 = 39,82616111$ derajat
- $L1 = 21,42250833$ derajat
- $B2 = 106,8307333$ derajat
- $L2 = -6,169777778$ derajat

Jika kita gunakan rumus pertama, maka

- $\cos(d) = \sin(L1)*\sin(L2) + \cos(L1)*\cos(L2)*\cos(B1 - B2)$
- $\cos(d) = 0,32230721$
- $d = \arccos(0,32230721) = 1,242630573$ radian
- Jarak antara Ka'bah dengan Istiqlal adalah $s = 6378,137*1,242630573 = 7925,668$ km.

Jika kita gunakan rumus kedua, maka diperoleh hasil sebagai berikut.

- $U = 0.133105184$ radian
- $G = 0.24078812$ radian

- $J = -0.5847252$ radian
- $M = 0.338846395$
- $N = 0.661153605$
- $\tan(w) = 0.715896517$
- $w = 0.621315286$ radian
- $P = 0.761799321$
- $D = 7925.668033$ km
- $E1 = 0.972087237$
- $E2 = 4.847916358$
- Jarak antara Ka'bah dengan Masjid Istiqlal adalah
- $s = 7918.900$ km = 7918 km 900 meter.

Sebagai catatan, kedua rumus di atas digunakan untuk dua tempat yang terletak di permukaan bumi (ketinggian = 0 dari permukaan laut). Tentu saja dalam realitanya, Ka'bah dan Masjid Istiqlal memiliki ketinggian tertentu dari permukaan laut.

Sebagai pembandingan untuk kedua rumus di atas, Vincenty telah menurunkan rumus untuk menentukan jarak antara dua titik. Rumusnya lebih rumit sehingga tidak diberikan disini, namun tingkat ketelitiannya sangat tinggi hingga orde milimeter. Untuk soal jarak Ka'bah – Masjid Istiqlal, rumus Vincenty memberikan hasil 7918 km 930 meter. Nampak bahwa rumus kedua memberikan hasil lebih dekat dengan rumus Vincenty dengan selisih hanya 30 meter. Namun demikian, rumus pertama tentu saja jauh lebih sederhana.

Jarak terpisah antara Ka'bah dan Indonesia berkisar pada orde 6000–an (Aceh) hingga 11.000–an (Papua) km. Jauhnya jarak ini bermakna bahwa jika arah kiblat kita melenceng 1 derajat saja dari arah yang benar, maka penyimpangannya sangat besar dari Ka'bah itu sendiri. Jika jarak yang terpisah adalah 8000 km, maka penyimpangan arah kiblat 1 derajat memberikan penyimpangan posisi kiblat dari Ka'bah sebesar $8000 \cdot 1 \cdot \pi / 180$ atau sekitar 140 km dari Ka'bah. Ini menunjukkan betapa pentingnya tempat shalat kita menunjuk pada arah kiblat yang benar.

2.2. Segitiga Bola dan Arah Kiblat

Pengetahuan tentang arah kiblat yang benar sangat penting bagi ummat Islam. Ketika ummat Islam melaksanakan ibadah shalat, terdapat sebuah kewajiban untuk menghadap kiblat yaitu Ka'bah di Masjidil Haram. Allah SWT berfirman, *“Dan dari mana saja engkau keluar (untuk mengerjakan shalat) hadapkanlah mukamu ke arah Masjidil Haram (Ka'bah). Sesungguhnya perintah berkiblat ke Ka'bah itu benar dari Allah (Tuhanmu) dan ingatlah bahwa Allah tidak sekali-kali lalai akan segala apa yang kamu lakukan.”* (Al Baqarah 149)

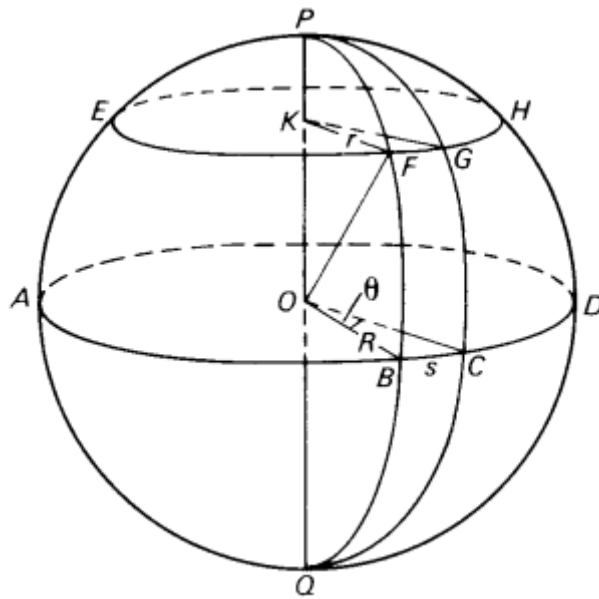
Disini akan dijelaskan secara ringkas metode menentukan arah kiblat dengan dasar–dasar segitiga bola (trigonometri bola) beserta rumus–rumusnya. Hal ini disebabkan bumi kita dapat dianggap sebagai bola. Rumus–rumus dalam trigonometri bola diberikan tanpa melalui penurunan.

2.2.1. Geometri bola

Bola (sphere) adalah benda tiga dimensi yang unik, dimana jarak antara setiap titik di permukaan bola dengan titik pusatnya selalu sama. Permukaan bola itu berdimensi dua. Karena bumi sangat mirip dengan bola, maka cara menentukan arah dari satu tempat (misalnya masjid) ke tempat lain (misalnya Ka'bah) dapat dilakukan dengan mengandaikan bumi seperti bola. Posisi di permukaan bumi seperti posisi di permukaan bola.

Ada beberapa definisi yang penting untuk diketahui. Lihatlah bola pada Gambar 2.3.

- Lingkaran besar (great circle) adalah irisan bola yang melewati titik pusat O. Dari Gambar 2.3, ABCDA adalah lingkaran besar.
- Jika irisan bola tidak melewati titik pusat O maka disebut lingkaran kecil (small circle). EFGHE adalah lingkaran kecil.
- Jari–jari bola = $OB = OC = OP = OF$ dan sebagainya. Besar jari–jari bola adalah R . Besar sudut BOC adalah Theta (dengan satuan radian). Karena itu panjang busur $BC = s = \text{Theta} \cdot R$. Jika $R = 1$, maka $s = \text{Theta}$.



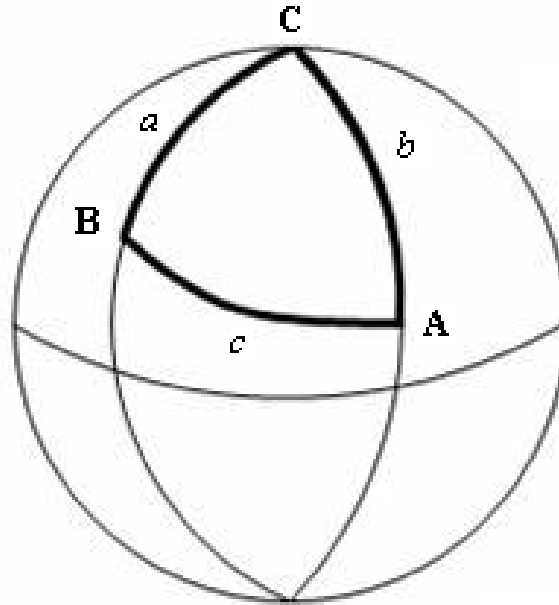
Gambar 2.3. Geometri bola

Setiap titik di permukaan bumi dapat dinyatakan dalam dua koordinat, yaitu bujur (longitude) dan lintang (latitude). Semua titik yang memiliki bujur nol terletak pada garis meridian Greenwich (setengah lingkaran besar yang menghubungkan kutub utara dan selatan dan melewati Greenwich). Sementara itu semua titik yang memiliki lintang nol terletak pada garis ekuator (khatulistiwa). Bujur timur terletak di sebelah timur Greenwich, sedangkan bujur barat terletak di sebelah barat Greenwich. Sesuai kesepakatan umum, bujur positif bernilai positif, sedangkan bujur barat bernilai negatif. Sementara itu semua titik yang terletak di sebelah utara ekuator disebut lintang utara, demikian juga untuk titik di selatan ekuator disebut lintang selatan. Lintang utara bernilai positif, sedangkan lintang selatan bernilai negatif.

Untuk menentukan arah kiblat, terlebih dahulu disajikan rumus trigonometri bola.

Dari Gambar 2.4, segitiga bola ABC menghubungkan antara tiga titik A (Ka'bah), titik B (lokasi) dan titik C (Kutub Utara). Titik A (Ka'bah) memiliki koordinat bujur B_a dan lintang L_a . Titik B memiliki koordinat bujur B_b dan lintang L_b . Titik C memiliki lintang 90 derajat. Busur a adalah panjang busur yang menghubungkan titik B dan C. Busur b adalah panjang busur yang menghubungkan titik A dan C. Busur c adalah

panjang busur yang menghubungkan titik A dan B. Sudut C tidak lain adalah selisih antara bujur Ba dan bujur Bb. Jadi sudut C = Ba – Bb. Sementara sudut B adalah arah menuju titik A (Ka’bah). Jadi arah kiblat dari titik B dapat diketahui dengan menentukan besar sudut B.



Gambar 2.4. Segitiga bola ABC yang menghubungkan titik A (Ka’bah), titik B (lokasi) dan titik C (kutub Utara).

Selanjutnya, jari-jari bumi dianggap sama dengan 1. Sudut yang menghubungkan titik di khatulistiwa, pusat bumi dan kutub utara adalah 90 derajat. Karena lintang titik A adalah La, maka busur b sama dengan 90 – La. Karena lintang titik B adalah Lb, maka busur a sama dengan 90 – Lb.

2.2.2. Rumus segitiga bola dan arah kiblat

Dalam trigonometri bola, terdapat rumus–rumus standar sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\cos(b) &= \cos(a)\cos(c) + \sin(a)\sin(c)\cos(B). \\ \cos(c) &= \cos(a)\cos(b) + \sin(a)\sin(b)\cos(C). \\ \frac{\sin(A)}{\sin(a)} &= \frac{\sin(B)}{\sin(b)} = \frac{\sin(C)}{\sin(c)}.\end{aligned}$$

Dengan menggabungkan ketiga rumus di atas, pada akhirnya akan diperoleh rumus

$$\tan(B) = \frac{\sin(C)}{\sin(a) \cot(b) - \cos(a) \cos(C)}$$

Karena $C = Ba - Bb$, $a = 90 - Lb$, $b = 90 - La$, serta mengingat $\cos(90 - x) = \sin(x)$, $\sin(90 - x) = \cos(x)$ dan $\cot(90 - x) = \tan(x)$, rumus di atas menjadi

$$\tan(B) = \frac{\sin(Ba - Bb)}{\cos(Lb) \tan(La) - \sin(Lb) \cos(Ba - Bb)}$$

sehingga sudut B adalah

$$B = \arctan(\tan B) .$$

Azimuth arah kiblat ditunjukkan oleh sudut B. Azimuth 0 derajat menunjukkan arah utara (true north). Arah sudut azimuth searah dengan jarum jam. Azimuth 90, 180 dan 270 derajat masing-masing menunjukkan arah timur, selatan dan barat.

Nilai B disini tergantung dari pembilang dan penyebut ruas kanan rumus $\tan(B)$. Dengan kata lain, nilai B bergantung pada nilai $\sin(Ba - Bb)$ dan nilai $\cos(Lb) \cdot \tan(La) - \sin(Lb) \cdot \cos(Ba - Bb)$. Untuk mudahnya, $\tan(B)$ dapat ditulis sama dengan y/x . Karena itu nilai sudut B yang sesuai bergantung pula dari positif atau negatifnya nilai x dan y. Dalam MS Excel, B dapat ditentukan dengan format $\text{atan2}(x, y)$.

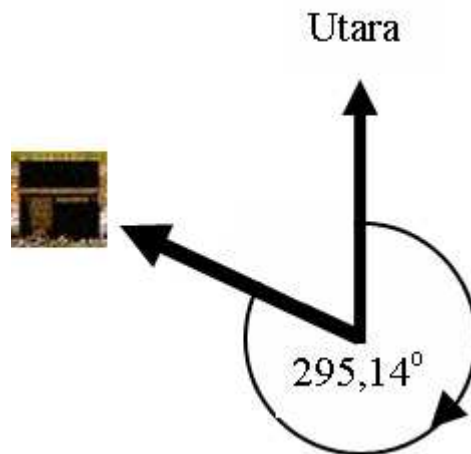
- Jika x positif dan y positif, $\tan(B)$ positif yang menghasilkan $0 < B < 90$.
- Jika x negatif dan y positif, $\tan(B)$ negatif yang menghasilkan $90 < B < 180$.
- Jika x negatif dan y negatif, $\tan(B)$ positif yang menghasilkan $180 < B < 270$ atau $-180 < B < -90$.
- Jika x positif dan y negatif, $\tan(B)$ negatif yang menghasilkan $270 < B < 360$ atau $-90 < B < 0$. Untuk dua kasus terakhir diatas, jika B negatif, tambahkan dengan 360 derajat.

Sebagai informasi koordinat Kabah adalah bujur $Ba = 39:49:34,18 \text{ E} = 39,82616111$ derajat dan lintang $La = 21:25:21,03 \text{ N} = 21,42250833$ derajat. Berikut ini contoh arah kiblat beberapa tempat.

Soal: Tentukan arah kiblat dari masjid Istiqlal (Bujur Bb = 106,8307333 derajat dan lintang Lb = -6,169777778 derajat).

Jawab:

- $Ba - Bb = -67,00457219$ derajat.
- $\sin(Ba - Bb) = -0,92053603$.
- $\cos(Ba - Bb) = 0,39065767$.
- $\sin(Lb) = -0,10747495$.
- $\cos(Lb) = 0,99420779$.
- $\tan(La) = 0,39234896$.
- Dari angka-angka di atas, diperoleh $\tan(B) = -0,92053603/0,43206231 = -2,13056314$.
- Dari nilai $\tan(B)$ di atas, $-90 < B < 0$ atau $270 < B < 360$.
- Azimuth arah kiblat = sudut B = $-64,8565421$ derajat = $295,1434579$ derajat = 295 derajat 8 menit busur 36 detik busur = 295:8:36. Ini berarti arah kiblat dari masjid Istiqlal adalah ke arah barat lalu miring ke kanan sebesar 25,14 derajat.



Gambar 2.5. Arah kiblat dari Masjid Istiqlal sebesar 295,14 derajat dari arah utara searah jarum jam.

Soal: Tentukan arah kiblat dari kota Fukuoka, Japan (Bujur Bb = 130:27 E = 130,45 derajat dan lintang Lb = 33:35 N = 33,5833 derajat).

Jawab:

- $\tan(B) = -0,99994/0,33288 = -3,00389$.
- Arah kiblat dari kota Fukuoka = $B = -71,587$ derajat = $288,412$ derajat.

Soal: Tentukan arah kiblat dari kota New York (Bujur $Bb = 73:58$ W = $-73,9667$ derajat dan Lintang $Lb = 40:47$ N = $40,7833$ derajat).

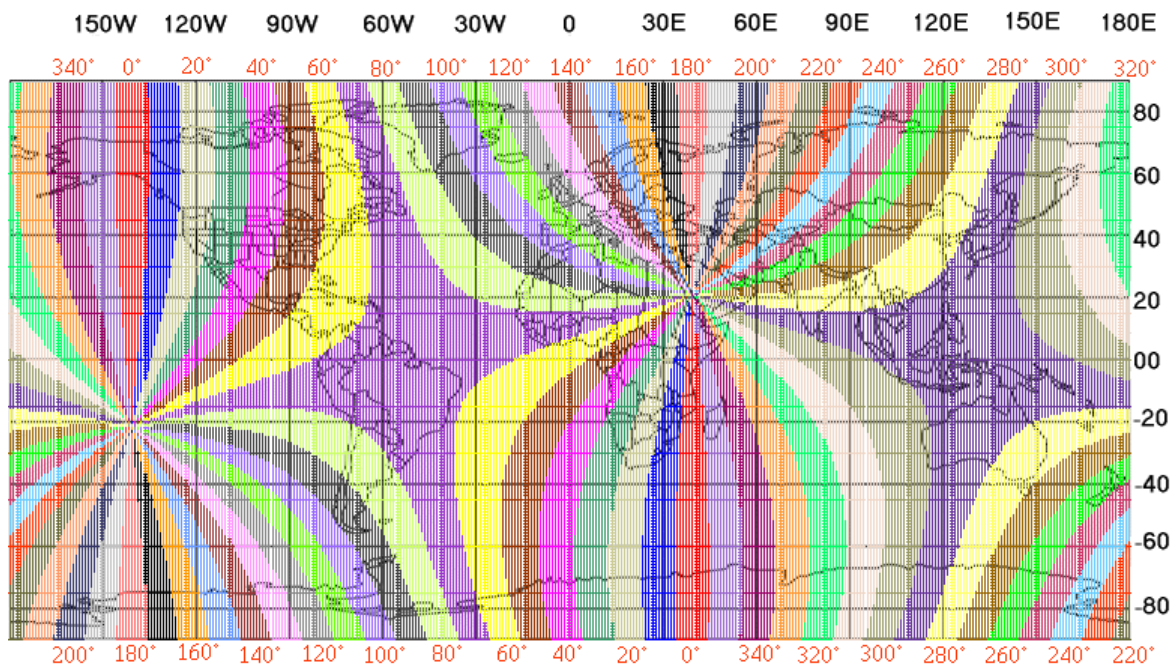
Jawab:

- $\tan(B) = 0,9150/0,5606 = 1.6322$.
- Arah kiblat dari kota New York = $B = 58,5053$ derajat.

Arah kiblat dari kota New York menuju ke arah timur laut atau northeast (catatan: penyebutan yang lebih tepat untuk arah kiblat dari New York adalah east northeast, yaitu arah antara timurlaut dan timur). Secara umum arah kiblat dari kota di Amerika menuju ke arah timurlaut dengan sudut azimuth bervariasi antara $18 - 63$ derajat, bergantung dari lokasinya. Ini penulis sampaikan disini, sebab di Amerika pernah terjadi polemik soal arah kiblat. Banyak yang berpendapat bahwa arah kiblat dari Amerika adalah tenggara (southeast). Yang berpendapat ke arah tenggara ini, nampaknya karena dari peta datar bumi (*Mercator projection map*), jika ditarik garis lurus dari Amerika ke Arab Saudi, arahnya menuju ke tenggara. Padahal bumi berbentuk bola, bukan bidang datar. Arah tenggara dari Amerika tidak akan menuju ke Ka'bah. Ini dapat dibuktikan dengan mudah menggunakan bola globe (atau software Google Earth).

Jika ditarik garis lurus (menggunakan tali/benang) dari New York ke arah tenggara (azimuth 135 derajat), maka rutenya kurang lebih akan melewati Brazil bagian timur, Samudra Atlantik Selatan, Samudra antara Afrika dan benua Antartika, Samudra Hindia bagian selatan, Australia, Papua, Samudra Pasifik, Kanada dan kembali ke New York. Arah tenggara tidak pernah sampai ke Ka'bah. Sedangkan jika dari New York menggunakan arah kiblat yang benar yaitu $58,5$ derajat, maka rutenya adalah Samudra Atlantik Utara, Perancis, Italia Selatan, Laut Mediterania, Mesir, Laut Merah dan sampai ke Ka'bah Masjidil Haram. Jika rute ini diteruskan, maka akan melewati Laut Hindia, Laut Selatan Australia, Samudra Pasifik, Meksiko dan akhirnya kembali ke New York.

Arah kiblat dari seluruh tempat di bumi dapat dilihat pada Gambar 2.6. Sebagai contoh, arah kiblat dari Indonesia adalah pada angka 290–an derajat, dari Afrika Selatan sekitar 20–an, dari Inggris sekitar 110–120 derajat. Tentu saja, arah kiblat yang tepat akan bergantung dari posisi setiap tempat.



Gambar 2.6. Arah kiblat dari seluruh tempat di bumi.

Ada satu posisi yang menarik untuk dikaji, yaitu tempat yang merupakan titik antipodal Ka'bah. Titik ini adalah titik yang paling jauh dari Ka'bah, dimana bujuranya berselisih 180 derajat dengan bujur Ka'bah dan lintangnya tepat berlawanan dengan lintang Ka'bah. Hanya sebuah pengandaian saja, jika dapat dibuat terowongan dari Ka'bah menembus pusat bumi maka ujung terowongan tersebut akan sampai di titik antipodal Ka'bah. Jadi titik antipodal Ka'bah memiliki bujur $140:10:25,42\text{ W} = -140,17383889$ derajat dan lintang $21:25:21,03\text{ S} = -21,42250833$ derajat. Di titik antipodal ini, ke arah mana saja orang menghadap maka pasti akan menuju Ka'bah. Ini dapat ditunjukkan dengan rumus arah kiblat di atas. Jika dimasukkan lokasi berupa titik antipodal Ka'bah, maka nilai $\tan(B) = 0/0$. Kita tahu bahwa $0/0$ bisa bernilai berapa saja, sehingga B dapat bernilai berapa saja. Namun secara kebetulan, titik antipodal itu terletak di Samudra Pasifik dan tidak ada orang yang tinggal di sana.

Titik lain yang menarik untuk dikaji adalah titik ekstrim kutub Utara dan kutub Selatan. Tepat di titik kutub Utara, lintang sama dengan 90 derajat, sedangkan bujur tidak dapat didefinisikan. Jika orang berdiri di titik tersebut, kemanapun arah menghadap adalah selatan. Bagaimanakah caranya menentukan arah kiblat di titik tersebut? Buat lingkaran berjari-jari kira-kira 1 meter yang berpusat di titik tersebut. Selanjutnya tentukan titik bujur nol yang menlambangkan bujur Greenwich di lingkaran tersebut (bukan di titik kutub Utara, sebab di titik kutub Utara tidak ada bujur). Selanjutnya dari titik bujur nol tersebut, tentukan sudut berlawanan dengan jarum jam yang besarnya sama dengan bujur Ka'bah. Maka titik sudut yang besarnya sama dengan bujur Ka'bah ini adalah arah kiblat dari titik kutub Utara.

Selanjutnya jika kita telah mengetahui sudut azimuth kiblat, bagaimanakah caranya menentukan arah yang tepat? Tentukan kutub utara sejati (true north). Jika kita menggunakan kompas, arah utara pada kompas tidak menunjukkan arah utara yang sebenarnya tetapi mengalami penyimpangan magnet (magnetic declination) beberapa derajat yang disebabkan oleh medan magnet bumi. Besarnya penyimpangan ini harus diperhitungkan dalam menentukan arah utara yang sebenarnya. Nilai penyimpangan ini bergantung pada posisi dan juga waktu. Besarnya magnetic declination dapat dilihat di website

<http://www.ngdc.noaa.gov/geomagmodels/Declination.jsp>

Secara praktis, arah kiblat dapat pula ditentukan dengan menggunakan peralatan GPS. Dalam peralatan GPS, posisi pengamat (bujur, lintang, ketinggian) dapat ditentukan dengan akurasi sangat tinggi. Beberapa cara lain untuk menentukan arah kiblat, diantaranya adalah:

1. Menggunakan website www.qiblalocator.com

Buka website tersebut yang contentnya sama dengan Google Maps (www.maps.google.com), kemudian carilah titik yang akan ditentukan arah kiblatnya. Arah kiblat pada titik atau tempat tersebut ditandai dengan garis menuju arah kiblat. Rumus sudut azimuth arah kiblat pada website tersebut sama dengan rumus

trigonometri di atas. Selain arah kiblat, jarak antara titik tersebut dengan Ka'bah juga dapat diperoleh.

2. Menggunakan Google Earth

Jalankan software Google Earth. Carilah lokasi Ka'bah. Selanjutnya klik menu “ruler” untuk membuat garis antara Ka'bah dengan tempat anda. Selanjutnya Garis antara Ka'bah dengan tempat anda menunjukkan arah kiblat.

Ada sebuah cara klasik yang selalu akurat yaitu saat matahari tepat berada di atas Ka'bah. Saat matahari tepat di atas Ka'bah, arah bayangan matahari menunjukkan arah kiblat. Dalam satu tahun, matahari tepat berada di atas Ka'bah sebanyak dua kali, yaitu tanggal 28 Mei sekitar pukul 16.18 WIB dan tanggal 16 Juli sekitar pukul 16.28 WIB.

2.2.3. Hari Meluruskan Arah Kiblat

Diantara tanda–tanda kekuasaan Allah SWT adalah Dia menjalankan matahari di lintasan yang teratur. Keteraturan lintasan dan pergerakan matahari dapat dipelajari oleh manusia sehingga dapat dimanfaatkan untuk keperluan hidup manusia sehari–hari. Demikian pula, keteraturan ini menjadi patokan jelas dalam menentukan waktu–waktu shalat setiap hari.

Ternyata, ada hubungan antara Ka'bah sebagai arah kiblat dalam shalat dengan pergerakan matahari. Kita tahu, bahwa posisi lintang Ka'bah adalah 21 derajat 25 menit busur 22 detik busur Lintang Utara (LU) atau 21,42278 derajat. Sementara itu, deklinasi matahari sepanjang satu tahun berubah secara periodik, berkisar dari sekitar minus 23,5 derajat hingga 23,5 derajat. Ternyata, lintang Ka'bah berada di dalam rentang deklinasi matahari. Ada dua kali peristiwa dalam setahun, ketika deklinasi matahari sama atau mendekati nilai lintang Ka'bah tersebut. Maka, saat itu di siang hari, matahari akan tepat atau hampir tepat di atas Ka'bah. Dengan demikian, bayangan setiap benda pasti akan menuju ke Ka'bah, sehingga arah kiblat dengan tepat dapat ditentukan saat matahari tepat di atas Ka'bah.

Hal ini dapat dibuktikan dengan rumus transformasi koordinat antara koordinat ekuator geosentrik dengan koordinat horison (Lihat tulisan tentang Transformasi Sistem Koordinat). Salah satu rumusnya adalah

$$\sin(\text{altitude}) = \sin(\text{deklinasi}) * \sin(\text{lintang}) + \cos(\text{deklinasi}) * \cos(\text{lintang}) * \cos(\text{hour angle}).$$

Pada saat tengah hari, hour angle = 0 derajat. Nilai $\cos(0) = 1$. Karena matahari ada di atas kepala, maka altitude = 90 derajat. Nilai $\sin(90) = 1$. Rumus di atas menjadi

$$\sin(\text{deklinasi}) * \sin(\text{lintang}) + \cos(\text{deklinasi}) * \cos(\text{lintang}) = 1.$$

Ini hanya mungkin, jika deklinasi = lintang, karena rumus $\sin * \sin + \cos * \cos = 1$. Sekarang tinggal dicek, kapan deklinasi matahari nilainya sama atau paling mendekati lintang tempat tersebut.

Deklinasi matahari berubah-ubah sepanjang tahun secara periodik (seperti grafik fungsi sinus atau cosinus). Nilai rata-rata deklinasi matahari setiap hari selama satu tahun dapat dilihat di

http://www.wsanford.com/~wsanford/exo/sundials/DEC_Sun.html

Untuk tanggal dan bulan yang sama dengan tahun berbeda, tentu saja nilai deklinasi matahari ini dapat berbeda sedikit, kira-kira dalam orde beberapa menit busur saja. Dari daftar tersebut, nampak bahwa nilai deklinasi matahari yang mendekati lintang Ka'bah terjadi pada tanggal 28 Mei dan 16 Juli.

Tugas selanjutnya adalah menentukan pada jam berapakah, matahari berada di atas Ka'bah. Saat itu adalah waktu zhuhur, dimana matahari melewati garis meridian sehingga memiliki altitude maksimum. Untuk menentukan waktu zhuhur, perlu diketahui tiga parameter, yaitu koordinat bujur setempat, koordinat waktu referensi, serta Equation of Time.

Ka'bah terletak pada bujur 39 derajat 49 menit busur 34 detik busur Bujur Timur (BT) atau 39,8261 derajat. Waktu lokal Ka'bah adalah UT + 3 derajat sehingga koordinat bujur referensi adalah $3 * 15 = 45$ derajat. Sementara itu Equation of Time untuk tanggal 28 Mei dan 16 Juli berturut-turut adalah sekitar 2 menit 56 detik = 2,93 menit dan

minus 5 menit 52 detik = - 5,88 menit. Rata-rata nilai Equation of Time sepanjang tahun dapat dilihat di

<http://freepages.pavilion.net/users/aghelyar/sundat.htm>

(Nilai Equation of Time untuk satu tanggal sama dengan tahun berbeda dapat berubah, namun hanya dalam orde detik saja)

Jika matahari kita adalah matahari fiktif yang bergerak dengan kecepatan konstan, serta koordinat bujur tempat kita tepat sama dengan koordinat bujur referensi, maka matahari fiktif tersebut selalu melewati meridian pada pukul 12.00 tepat waktu setempat. Namun karena matahari kita bergerak dengan kecepatan yang tidak sama, maka dibutuhkan faktor koreksi berupa Equation of Time (ET). Demikian pula, diperlukan koreksi perbedaan bujur tempat kita dengan bujur referensi. Hasilnya adalah pergeseran waktu saat zhuhur dari jam 12.00, yang dirumuskan sebagai berikut.

- Pergeseran waktu (dalam jam) = $[\text{Bujur referensi} - \text{Bujur tempat}] / 15 - \text{ET} / 60$.
- Pada ruas kanan persamaan di atas, selisih bujur dibagi 15 agar satuannya jam (15 derajat = 1 jam). Karena ET bersatuan menit, maka dibagi 60 agar bersatuan jam.
- Apabila pergeseran waktu dinyatakan dalam menit, maka rumusnya menjadi
- Pergeseran waktu (dalam menit) = $4 * [\text{Bujur referensi} - \text{Bujur tempat}] - \text{ET}$.
- Untuk tanggal 28 Mei, nilai pergeserannya = $4 * [45 - 39,8261] - 2,93 = 17,8$ menit atau dibulatkan 18 menit. Berarti waktunya adalah pukul 12.18 waktu setempat.
- Sedangkan untuk tanggal 16 Juli, nilainya = $4 * [45 - 39,8261] - (-5,88) = 26,6$ menit atau dibulatkan 27 menit. Berarti waktunya adalah pukul 12.27 waktu setempat.

Kesimpulannya, matahari berada di atas Ka'bah pada tanggal 28 Mei pukul 12.18 waktu setempat, dan tanggal 16 Juli pukul 12.27 waktu setempat. Karena antara Waktu Indonesia Barat (WIB) dengan Ka'bah berselisih 4 jam, maka waktunya di wilayah Indonesia bagian Barat menjadi 28 Mei pukul 16.18 WIB dan 16 Juli pukul 16.27 WIB.

Cara melakukan pengukuran arah kiblat dengan metode ini adalah sebagai berikut. Cocokkan waktu dengan waktu standar. Pancangkan benda tipis seperti tongkat tegaklurus di atas tanah/lantai. Lakukan pengukuran pada saat yang tepat. Maka bayangan tongkat tersebut menunjukkan arah kiblat, atau dengan kata lain, arah kiblat sama dengan menghadap ke arah matahari saat itu.

Ada beberapa catatan tentang hari meluruskan arah kiblat di bawah ini.

Pertama, tanggal dan waktu di atas adalah rata-rata sepanjang tahun. Jika tahunnya adalah tahun kabisat (misalnya tahun 2000, 2008 dan lain-lain), tanggalnya dimajukan satu hari menjadi 27 Mei dan 15 Juli. Secara praktis, pengamatan dalam rentang satu-dua hari sebelum dan sesudah tanggal tersebut masih cukup akurat untuk menentukan arah kiblat. Jadi, pengamatan bisa pula dilakukan dalam rentang 26–30 Mei sekitar pukul 16.18 WIB atau 14–18 Juli pukul 16.27 WIB, meskipun tentu saja yang paling akurat adalah 28 Mei dan 16 Juli. Dalam rentang plus-minus dua hari tersebut, nilai Equation of Time hanya berubah sekitar 11–15 detik saja sehingga masih cukup akurat.

Kedua, hitungan di atas sudah cukup teliti untuk keperluan praktis. Adapun jika ingin diperoleh waktu yang lebih teliti lagi, maka harus digunakan algoritma VSOP87 yang berisi komponen longitude latitude dan distance planet-planet terhadap matahari. Dalam hal ini, dipilih algoritma untuk posisi bumi terhadap matahari, yang berarti sebaliknya juga, yaitu posisi matahari terhadap bumi. Dengan memperhitungkan koordinat Ka'bah seperti tersebut di atas, serta nilai $\Delta T = 65,2$ detik, maka pada tanggal 28 Mei 2009, matahari terletak di atas Ka'bah pada pukul 12:17:58 waktu setempat atau 16:17:58 WIB. Saat itu, altitude (ketinggian) titik pusat matahari adalah $89:54:47$ derajat = $89,913$ derajat (hampir mendekati 90 derajat) dan posisi titik pusat matahari terletak di sebelah utara titik zenith sehingga saat melewati meridian azimuthnya nol. Adapun untuk tanggal 16 Juli 2009, waktunya adalah pukul 12:26:46 waktu setempat atau 16:26:46 WIB. Saat itu, altitudenya adalah $89:53:17$ derajat = $89,888$ derajat dan azimuthnya saat melewati meridian adalah 180 derajat.

Ketiga, metode ini hanya dapat dilakukan pada hari cerah dimana matahari tidak terhalangi oleh awan gelap. Selain itu, metode ini hanya berlaku di daerah yang waktu lokalnya berselisih maksimum sekitar 5 hingga 5,5 jam dari Ka'bah, baik di sebelah timur (Asia) atau barat (Afrika dan Eropa). Atau bisa juga selisih waktunya lebih dari itu, namun posisi lintangnya cukup besar di daerah Utara sehingga matahari cukup lama di siang hari (seperti Jepang, selisih 6 jam dari Ka'bah) atau malah di dekat kutub Utara ketika matahari selalu ada di atas ufuk (seperti di Rusia Timur dekat Laut Bering). Jadi, pada tanggal 28 Mei maupun 16 Juli, tempat-tempat yang bisa melakukan metode ini adalah seluruh Afrika dan Eropa, Rusia, serta seluruh Asia kecuali Indonesia Timur (Papua). Di Papua, Australia maupun kepulauan di Samudera Pasifik, matahari sudah keburu tenggelam. Sebagai ilustrasi, pada tanggal 28 Mei di Jayapura (140 BT, 2 LS, ketinggian 0 meter dari permukaan laut, waktu lokal UT +9), matahari terbenam pada pukul 17:38 WIT atau pukul 15:38 WIB. Adapun sebaliknya baik di Amerika Utara dan Selatan, matahari belum terbit.

Keempat, untuk tempat-tempat yang tidak dapat melakukan metode ini, ada metode sebaliknya, yaitu ketika di Ka'bah posisi matahari tepat berada di bawah kaki (di titik Nadir). Dengan kata lain, saat itu altitude matahari di Ka'bah nilainya minus 90 derajat.

Dari rumus

$\sin(\text{altitude}) = \sin(\text{deklinasi}) * \sin(\text{lintang}) + \cos(\text{deklinasi}) * \cos(\text{lintang}) * \cos(\text{hour angle})$
maka situasi ketika $\text{altitude} = -90$ derajat atau $\sin(-90) = -1$, adalah ketika $\text{deklinasi} = \text{minus lintang}$, serta $\cos(\text{hour angle}) = -1$.

Nilai $\cos(\text{hour angle}) = -1$ bersesuaian dengan waktu tengah malam (midnight) di Ka'bah. Sementara itu deklinasi matahari bernilai sama dengan atau mendekati minus lintang Ka'bah terjadi pada 14 Januari dan 29 Nopember.

Dengan menggunakan hitungan mirip seperti di atas, serta memperhitungkan nilai ET maka pada tanggal 14 Januari 2009, matahari terletak di bawah Ka'bah pada pukul 00:29:36 waktu setempat atau pukul 06:29:36 WIT (Waktu Indonesia Timur). Altitude matahari di Ka'bah adalah minus 89:54:49 derajat = -89,9136 derajat. Saat itu, di Jayapura matahari ada di atas ufuk karena sudah terbit pada pukul 05:42 WIT. Pada

pukul 06:29:36 WIT di Jayapura, ketinggian matahari adalah sekitar 10 derajat dan azimuth matahari adalah sekitar 111,4 derajat. Azimuth ini berbeda 180 derajat dengan azimuth arah kiblat dari Jayapura sebesar 291,4 derajat. Dengan kata lain, dengan metode saat matahari tepat di bawah Ka'bah, arah kiblat sesuai dengan bayangan sinar matahari namun arahnya membelakangi matahari.

Demikian juga pada tanggal 29 Nopember 2009, matahari di bawah Ka'bah pada pukul 00:08:51 waktu setempat atau pukul 06:08:51 WIT dimana altitudenya minus 89:58:56 derajat = -89,9822 derajat. Di Jayapura saat itu matahari juga sudah ada di atas ufuk karena terbit pada pukul 05:21 WIT.

Kelima, prinsip umum dari metode ini adalah menentukan arah kiblat, dimana azimuth matahari dari tempat kita sama dengan arah azimuth kiblat. Karena itu sebenarnya matahari dapat juga diganti dengan benda langit yang lain, seperti bulan. Bulan bergerak dalam bidang orbitnya mengitari bumi yang kemiringannya sekitar 5 derajat dari bidang ekliptika. Sementara itu, seperti kita tahu bersama kemiringan bidang ekuator bumi dengan bidang ekliptika adalah sekitar 23,5 derajat. Jadi, maksimum deklinasi bulan bisa mencapai 28,5 derajat dan minimum deklinasi bulan bisa mencapai minus 28,5 derajat. Lintang Ka'bah terletak di antara dua nilai minimum-maksimum tersebut, sehingga memungkinkan bulan untuk berada tepat di atas Ka'bah. Hanya saja deklinasi bulan tidak berbentuk periodik sesederhana bentuk periodik deklinasi matahari, karena ada faktor lintang ekliptika bulan yang berubah-ubah (karena bidang orbit bulan tidak sejajar dengan bidang ekliptika). Akibatnya waktu saat bulan berada di atas Ka'bah tidak tetap sebagaimana tetapnya waktu matahari di atas Ka'bah.

Dengan menggunakan algoritma ELP82, dapat diketahui bahwa untuk tahun 2009 bulan berada di atas Ka'bah pada tanggal 6 Januari 2009 pukul 23:57:40 WIB dengan altitude 89,83 derajat, tanggal 24 Juni 2009 pukul 18:03:39 WIB dengan altitude 89,81 derajat, serta tanggal 8 Nopember 2009 pukul 08:58:57 WIB dengan altitude 89,57 derajat.

Di Jakarta, peristiwa di atas pada tanggal 6 Januari 2009 memungkinkan untuk diamati, hanya saja waktunya sudah lewat. Untuk tanggal 24 Juni 2009 juga memungkinkan,

meskipun saat itu bulan tergolong masih baru. Adapun pada tanggal 8 Nopember 2009 tidak memungkinkan untuk diamati di Jakarta maupun kota-kota lain di Indonesia, karena matahari sudah tinggi di atas ufuk.

Sebagai tambahan, bahasan kali ini juga memungkinkan kita untuk mencari tahu, kapankah matahari berada tepat di atas kepala di kota kita masing-masing di Indonesia. Ini memungkinkan, karena lintang di seluruh Indonesia terletak di dalam rentang minimum-maksimum deklinasi matahari. Untuk ilustrasi, untuk kota Jakarta (106:51:0 BT 6:10:0 LS), matahari berada di atas kepala pada 5 Maret 2009 pukul 12:04:08 WIB dengan altitude 89,835 derajat, dan pada 9 Oktober 2009 pukul 11:39:55 WIB dengan altitude 89,861 derajat.

2.3. Sistem Koordinat

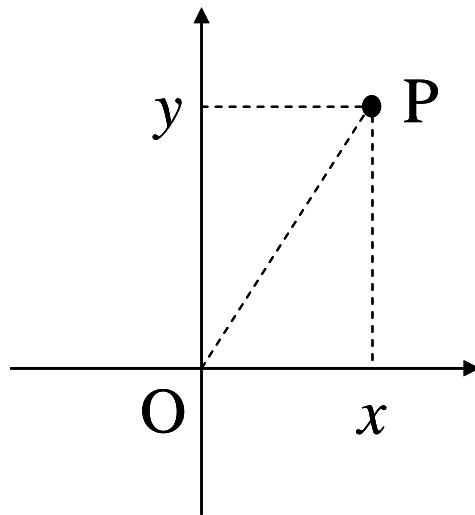
Alam semesta ini diciptakan dalam keadaan yang teratur rapi. Keteraturan gerakan bintang termasuk matahari, planet, satelit, komet dan benda langit lainnya menyebabkan gerakan benda-benda tersebut dapat dipelajari dengan seksama. Dengan memahami gerakan benda-benda langit tersebut, manusia dapat memperkirakan peristiwa-peristiwa yang terjadi di masa depan dengan akurat. Kapan matahari terbenam, terjadi bulan purnama, gerhana matahari dan lain-lain dapat dihitung dengan ketelitian tinggi.

Untuk memudahkan pemahaman terhadap posisi benda-benda langit, diperkenalkan beberapa sistem koordinat. Setiap sistem koordinat memiliki koordinat masing-masing. Posisi benda langit seperti matahari dapat dinyatakan dalam sistem koordinat tertentu. Selanjutnya nilainya dapat diubah ke dalam sistem koordinat yang lain melalui suatu transformasi koordinat.

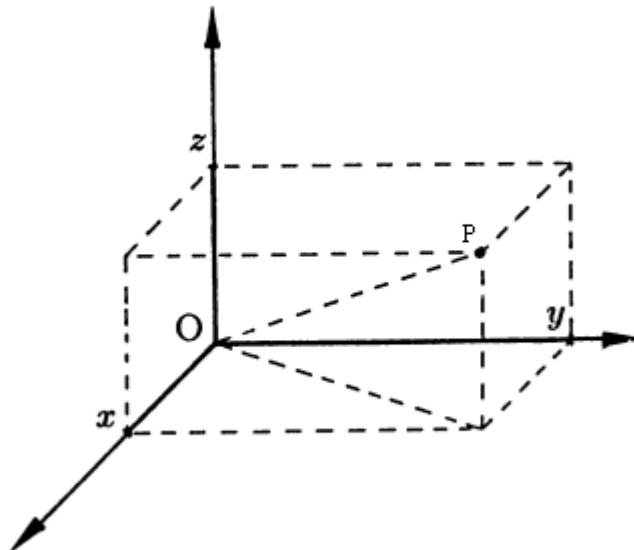
2.3.1. Sistem Koordinat 2 dan 3 dimensi

Untuk menyatakan posisi sebuah benda di dalam ruang, dibutuhkan suatu sistem koordinat yang memiliki pusat koordinat (origin) dan sumbu koordinat (axis). Sistem

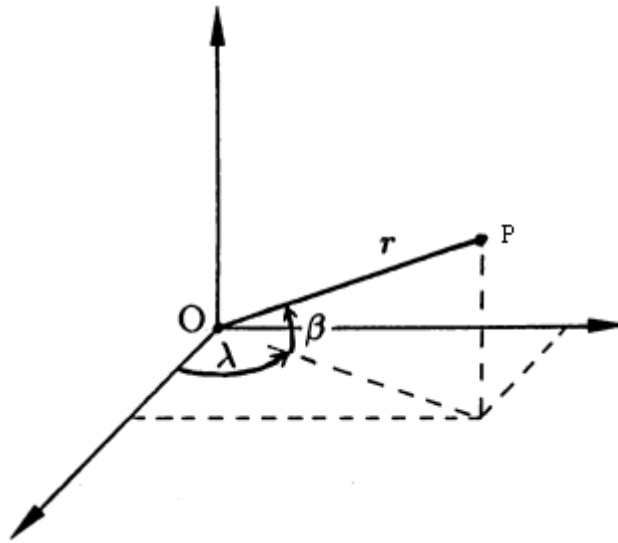
koordinat yang paling dasar/ sederhana adalah Kartesian (Cartesian). Jika kita berbicara ruang 2 dimensi, maka koordinat Kartesian 2 dimensi memiliki pusat di O dan 2 sumbu koordinat yang saling tegak lurus, yaitu x dan y. Dalam Gambar 2.7, titik P dinyatakan dalam koordinat x dan y.



Gambar 2.7. Koordinat Kartesian 2 dimensi (x, y)



Gambar 2.8. Koordinat Kartesian 3 dimensi (x, y, z)



Gambar 2.9. Koordinat Bola tiga dimensi (r , Alpha, Beta)

Selanjutnya koordinat Kartesian 2 dimensi dapat diperluas menjadi Kartesian 3 dimensi yang berpusat di O dan memiliki sumbu x , y dan z . Pada Gambar 2.8, titik P dapat dinyatakan dalam x , y dan z . OP adalah jarak titik P ke pusat O.

Koordinat Kartesian 3 dimensi (x , y , z) pada Gambar 2.8 dapat diubah menjadi Koordinat Bola (Spherical Coordinate) 3 dimensi (r , Alpha, Beta) seperti pada Gambar 2.9. Dalam koordinat Kartesian 3 dimensi, seluruh koordinat (x , y dan z) berdimensi panjang. Sedangkan dalam koordinat bola, terdapat satu koordinat yang berdimensi panjang (yaitu r) dan dua koordinat lainnya berdimensi sudut (yaitu Alpha dan Beta). Titik P masih tetap menyatakan titik yang sama dengan titik P pada Gambar 2.8. Jarak titik P ke pusat O sama dengan r . Jika titik P diproyeksikan ke bidang datar xy , maka sudut antara garis OP dengan bidang datar xy adalah Beta. Selanjutnya sudut antara proyeksi OP pada bidang xy dengan sumbu x adalah Alpha.

Di atas telah dibahas transformasi dari koordinat Kartesian ke koordinat bola. Berikut ini dibahas beberapa sistem koordinat yang penting dalam ilmu hisab, yaitu:

1. Sistem Koordinat Ekliptika Heliosentrik (*Heliocentric Ecliptical Coordinate*)
2. Sistem Koordinat Ekliptika Geosentrik (*Geocentric Ecliptical Coordinate*).
3. Sistem Koordinat Ekuator Geosentrik (*Geocentric Equatorial Coordinate*).
4. Sistem Koordinat Horison (*Horizontal Coordinate*).

Keempat sistem koordinat di atas termasuk ke dalam koordinat bola. Sebenarnya masih ada sistem koordinat lainnya, seperti Sistem Koordinat Ekuator Toposentrik (Topocentric Equatorial Coordinate).

Sekilas, banyaknya sistem koordinat di atas bisa membuat rumit. Namun pembagian sistem koordinat di atas berasal dari benda langit manakah yang dijadikan pusat koordinat, apakah bidang datar sebagai referensi serta bagaimana cara mengukur posisi benda langit lainnya.

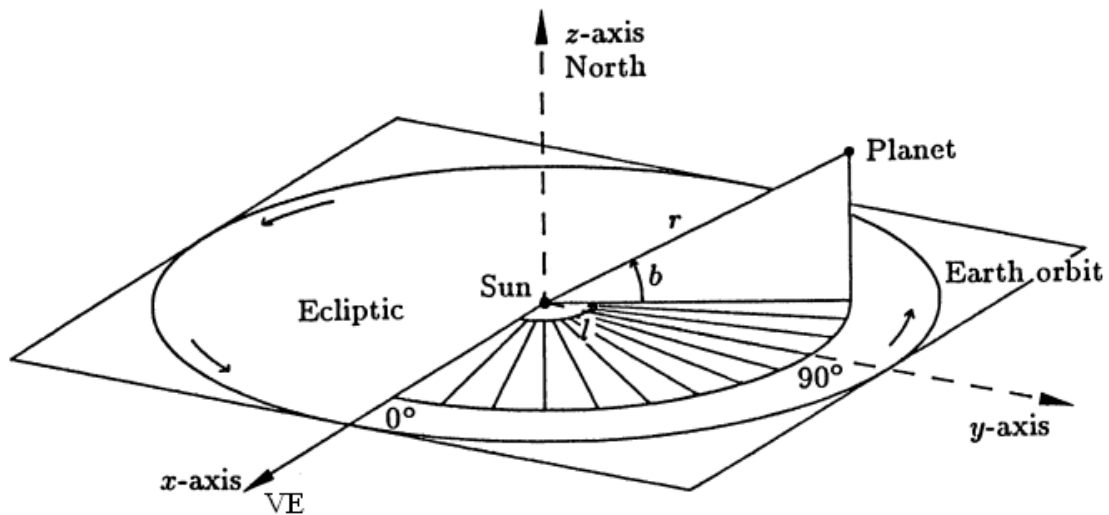
Sistem Koordinat Ekliptika Heliosentrik dan Sistem Koordinat Ekliptika Geosentrik sebenarnya identik. Yang membedakan keduanya hanyalah manakah yang menjadi pusat koordinat. Pada Sistem Koordinat Ekliptika Heliosentrik, yang menjadi pusat koordinat adalah matahari (helio = matahari). Sedangkan pada Sistem Koordinat Ekliptika Geosentrik, yang menjadi pusat koordinat adalah bumi (geo = bumi). Karena itu keduanya dapat digabungkan menjadi Sistem Koordinat Ekliptika. Pada Sistem Koordinat Ekliptika, yang menjadi bidang datar sebagai referensi adalah bidang orbit bumi mengitari matahari (heliosentrik) yang juga sama dengan bidang orbit matahari mengitari bumi (geosentrik).

2.3.2. Sistem Koordinat Ekliptika Heliosentrik

Pada koordinat Ekliptika Heliosentrik (Heliocentric Ecliptical Coordinate) ini, matahari (sun) menjadi pusat koordinat. Benda langit lainnya seperti bumi (earth) dan planet bergerak mengitari matahari. Bidang datar yang identik dengan bidang xy adalah bidang ekliptika yaitu bidang bumi mengitari matahari.

- Pusat koordinat: Matahari (Sun).
- Bidang datar referensi: Bidang orbit bumi mengitari matahari (bidang ekliptika) yaitu bidang xy.
- Titik referensi: Vernal Ekuinoks (VE), didefinisikan sebagai sumbu x.
- Koordinat:
 - r = jarak (radius) benda langit ke matahari

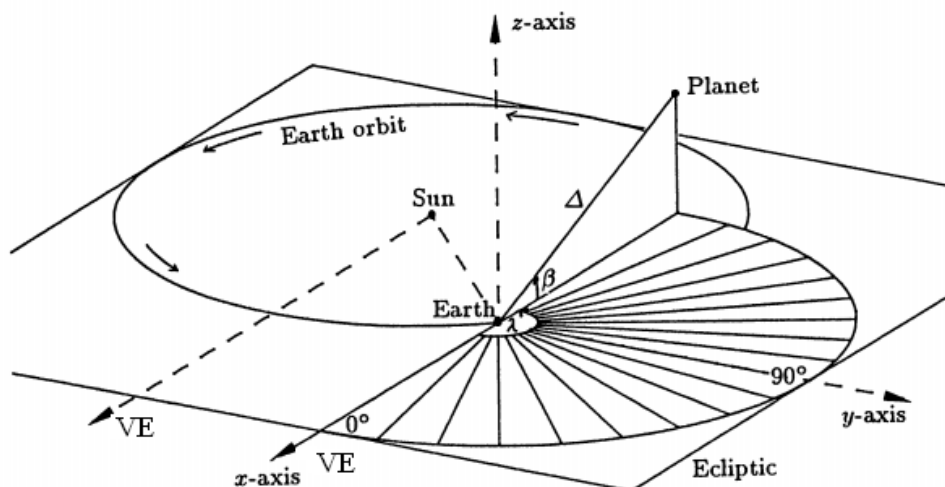
- l = sudut bujur ekliptika (ecliptical longitude), dihitung dari VE berlawanan arah jarum jam
- b = sudut lintang ekliptika (ecliptical latitude), yaitu sudut antara garis penghubung benda langit–matahari dengan bidang ekliptika.



Gambar 2.10. Sistem Koordinat Ekliptika Heliosentrik

2.3.3. Sistem Koordinat Ekliptika Geosentrik

Pada sistem koordinat Ekliptika Geosentrik (Geocentric Ecliptical Coordinate), bumi menjadi pusat koordinat. Matahari dan planet–planet lainnya nampak bergerak mengitari bumi. Bidang datar xy adalah bidang ekliptika, sama seperti pada ekliptika heliosentrik.



Gambar 2.11. Sistem Koordinat Ekliptika Geosentrik

- Pusat Koordinat: Bumi (Earth)
- Bidang datar referensi: Bidang Ekliptika (Bidang orbit bumi mengitari matahari, yang sama dengan bidang orbit matahari mengitari bumi) yaitu bidang xy.
- Titik referensi: Vernal Ekuinoks (VE) yang didefinisikan sebagai sumbu x.
- Koordinat:
 - Delta = jarak benda langit ke bumi (seringkali diabaikan atau tidak perlu dihitung)
 - Lambda = Bujur Ekliptika (Ecliptical Longitude) benda langit menurut bumi, dihitung dari VE.
 - Beta = Lintang Ekliptika (Ecliptical Latitude) benda langit menurut bumi yaitu sudut antara garis penghubung benda langit-bumi dengan bidang ekliptika

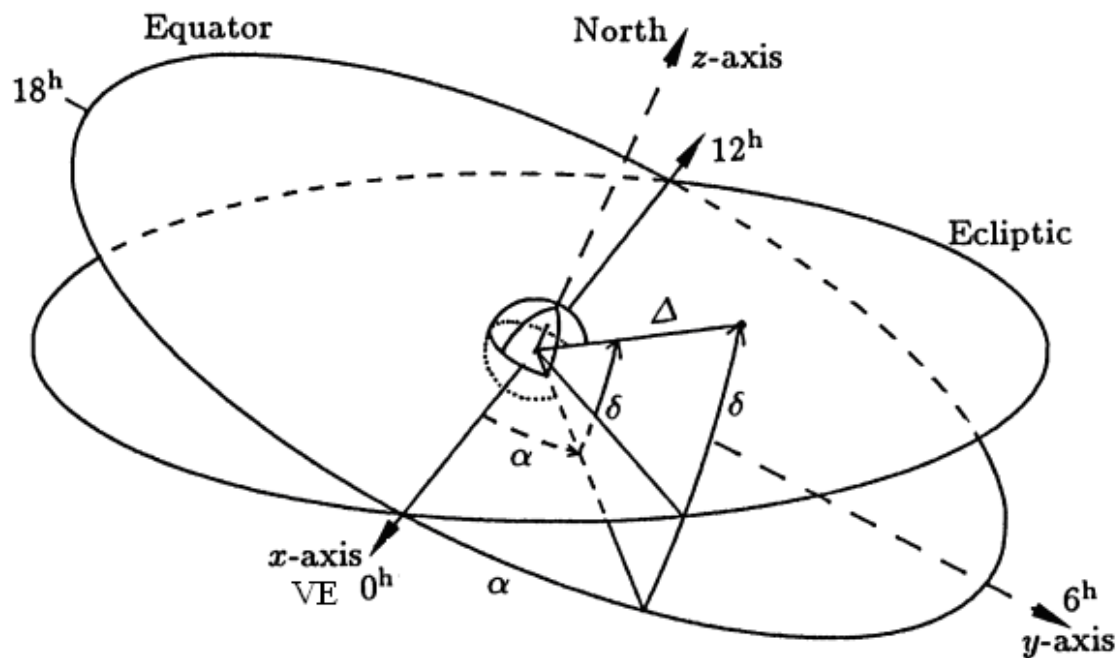
2.3.4. Sistem Koordinat Ekuator Geosentrik

Ketika bumi bergerak mengitari matahari di bidang Ekliptika, bumi juga sekaligus berotasi terhadap sumbunya. Penting untuk diketahui, sumbu rotasi bumi tidak sejajar dengan sumbu bidang ekliptika. Atau dengan kata lain, bidang ekuator tidak sejajar dengan bidang ekliptika, tetapi membentuk sudut kemiringan (epsilon) sebesar kira-kira 23,5 derajat. Sudut kemiringan ini sebenarnya tidak bernilai konstan sepanjang waktu. Nilainya semakin lama semakin mengecil.

- Pusat koordinat: Bumi
- Bidang datar referensi: Bidang ekuator, yaitu bidang datar yang mengiris bumi menjadi dua bagian melewati garis khatulistiwa
- Koordinat:
 - Delta = jarak benda langit ke bumi.
 - Alpha = Right Ascension = Sudut antara VE dengan proyeksi benda langit pada bidang ekuator, dengan arah berlawanan jarum jam. Biasanya Alpha bukan dinyatakan dalam satuan derajat, tetapi jam (hour disingkat h). Satu putaran penuh = 360 derajat = 24 jam = 24 h. Karena itu jika

Alpha dinyatakan dalam derajat, maka bagilah dengan 12 untuk memperoleh satuan derajat. Titik VE menunjukkan 0 h.

- Delta = Declination (Deklinasi) = Sudut antara garis hubung benda langit-bumi dengan bidang ekliptika. Nilainya mulai dari -90 derajat (selatan) hingga 90 derajat (utara). Pada bidang ekuator, deklinasi = 0 derajat.



Gambar 2.12. Sistem Koordinat Ekuator Geosentrik

Seringkali, Alpha (right ascension) dinyatakan dalam bentuk H (hour angle). Hubungan antara Alpha dengan H adalah

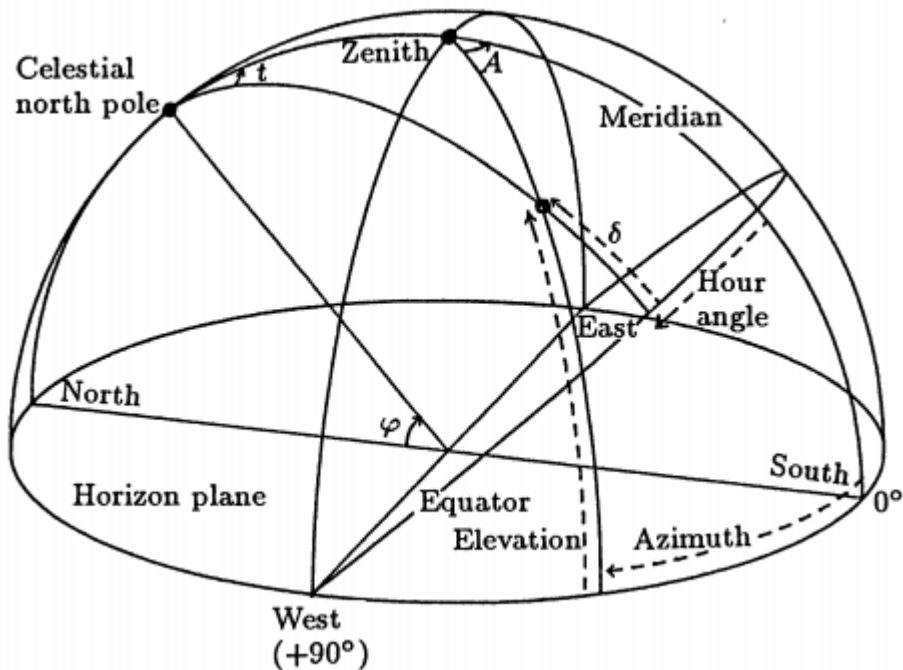
$$H = \text{LST} - \alpha.$$

Disini, LST adalah Local Sidereal Time, yang sudah dibahas sebelumnya pada topik tentang Macam-Macam Waktu.

2.3.5. Sistem Koordinat Horizontal

Pada sistem koordinat ini, pusat koordinat adalah posisi pengamat (bujur dan lintang) yang terletak di permukaan bumi. Kadang-kadang, ketinggian pengamat dari

permukaan bumi juga ikut diperhitungkan. Bidang datar yang menjadi referensi seperti bidang xy adalah bidang horison (bidang datar di sekitar pengamat di permukaan bumi).



Gambar 2.13. Sistem Koordinat Horison

- Pusat koordinat: Pengamat di permukaan bumi
- Bidang datar referensi: Bidang horison (Horizon plane)
- Koordinat:
 - h (Altitude) = sudut ketinggian benda langit dari bidang horison. $h = 0$ derajat berarti benda di bidang horison. $h = 90$ derajat dan -90 derajat masing-masing menunjukkan posisi di titik zenith (tepat di atas kepala) dan nadir (tepat di bawah kaki).
 - A (Azimuth) = Sudut antara arah Utara dengan proyeksi benda langit ke bidang horison.

Jarak benda langit ke pengamat dalam sistem koordinat ini seringkali diabaikan, karena telah dapat dihitung sebelumnya dalam sistem koordinat ekliptika.

Catatan penting: Dalam banyak buku referensi, azimuth seringkali diukur dari arah selatan (South) yang memutar ke arah barat (West). Gambar 2.13 di atas juga menunjukkan bahwa azimuth diukur dari arah Selatan. Namun demikian, dalam

pemahaman umum, orang biasanya menjadikan arah Utara sebagai titik referensi. Karena itu disini sudut azimuth diukur dari arah Utara. Untuk membedakannya, lambang untuk azimuth dari arah selatan dinyatakan sebagai A_s , sedangkan azimuth dari arah utara dinyatakan sebagai A saja. Hubungan antara A_s dan A adalah $A = A_s - 180$ derajat. Bisa juga $A = A_s + 180$ derajat. Jika A_s atau A negatif, tinggal tambahkan 360 derajat. Sebaliknya, jika A_s atau A lebih besar dari 360 derajat, maka tinggal dikurangi dengan 360 derajat.

Suatu sistem koordinat dengan sistem koordinat lainnya dapat dihubungkan melalui transformasi koordinat. Misalnya, dari algoritma untuk menghitung posisi bulan menurut sistem koordinat ekliptika geosentrik, kita dapat menentukan jarak bulan dari pusat bumi, sudut λ dan β . Selanjutnya, sudut λ dan β ditransformasi untuk mendapat sudut α dan δ dalam sistem koordinat ekuator geosentrik. Dari α dan β , serta memperhitungkan posisi pengamat (bujur dan lintang) dan waktu saat pengamatan/penghitungan, maka sudut ketinggian (altitude) dan azimuth bulan menurut sistem koordinat horison dapat diketahui dengan tepat.

2.4. Transformasi Sistem Koordinat

Di atas telah dijelaskan tentang empat sistem koordinat yang penting untuk diketahui dalam ilmu hisab, yaitu:

1. Sistem Koordinat Ekliptika Heliosentrik (*Heliocentric Ecliptical Coordinate*)
2. Sistem Koordinat Ekliptika Geosentrik (*Geocentric Ecliptical Coordinate*).
3. Sistem Koordinat Ekuator Geosentrik (*Geocentric Equatorial Coordinate*).
4. Sistem Koordinat Horison (*Horizontal Coordinate*).

Pertanyaan penting adalah bagaimana cara menghubungkan antar sistem koordinat tersebut. Suatu sistem koordinat dapat dihubungkan dengan sistem koordinat lainnya melalui transformasi koordinat. Disini hanya akan dibatasi pada transformasi dari ekliptika geosentrik (no 2) ke ekuator geosentrik (no 3) dan sebaliknya, serta dari ekuator geosentrik (no 3) ke horison (no 4).

2.4.1. Transformasi Koordinat dari Ekliptika Geosentrik (Lambda, Beta) ke Ekuator Geosentrik (Alpha, Delta).

Dalam koordinat ekliptika geosentrik, sudut lambda adalah bujur ekliptika (ecliptical longitude) yang dihitung dari vernal ekuinoks (VE), sedangkan sudut beta adalah lintang ekliptika (ecliptical latitude) atau sudut ketinggian yang dihitung dari bidang ekliptika.

Vernal ekuinoks ditunjukkan oleh $\lambda = \beta = 0$ derajat. Semua benda yang terletak pada bidang ekliptika memiliki nilai $\beta = 0$. Nilai beta positif menunjukkan posisi benda di atas (arah utara) bidang ekliptika. Beta negatif berarti benda di bawah bidang ekliptika.

Menurut sistem koordinat ekliptika heliosentrik, bumi mengitari matahari di bidang ekliptika. Sebaliknya menurut sistem koordinat ekliptika geosentrik, matahari nampak bergerak mengitari bumi yang tentu saja juga di bidang ekliptika yang sama. Karena itu, baik bumi maupun matahari secara praktis memiliki nilai $\beta = 0$ derajat. Dikatakan secara praktis memiliki nilai $\beta = 0$, karena sebenarnya nilainya tidak benar-benar tepat sama dengan 0. Akibat pengaruh gravitasi dari planet-planet lain, nilai maksimum beta untuk bumi atau matahari bisa mencapai (positif/negatif) satu detik busur atau $1/3600$ derajat.

Cara menentukan besar bujur dan lintang ekliptika suatu benda langit adalah sebagai berikut. Bumi terletak di pusat koordinat (O). Misalnya benda langit tersebut adalah P. Proyeksikan atau tarik garis tegaklurus dari benda langit tersebut (P) ke bidang ekliptika. Titik proyeksi pada bidang ekliptika sebut saja titik A. Maka, beta adalah besar sudut P-O-A. Jika P di atas bidang ekliptika, beta positif. Jika P di bawah bidang ekliptika, beta negatif. Sedangkan lambda adalah besar sudut VE-O-A, dimana VE adalah vernal ekuinoks.

Pada bidang ekuator geosentrik, bidang yang menjadi referensi adalah bidang ekuator bumi, yaitu bidang yang mengiris bumi menjadi dua bagian sama besar yang melewati

garis ekuator atau garis khatulistiwa. Dua koordinat sudut dalam koordinat ekuator geosentrik adalah sudut alpha dan delta. Sudut alpha (right ascension) mirip seperti bujur ekliptika (lambda), hanya saja disini bidang referensinya adalah bidang ekuator. Sudut delta (declination) juga mirip seperti lintang ekliptika (beta), hanya saja disini bidang referensinya juga bidang ekuator.

Karena itu cara menentukan sudut alpha dan delta mirip seperti pada sudut lambda dan beta, hanya saja bidang referensinya adalah bidang ekuator. Kembali untuk benda langit yang sama (P), jika P diproyeksikan tegaklurus ke bidang ekuator, dan titik proyeksi di bidang ekuator adalah titik B, maka delta adalah sudut P-O-B, dimana O adalah pusat koordinat (bumi). Sedangkan sudut alpha adalah sudut VE-O-B.

Sangat penting untuk diketahui, bidang ekuator tidak sejajar dengan bidang ekliptika, tetapi membentuk sudut kemiringan (obliquity) sebesar epsilon yang besarnya kira-kira sebesar 23,5 derajat. Sudut ini sebenarnya tidak konstan sepanjang masa, tetapi ada kecenderungan untuk terus mengecil. Saat ini, angka sudut kemiringan adalah sebesar 23,43808 derajat = 23:26:17 derajat = 23d 26m 17s (dibaca 23 derajat 26 menit busur 17 detik busur). Angka sudut kemiringan yang lebih akurat jika memperhitungkan faktor koreksi seperti nutasi (osilasi sumbu rotasi bumi di sekitar nilai rata-ratanya) adalah 23,439607 derajat = 23:26:23 derajat.

Rumus transformasi koordinat dari Ekliptika Geosentrik (Lambda, Beta) ke Ekuator Geosentrik (Alpha, Delta) adalah sebagai berikut.

$$\lambda = \text{lambda}, \beta = \text{beta}$$

$$\alpha = \text{alpha}, \delta = \text{delta}$$

$$\varepsilon = \text{epsilon}$$

$$\tan(\alpha) = \frac{\sin(\lambda)\cos(\varepsilon) - \tan(\beta)\sin(\varepsilon)}{\cos(\lambda)}.$$

$$\sin(\delta) = \sin(\beta)\cos(\varepsilon) + \sin(\lambda)\cos(\beta)\sin(\varepsilon).$$

Contoh soal:

Pada hari Sabtu, 25 April 2009 saat matahari terbenam di Jakarta pada pukul 17:48:08 WIB, posisi bulan terletak pada bujur ekliptika adalah 39:27:54 derajat, sedangkan lintang ekliptika adalah 4:59:18 derajat. Jika sudut kemiringan ekliptika-ekuator = 23,439607 derajat, tentukan sudut alpha dan delta.

Jawab:

- $\text{Lambda} = 39:27:54 \text{ derajat} = 39 + 27/60 + 54/3600 = 39,46500 \text{ derajat}.$
- $\text{Beta} = 4:59:18 \text{ derajat} = 4 + 59/60 + 18/3600 = 4,98833 \text{ derajat}.$
- $\text{Epsilon} = 23,439607 \text{ derajat}.$
- $\text{Sin}(\text{Lambda}) = 0,635607$, dan $\text{Cos}(\text{Lambda}) = 0,772013$.
- $\text{Sin}(\text{Beta}) = 0,086953$, $\text{Cos}(\text{Beta}) = 0,996212$, dan $\text{Tan}(\text{Beta}) = 0,087283$.
- $\text{Sin}(\text{Epsilon}) = 0,397782$, dan $\text{Cos}(\text{Epsilon}) = 0,917480$.
- Dari angka-angka di atas, diperoleh
- $\text{Tan}(\text{Alpha}) = 0,548437/0,772013 = 0,710398$.
- $\text{Alpha} = 35,389914 \text{ derajat}.$ Karena sudut Alpha biasanya dinyatakan dalam jam (1 jam = 15 derajat), maka $\text{Alpha} = 35,389914/15 = 2,359328 = 2\text{h}:21\text{m}:34\text{s}$ (2 jam 21 menit 34 detik).
- Sementara itu $\text{Sin}(\text{Delta}) = 0,331653$.
- $\text{Delta} = 19,369136 \text{ derajat} = 19:22:9 \text{ derajat}$ (19 derajat 22 menit busur 9 detik busur).
- Kesimpulan: $\text{Alpha} = 2\text{h}:21\text{m}:34\text{s}$ dan $\text{Delta} = 19:22:9 \text{ derajat}.$

2.4.2. Transformasi koordinat dari Ekuator Geosentrik (Alpha, Delta) ke Ekliptika Geosentrik (Lambda, Beta)

Ini adalah kebalikan dari transformasi koordinat sebelumnya. Rumus transformasi koordinat dari Ekuator Geosentrik (Alpha, Delta) ke Ekliptika Geosentrik (Lambda, Beta) adalah

$$\tan(\lambda) = \frac{\sin(\alpha) \cos(\varepsilon) + \tan(\delta) \sin(\varepsilon)}{\cos(\alpha)}$$

$$\sin(\beta) = \sin(\delta) \cos(\varepsilon) - \sin(\alpha) \cos(\delta) \sin(\varepsilon).$$

Contoh soal:

Pada waktu dan tempat yang sama seperti pada contoh soal di atas, posisi matahari di koordinat ekuator geosentrik adalah sebagai berikut. Alpha = 2h:12m:17,5s dan Delta = 13:18:40,3 derajat. Tentukan nilai Lambda dan Beta untuk matahari.

Jawab:

- Alpha = 2h:12m:17,5s = $(2 + 12/60 + 17,5/3600) \times 15$ derajat = 33,072917 derajat.
- Delta = 13:18:40,3 derajat = $13 + 18/60 + 40,3/3600$ derajat = 13,311194 derajat.
- Epsilon = 23,439607 derajat.
- Sin(Alpha) = 0,545706, dan Cos(Alpha) = 0,837977.
- Sin(Delta) = 0,230240, Cos(Delta) = 0,973134 dan Tan(Delta) = 0,236596.
- Sin(Epsilon) = 0,397782, dan Cos(Epsilon) = 0,917480.
- Karena itu nilai Tan(Lambda) = $0,594788/0,837977 = 0,709791$.
- Lambda = 35,366773 derajat = 35:22:0,3 derajat = 35 derajat 22 menit busur dan 0,3 detik busur.
- Sin(Beta) = 0,0000002.
- Beta = 0,000013 derajat = 0:0:0,05 derajat = 0,05 detik busur.
- Kesimpulan: Lambda = 35:22:0,3 derajat dan Beta = 0,05 detik busur. Perhatikan sudut Beta untuk matahari yang nilainya sangat dekat dengan nol derajat.

2.4.3. Transformasi koordinat dari Ekuator Geosentrik (Alpha, Delta) ke Horison (h, A)

Pengamat di bumi ingin mengetahui posisi benda langit dalam bentuk ketinggian benda tersebut dari horison dan arahnya. Dalam hal ini digunakan sistem koordinat horison dengan koordinat h dan A. Sudut h adalah ketinggian benda langit tersebut dari permukaan horison. Jika benda tersebut di atas horison maka sudut h positif. Sebaliknya jika benda tersebut di bawah horison, maka sudut h negatif.

(Catatan: untuk perhitungan sudut h yang lebih teliti, faktor pembiasan cahaya oleh atmosfer karena perbedaan indeks bias lapisan atmosfer harus diperhitungkan. Akibat faktor ini, saat benda langit (seperti matahari) terbit atau terbenam di ufuk, posisi sebenarnya berada sedikit di bawah ufuk atau h negatif.)

Sudut antara arah utara dengan proyeksi posisi benda langit ke horison adalah sudut azimuth. Sedikit catatan, bahwa dalam berbagai referensi, sudut azimuth dihitung dari arah selatan. Untuk membedakannya, sudut azimuth dari arah utara adalah A . Sedangkan sudut azimuth dari arah selatan disebut As .

Dari sudut Alpha di ekuator geosentrik, biasanya dicari dahulu HA (hour angle). Hubungan antara HA dan Alpha adalah

$$HA = LST - \text{Alpha}.$$

dimana LST adalah Local Sidereal Time.

Rumus transformasi koordinat dari Ekuator Geosentrik (Alpha, Delta) ke Horison (h , A) adalah

$$\sin(h) = \sin(\phi) \sin(\delta) + \cos(\phi) \cos(\delta) \cos(HA).$$

$$\tan(As) = \frac{\sin(HA)}{\cos(H) \sin(\phi) - \tan(\delta) \cos(\phi)}.$$

$$A = As - 180.$$

Salah satu rumus transformasi di atas adalah rumus mencari $\sin(h)$. Rumus tersebut dapat diubah bentuknya menjadi

$$\cos(HA) = \frac{\sin(h) - \sin(\phi) \sin(\delta)}{\cos(\phi) \cos(\delta)}.$$

Rumus ini sangat berguna dalam penyusunan jadwal waktu shalat.

Contoh soal:

Dari contoh soal di atas diketahui bahwa pada tanggal 25 April 2009 pukul 17:48:08 WIB, koordinat ekuator bulan adalah: Alpha = pukul 2,359328 dan Delta = 19,369136 derajat. Tentukan koordinat horison bulan di Jakarta (bujur geografis 106:51:0 derajat BT dan lintang geografis 6:9:0 derajat LS) pada waktu tersebut.

Jawab:

- Tanggal 25 April 2009 pukul 0 UT = JD 2454946,5.
- $T = 0,093127994524$.
- GST untuk pukul 0 UT = 14,2093425.
- GST untuk pukul 17:48:08 WIB atau pukul 10:48:08 UT = 1,041140.
- Bujur geografis = 106:51:0 derajat = 106,85 derajat
- $LST = 1,041140 + 106,85/15 = \text{pukul } 8,164474$.
- Alpha = pukul 2,359328.
- $HA \text{ (Hour Angle)} = LST - \text{Alpha} = 8,164474 - 2,359328 = \text{pukul } 5,805146 = 5,805146 \times 15 = 87,07719 \text{ derajat}$.

Selanjutnya, nilai h (altitude) dan azimuth dari arah selatan As dapat dihitung sebagai berikut.

- Lintang geografis = $Fai = 6:9:0 \text{ derajat}$ $LS = -(6 + 9/60 + 0/3600) = -6,15 \text{ derajat}$. Nilainya negatif karena terletak di lintang selatan.
- $\Delta = 19,369136 \text{ derajat}$.
- $\sin(HA) = 0,998699$, dan $\cos(HA) = 0,0509905$.
- $\sin(Fai) = -0,107132$, dan $\cos(Fai) = 0,9942448$.
- $\sin(\Delta) = 0,331653$, $\cos(\Delta) = 0,94340145$, dan $\tan(\Delta) = 0,35155022$.

Dari angka-angka di atas, diperoleh

- $\sin(h) = 0,0122973$.
- $h = 0,7046 \text{ derajat} = 0:42:17 \text{ derajat}$.
- $\tan(As) = (0,998699)/(-0,354990) = -2,813318$.
- Azimuth dari arah selatan As = 109,56786 derajat.
- $\text{Azimuth } A = 109,56786 - 180 = -70,43214 \text{ derajat} = -70,43214 + 360 = 289,56786 \text{ derajat} = 289:34:4 \text{ derajat}$.

Kesimpulan: Di Jakarta (bujur geografis 106:51:0 derajat dan lintang geografis -6:9:0 derajat) pada pukul 17:48:08 WIB, posisi bulan terletak pada ketinggian sekitar $h = 0,7 \text{ derajat}$ di atas horison. Sementara Azimuth bulan adalah = 289,6 derajat atau 19,6 derajat di sebelah kanan titik barat.

2.4.4. Transformasi koordinat dari Horison (h, A) ke Ekuator Geosentrik (Alpha, Delta)

Pada transformasi koordinat ini, rumus yang digunakan adalah

$$As = A + 180.$$

$$\sin(\delta) = \sin(\phi) \sin(h) - \cos(\phi) \cos(h) \cos(As).$$

$$\tan(HA) = \frac{\sin(As)}{\cos(As) \sin(\phi) + \tan(h) \cos(\phi)}.$$

$$\alpha = LST - HA$$

BAB III

POSISI MATAHARI

Matahari bersinar setiap hari, terbit pagi hari di ufuk timur, mencapai posisi tertinggi di langit pada siang hari dan terbenam sore hari di ufuk barat. Di malam hari, matahari berada di bawah ufuk dan kemudian keesokan hari di pagi hari, kembali muncul di pagi hari. Keteraturan ini terjadi setiap hari dan dapat dipelajari oleh manusia.

Jika diperhatikan, waktu terbit dan terbenam matahari setiap hari selalu berubah meskipun kecil. Demikian pula posisi matahari saat terbit dan terbenam. Bagi yang tinggal di dekat garis khatulistiwa, seperti di Indonesia, akan mengamati perubahan posisi terbitnya matahari dengan jelas. Suatu saat terbit tepat di arah timur (azimuth 90 derajat), di lain hari sudah bergeser sedikit ke arah utara (azimuth kurang dari 90 derajat). Kemudian kembali lagi tepat di arah timur, lalu bergeser sedikit ke arah selatan (azimuth lebih dari 90 derajat) dan kemudian kembali lagi tepat di arah timur. Demikian pula dengan pergeseran tempat terbenamnya matahari di ufuk barat.

Orang juga dapat memperkirakan kapan terjadi gerhana matahari dan gerhana bulan dengan akurasi tinggi. Pemahaman terhadap kedua jenis gerhana tersebut membutuhkan pengetahuan tentang posisi matahari dan bulan. Bagaimanakah cara menghitung posisi matahari pada waktu kapan saja? Disini akan diberikan cara menghitung posisi matahari meliputi bujur ekliptika, jarak matahari ke bumi, right ascension, deklinasi, azimuth dan altitude. Rumus dan suku-suku yang digunakan tidak seperti algoritma VSOP87 yang sangat akurat namun hasilnya cukup dekat dengan algoritma tersebut. Untuk keperluan praktis, metode ini sudah sangat memadai dan akurat.

3.1. Rumus Menentukan Posisi Matahari

Misalnya, kita ingin mengetahui posisi matahari pada tanggal dan waktu tertentu dan diamati di tempat tertentu (Bujur, Lintang). Waktu ini bisa dapat dinyatakan dalam Local Time (LT), atau Universal Time (UT). Jika dinyatakan dalam Local Time (waktu

setempat), maka konversikan dulu ke Universal Time dengan cara mengurangkannya dengan zona waktu.

- Hitung nilai Julian Day (JD) untuk waktu LT tersebut.
- Hitunglah nilai Delta_T.
- Hitung Julian Day Ephemeris (JDE) untuk waktu TD (Dynamical Time) = JD + Delta_T.
- Hitung nilai T yang diperoleh dari JDE tersebut. Rumusnya adalah $T = (JDE - 2451545)/36525$. Disini 2451545 bersesuaian dengan JDE untuk tanggal 1 Januari 2000 pukul 12 TD. Sementara itu 36525 adalah banyaknya hari dalam 1 abad (100 tahun).
- Hitung nilai bujur rata-rata matahari = $L_0 = 280,46645 + 36000,76983 * T$.
- Hitung anomali rata-rata matahari = $M_0 = 357,5291 + 35999,0503 * T$.
- Hitung nilai koreksi = $C = (1,9146 - 0,0048 * T) * \sin(M_0) + (0,0200 - 0,0001 * T) * \sin(2 * M_0) + 0,0003 * \sin(3 * M_0)$.
- Hitung eksentrisitas orbit bumi e (tidak bersatuan) = $0,0167086 - 0,0000420 * T$.
- Hitung bujur ekliptika sesungguhnya = $L = L_0 + C$.
- Hitung anomali sesungguhnya = $M = M_0 + C$.
- Hitung Omega = $125,04452 - 1934,13626 * T$.
- Hitung kemiringan orbit rata-rata = $\text{Epsilon}_0 = 23,43929111 - 0,01300417 * T$.
- Hitung Delta_Epsilon = $0.002555556 * \cos(\text{Omega}) + 0.00015833 * \cos(2 * L_0)$.
- Hitung kemiringan orbit = $\text{Epsilon} = \text{Epsilon}_0 + \text{Delta_Epsilon}$.
- Hitung waktu Greenwich Sidereal Time (GST) untuk waktu UT di atas.
- Hitung waktu Local Sidereal Time (LST) untuk waktu UT tersebut.
- Sebagai catatan, satuan untuk L_0 , M_0 , C , L , M , Omega , Epsilon , Delta_Epsilon dan Epsilon adalah derajat. Untuk L_0 , M_0 , L , M dan Omega , jika nilainya lebih dari 360 derajat atau negatif, maka kurangkan atau tambahkan dengan kelipatan 360 derajat, hingga akhirnya sudutnya terletak antara 0 dan 360 derajat.

Selanjutnya, sejumlah posisi matahari di berbagai sistem koordinat dapat dihitung sebagai berikut.

Koordinat Ekliptika Geosentrik (Lambda, Beta, Jarak)

- Bujur ekliptika nampak = Λ = Bujur Ekliptika sesungguhnya (L) – $0,00569 - 0,00478 \cdot \sin(\Omega)$. Nilai Λ antara 0 dan 360 derajat.
- Lintang ekliptika (B) menurut metode ini selalu dianggap nol derajat.
- Jarak Matahari–Bumi = $R = 1,000001018 \cdot (1 - e^2) / (1 + e \cdot \cos(M))$. Satuan R adalah astronomical unit (AU). 1 AU = 149598000 km.

Koordinat Ekuator Geosentrik (α , δ)

- Dengan menganggap B untuk matahari = 0, maka rumus transformasi koordinat dari koordinat ekliptika ke ekuator menjadi lebih sederhana.
- $\tan(\alpha) = [\cos(\epsilon) \cdot \sin(\Lambda)] / [\cos(\Lambda)]$.
- Right Ascension = $\alpha = \text{ATAN}(\tan(\alpha))$.
- Disini, satuan α adalah derajat. Selanjutnya karena biasanya α dinyatakan dalam satuan jam, maka α bersatuan derajat tersebut harus dibagi 15. α terletak antara pukul 00:00:00 dan pukul 23:59:59. Jika α diluar rentang tersebut, tambahkan atau kurangkan dengan kelipatan dari 24 jam.. Sementara itu rumus untuk deklinasi adalah
- $\sin(\delta) = \sin(\epsilon) \cdot \sin(\Lambda)$.
- Deklinasi = $\delta = \text{ASIN}(\sin(\delta))$.
- Nilai deklinasi matahari berada dalam rentang sekitar –23,5 hingga 23,5 derajat.

Koordinat Horizon (A , h)

- Hour Angle = $HA = LST - \alpha$.
- $\tan(A_s) = [\sin(HA)] / [\cos(HA) \cdot \sin(L) - \tan(\delta) \cdot \cos(L)]$.
- $A_s = \text{ATAN}(\tan(A_s))$.
- Azimuth = $A_s + 180$ dengan satuan derajat.
- $\sin(h) = \sin(L) \cdot \sin(\delta) + \cos(L) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(HA)$.
- $h = \text{ASIN}(\sin(h))$.
- A_s diukur dari titik Selatan, sedangkan Azimuth berpatokan dari titik Utara. Arah Azimuth sesuai dengan arah jarum jam. Azimuth 0, 90, 180 dan 270

derajat masing-masing menunjuk arah Utara, Timur, Selatan dan Barat. Adapun Altitude berada dalam rentang -90 hingga 90 derajat.

Contoh: Tentukan posisi matahari di Jakarta ($106:51$ BT, $6:10$ LS) pada tanggal 1 Juli 2009 pukul 10:00:00 WIB. Zona waktu Jakarta = UT + 7.

Jawab:

- Karena zona waktu Jakarta adalah UT + 7, maka 1 Juli 2009 pukul 10:00:00 WIB = 1 Juli 2009 pukul 03:00:00 UT.
- JD untuk 1 Juli 2009 pukul 03:00:00 UT = 2455013,625.
- Delta_T untuk waktu tersebut = 66,5 detik = 0,000769516 hari.
- JDE = $2455013,625 + 0,000769516 = 2455013,62576952$.
- $T = (2455013,62576952 - 2451545)/36525 = 0,094965797933$.

Selanjutnya dari nilai T tersebut dapat dihitung sejumlah nilai berikut ini.

- Bujur rata-rata $L_0 = 3699,30790027$ derajat = $99,30790027$ derajat.
- Anomali rata-rata $M_0 = 3776,20763658 = 176,20763658$ derajat.
- Koreksi $C = 0,12403577$ derajat.
- Eksentrisitas $e = 0,016704611$.
- Bujur sesungguhnya $L = 99,43193604$ derajat.
- Anomali sesungguhnya $M = 176,33167235$ derajat.
- $\Omega = -58,63227324$ derajat = $301,36772676$ derajat.
- $\epsilon_0 = 23,43805616$ derajat.
- $\Delta_{\epsilon} = 0,00118019$ derajat.
- $\epsilon = 23,43923635$ derajat.
- Dapat dihitung pula, bahwa GST untuk 1 Juli 2009 pukul 03:00:00 UT = pukul 21,6201145172.
- Selanjutnya nilai LST = pukul 4,7434478505.

Akhirnya posisi matahari dapat dihitung sebagai berikut.

- Bujur nampak = $99,43032742$ derajat = $99:25:49$ derajat.
- $\tan(\alpha) = 0,905083193/(-0,163848145) = -5,523914793$.
- $\alpha = 100,2611833$ derajat = pukul 6,684078888 = pukul 06:41:03.
- Hour Angle (HA) = $LST - \alpha = 330,8905344$ derajat.

- $\text{SIN}(\text{Delta}) = 0,39240056$.
- $\text{Delta} = 23,10395198 \text{ derajat} = 23:06:14 \text{ derajat}$.
- $\text{TAN}(\text{Azimuth}_s) = -0,486479726/(-0,518001926) = 0,939146557$.
- $\text{Azimuth}_s = -136,797441 \text{ derajat}$.
- $\text{Azimuth} = 43,20255899 \text{ derajat} = 43:12:09 \text{ derajat}$.
- $\text{SIN}(\text{Altitude}) = 0,756814842 \text{ derajat}$.
- $\text{Altitude} = 49,18420028 \text{ derajat} = 49:11:03 \text{ derajat}$.

Kesimpulan: Pada tanggal 1 Juli 2009 pukul 10:00:00 WIB, posisi matahari adalah:

- Jarak dari bumi = $1,016670259 \text{ AU} = 152091837 \text{ km}$
- Bujur ekliptika nampak = $99:25:49 \text{ derajat}$.
- Right Ascension = pukul 06:41:03.
- Deklinasi = $23:06:14 \text{ derajat}$.
- Di Jakarta, azimuth dan altitude matahari adalah
- $\text{Azimuth} = 43:12:09 \text{ derajat}$
- $\text{Altitude} = 49:11:03 \text{ derajat}$.

Sebagai perbandingan, posisi matahari menurut algoritma VSOP87 adalah

- Jarak dari bumi = 152088602 km .
- Bujur ekliptika nampak = $99:25:51 \text{ derajat}$.
- Right Ascension = pukul 06:41:03.
- Deklinasi = $23:06:14 \text{ derajat}$.
- Saat itu, matahari jika diamati di Jakarta memiliki posisi
- $\text{Azimuth} = 43:11:59 \text{ derajat}$
- $\text{Altitude} = 49:11:12 \text{ derajat}$.

Nampak bahwa ketelitian dari cara yang diberikan disini sudah sangat memadai. Untuk contoh soal di atas, perbedaan untuk jarak sekitar 3200 km atau sekitar 0,002 persen. Perbedaan untuk bujur ekliptika nampak adalah hanya 2 detik busur atau sekitar 0,0006 derajat, azimuth 10 detik busur atau 0,003 derajat dan altitude 9 detik busur atau 0,0025 derajat. Adapun untuk right ascension dan deklinasi tidak ada perbedaan.

3.2. Posisi Matahari Algoritma Meeus

Disini akan disajikan cara menghitung posisi matahari berdasarkan algoritma Meeus. Algoritma Meeus untuk menentukan posisi matahari ini sebenarnya merupakan reduksi dari algoritma VSOP 87 yang lengkap. Dari ribuan suku koreksi dalam algoritma VSOP 87 untuk menentukan posisi matahari (bujur ekliptika, lintang ekliptika dan jarak bumi–matahari), maka yang diperhitungkan adalah sekitar ratusan suku–suku yang besar dan penting dalam algoritma Meeus ini. Adapun suku–suku lainnya yang kecil–kecil tidak ikut diperhitungkan.

Di atas telah diberikan cara menghitung bujur ekliptika dan jarak bumi–matahari secara ringkas. Untuk keperluan praktis, metode tersebut sudah cukup akurat, walaupun oleh J. Meeus dikatakan sebagai low accuracy (akurasi rendah). Dalam tulisan tersebut, untuk menghitung bujur ekliptika matahari, hanya dihitung enam buah suku koreksi bujur ekliptika matahari. Bandingkan dengan algoritma Meeus yang berisi sekitar 129 suku koreksi. Perbandingan lainnya, dalam tulisan tersebut, lintang ekliptika matahari dianggap sama dengan nol, sementara menurut algoritma Meeus, nilainya tidak selalu persis sama dengan nol. Karena lintang ekliptika matahari tidak pernah melebihi satu detik busur (0,00003 derajat) karena itu dalam tulisan tersebut diasumsikan sama dengan nol. Untuk menghitung lintang ekliptika matahari dalam algoritma Meeus, diperlukan sekitar 7 suku koreksi. Sementara itu dalam tulisan tersebut, jarak bumi–matahari dihitung dengan menggunakan sekitar 6 suku koreksi, sedangkan pada algoritma Meeus sekitar 59 suku koreksi.

Daftar koreksi bujur ekliptika bumi, koreksi lintang ekliptika bumi dan koreksi jarak bumi–matahari menurut algoritma Meeus terdapat pada Lampiran 1.

Untuk menentukan bujur ekliptika dan lintang ekliptika matahari yang diukur menurut titik pusat bumi (geosentrik), digunakan perhitungan tidak langsung. Untuk menentukan bujur ekliptika matahari yang diukur menurut pusat bumi, terlebih dahulu dihitung bujur ekliptika bumi yang diukur menurut pusat matahari. Posisi bumi diukur menurut

matahari merupakan lawan (opposite) dari posisi matahari menurut bumi. Setelah bujur ekliptika bumi (L) diperoleh, maka bujur ekliptika matahari (Theta) = $L + 180$ derajat. Penambahan angka 180 derajat ini sebenarnya merupakan manifestasi dari posisi bumi menurut matahari yang menjadi lawan dari posisi matahari menurut bumi.

Selanjutnya, juga dihitung terlebih dahulu lintang ekliptika bumi menurut pusat matahari (B). Jika B telah diperoleh, maka lintang matahari menurut pusat bumi (Beta) sama dengan minus B. Hal ini dapat dengan mudah dipahami. Lintang berkaitan dengan posisi di atas atau di bawah bidang ekliptika. Jika bumi ada di atas matahari, maka tentu saja matahari ada di bawah bumi.

Terakhir, jarak matahari dari bumi tentu saja sama dengan jarak bumi dari matahari. Jadi, ketika jarak bumi dihitung menurut pusat matahari, maka hal itu sama dengan menghitung jarak matahari menurut pusat bumi.

Misalnya kita ingin menentukan posisi matahari pada tanggal dan waktu tertentu, maka caranya adalah sebagai berikut.

Tanggal dan waktu tersebut seperti biasa diubah menjadi Julian Day (JD) bersatuan UT (atau GMT). Selanjutnya Julian Day Ephemeris (JDE) bersatuan TD (Dynamical Time) diperoleh dengan cara menambahkan JD dengan Delta_T, atau $JDE = JD + \Delta T$. Kemudian, juga seperti biasa, dari nilai JDE ini diperoleh nilai $T = (JDE - 2451545)/36525$. Dari nilai T ini, maka $\tau = T/10$. Jadi, untuk tanggal dan waktu tertentu, maka T dan τ juga tertentu.

3.2.1. Koreksi bujur ekliptika

Seperti telah disajikan di atas, ada sekitar 129 suku koreksi bujur ekliptika. Seluruh suku ini dibagi menjadi 6 bagian, yaitu L0 (64 suku), L1 (34 suku), L2 (20 suku), L3 (7 suku), L4 (3 suku) dan L5 (1 suku). Setiap suku memiliki bentuk

$$A \cdot \cos(B + C \cdot \tau).$$

Satuan A, B dan C adalah dalam radian (1 radian = 57,2957795 derajat). Untuk L0, suku dengan A terbesar adalah $A = 175347046$ dimana nilai B dan C berturut-turut adalah 0 dan 0. Jadi suku terbesar ini bentuknya adalah $175347046 \cdot \cos(0 + 0 \cdot \tau) = 17534706$. Selanjutnya, suku dengan A terbesar kedua adalah 3341656 dimana $B = 4,6692568$ dan $C = 6283,07585$ sehingga suku ini berbentuk $3341656 \cdot \cos(4,6692568 + 6283,07585 \cdot \tau)$. Dan begitu seterusnya, hingga untuk L0, suku ke 64 berbentuk $25 \cdot \cos(3,16 + 4690,48 \cdot \tau)$. Akhirnya, 64 suku dalam L0 tersebut dijumlahkan, yang hasilnya adalah Total_L0.

Begitu pula untuk L1 yang berisi 34 suku, suku dengan A terbesar berbentuk 628331966747, berikutnya $206059 \cdot \cos(2,678235 + 6283,07585 \cdot \tau)$ dan seterusnya, hingga suku ke 34 berbentuk $6 \cdot \cos(4,67 + 4690,48 \cdot \tau)$. Akhirnya 34 suku dalam L1 dijumlahkan, hasilnya adalah Total_L1. Demikian seterusnya untuk L2, L3, L4 dan L5 yang pada akhirnya menghasilkan Total_L2, Total_L3, Total_L4 dan Total_L5.

Akhirnya koreksi bujur ekliptika $L = (\text{Total_L0} + \text{Total_L1} \cdot \tau + \text{Total_L2} \cdot \tau^2 + \text{Total_L3} \cdot \tau^3 + \text{Total_L4} \cdot \tau^4 + \text{Total_L5} \cdot \tau^5) / 100000000$.

Dalam rumus di atas, ada angka pembagi 100000000 (seratus juta), karena aslinya seluruh nilai A bersatuan 0,00000001 radian. Hanya saja untuk mempermudah penulisan, pertama semua nilai A dikalikan dengan 100 juta, baru terakhir dibagi dengan 100 juta. Nilai L yang masih dalam radian tersebut lalu dikonversi menjadi derajat.

Setelah diperoleh nilai L yang tidak lain adalah bujur ekliptika bumi diukur dari pusat matahari, maka bujur ekliptika matahari diukur dari pusat bumi ($\text{Theta} = L + 180$ derajat). Nilai Theta ini masih harus dikoreksi oleh Delta Theta (akibat perbedaan kecil antara koordinat FK5 dan ekliptika geosentrik) yang memberikan hasil Theta terkoreksi. Theta terkoreksi ini masih harus ditambahkan dengan koreksi nutasi (osilasi sumbu rotasi bumi) dan koreksi aberasi (pergeseran kecil posisi benda langit karena faktor kecepatan cahaya). Dengan menjumlahkan Theta terkoreksi dengan dua koreksi

tersebut, diperoleh bujur ekliptika nampak matahari dilihat dari pusat bumi (apparent geocentric longitude).

3.2.2. Koreksi Lintang ekliptika

Ada 7 buah suku koreksi lintang ekliptika, yang dikelompokkan ke dalam B0 (5 suku) dan B1 (2 suku). Setiap suku juga memiliki bentuk $A \cdot \cos(B + C \cdot \tau)$. Satuan A, B dan C adalah radian. Untuk B0, kelima suku tersebut dijumlahkan. Secara lengkap total suku B0 ditulis sebagai berikut.

- $\text{Total_B0} = 280 \cdot \cos(3.199 + 84334.662 \cdot \tau) + 102 \cdot \cos(5.422 + 5507.553 \cdot \tau) + 80 \cdot \cos(3.88 + 5223.69 \cdot \tau) + 44 \cdot \cos(3.7 + 2352.87 \cdot \tau) + 32 \cdot \cos(4 + 1577.34 \cdot \tau)$.
- Untuk dua suku B1, $\text{Total_B1} = 9 \cdot \cos(3.9 + 5507.55 \cdot \tau) + 6 \cdot \cos(1.73 + 5223.69 \cdot \tau)$.
- Akhirnya, koreksi lintang ekliptika $B = (\text{Total_B0} + \text{Total_B1} \cdot \tau) / 100000000$.

Dalam rumus di atas, ada angka pembagi 100000000 (seratus juta), karena aslinya seluruh nilai A bersatuan 0,00000001 radian. Hanya saja untuk mempermudah penulisan, pertama semua nilai A dikalikan dengan 100 juta, baru terakhir dibagi dengan 100 juta. Nilai B yang masih dalam radian tersebut lalu dikonversi menjadi derajat.

Dari nilai B tersebut yang merupakan lintang ekliptika bumi dilihat dari matahari, maka lintang ekliptika matahari dilihat dari pusat bumi adalah $\text{Beta} = -B$. Nilai Beta ini harus dikoreksi lagi dengan Delta Beta, sehingga, $\text{Beta terkoreksi} = \text{Beta} + \text{Delta Beta}$.

3.2.3. Koreksi Jarak Bumi–Matahari

Dalam algoritma Meeus ini, ada sekitar 59 suku koreksi jarak bumi–matahari, yang dikelompokkan ke dalam R0 (40 suku), R1 (10 suku), R2 (6 suku), R3 (2 suku) dan R4 (1 suku). Seluruh suku juga berbentuk $A \cdot \cos(B + C \cdot \tau)$. Cara perhitungan sama seperti pada koreksi bujur ekliptika.

Akhirnya, jarak pusat bumi – pusat matahari = $(\text{Total_R0} + \text{Total_R1} \cdot \tau + \text{Total_R2} \cdot \tau^2 + \text{Total_R3} \cdot \tau^3 + \text{Total_R4} \cdot \tau^4) / 100000000$.

Jarak bumi–matahari ini dinyatakan dalam satuan AU (astronomical unit). 1 AU = 149598000 km, yang merupakan jarak rata–rata bumi–matahari.

Jika bujur dan lintang ekliptika matahari sudah dihitung, maka selanjutnya right ascension dan deklinasi matahari dalam koordinat ekuator geosentrik juga dapat dihitung. Dari sini, selanjutnya dapat dihitung posisi matahari dalam koordinat horisontal, yaitu azimuth dan altitude (ketinggian dari ufuk).

Contoh soal: Tentukan posisi matahari secara geosentrik pada tanggal 17 Nopember 2009 pukul 17:49:43 WIB. Tentukan pula azimuth dan altitude matahari "geosentrik" di Jakarta (106:51 BT 6:10 LS) pada waktu tersebut.

Jawab:

- Pukul 17:49:43 WIB = pukul 10:49:43 UT.
- Julian Day (JD) untuk 17 Nopember 2009 pukul 10:49:43 UT = 2455152,951192.
- Delta_T untuk waktu tersebut dapat diperkirakan sama dengan 66,6 detik = 0,000771 hari.
- Julian Day Ephemeris (JDE) = JD + Delta_T = 2455152,951964.
- Nilai T = $(\text{JDE} - 2451545) / 36525 = 0,098780341233$.
- Nilai tau = $T / 10 = 0,009878034123$.
- Dari nilai tau tersebut, seluruh suku koreksi bujur, lintang dan jarak dapat dihitung sebagai berikut.
- Koreksi bujur ekliptika L = 63,795722 radian = 3655,225620 derajat = 55,225620 derajat.
- Theta = 180 derajat + L = 235,225620 derajat.
- Dengan memperhitungkan faktor Delta Theta = –0,000025 derajat, maka Theta terkoreksi = 235,225595 derajat.

- Selanjutnya, dengan memperhitungkan koreksi nutasi ($\delta \Psi$) sebesar 0,003910 derajat dan koreksi aberasi sebesar $-0,005757$ derajat, akhirnya diperoleh bujur ekliptika nampak matahari (λ) = 235,223748 derajat = 235:13:25 derajat (235 derajat 13 menit busur 25 detik busur).
- Koreksi lintang ekliptika (B) dapat dihitung sebesar = 0,376 detik busur.
- Karena itu $\beta = -B = -0,376$ detik busur.
- Dengan memperhitungkan $\delta \beta$ sebesar 0,003 detik busur, maka lintang ekliptika matahari sama dengan $-0,373$ detik busur.
- Untuk jarak bumi–matahari, koreksi seluruh sukunya memberikan hasil 0,9887043544 AU = 147908194 km.
- Selanjutnya, nilai kemiringan sumbu rotasi bumi terhadap sumbu bidang ekliptika dapat dihitung = 23,438986 derajat.
- Dengan menggunakan transformasi koordinat dari ekliptika geosentrik ke ekuator geosentrik, diperoleh right ascension (α) = 232,879490 derajat = pukul 15:31:31, serta deklinasi matahari = $-19,070184$ = minus 19:04:13 derajat.
- Singkatnya, dari α dan LST (Local Sidereal Time) dapat dihitung hour angle (HA) sebesar 93,031476 derajat.
- Akhirnya, dengan menggunakan transformasi koordinat dari ekuator geosentrik ke horisontal "geosentrik", diperoleh azimuth matahari menurut pengamat di Jakarta sebesar 250,716665 derajat = 250:43:00 derajat, dan altitude (ketinggian) matahari dari ufuk sebesar $-0,836305$ derajat = minus 0:50:11 derajat.
- Sebagai tambahan, dapat dihitung pula sudut jari–jari matahari sebesar 0,269609 derajat = 0:16:11 derajat, serta sudut paralaks matahari sebesar 0,002471 derajat = 0:00:09 detik busur.

Berikut ini ringkasan hasil perhitungan di atas dengan menggunakan algoritma Meeus:

- Bujur ekliptika nampak matahari (λ) = 235:13:25 derajat.
- Lintang ekliptika matahari (β) = $-0,37$ detik busur.
- Jarak bumi–matahari = 147908194 km.
- Right Ascension matahari (α) = pukul 15:31:31.
- Deklinasi matahari (δ) = minus 19:04:13 derajat.

- Azimuth "geosentrik" matahari di jakarta = 250:43:00 derajat.
- Ketinggian sejati (True Altitude) "geosentrik" di Jakarta = minus 0:50:11 derajat.

Ada beberapa catatan tentang cara menentukan posisi matahari dengan algoritma Meeus.

Pertama, hasil perhitungan di atas menggunakan algoritma Meeus yang sesungguhnya merupakan reduksi dari algoritma VSOP87 yang lengkap. Perhitungan menurut algoritma VSOP 87 itu sendiri untuk contoh soal di atas memberikan hasil yang sama dengan di atas, kecuali pada jarak bumi–matahari sebesar 147908036 km. Berarti untuk kasus ini, selisih jarak bumi–matahari menurut Meeus dengan VSOP87 adalah sekitar 158 km. Perbedaan ini hanya sekitar seper satu juta AU, serta jauh lebih kecil daripada diameter bumi itu sendiri (sekitar 12742 km). Kendati bidang ekliptika didefinisikan sebagai bidang orbit bumi mengitari matahari, tetapi lintang ekliptika matahari tidaklah tepat sama dengan nol. Hasil di atas adalah –0,37 detik busur atau sekitar 0,0001 derajat sehingga sering dianggap sama dengan nol. Lintang ekliptika matahari yang tidak selalu sama dengan nol ini disebabkan oleh interaksi matahari dengan planet–planet lain di dalam sistem tata surya.

Kedua, hasil perhitungan posisi matahari dengan "low accuracy" memberikan hasil sebagai berikut

- Bujur ekliptika nampak matahari (Lambda) = 235:13:31 derajat.
- Lintang ekliptika matahari (Beta) selalu dianggap = 0 derajat.
- Jarak bumi–matahari = 147899437 km.
- Right Ascension matahari (Alpha) = pukul 15:31:31.
- Deklinasi matahari (Delta) = minus 19:04:14 derajat.
- Azimuth "geosentrik" matahari di jakarta = 250:43:01 derajat.
- Ketinggian sejati (True Altitude) "geosentrik" di jakarta = minus 0:49:53 derajat.

Jika hasil "low accuracy" dibandingkan dengan algoritma Meeus, maka untuk bujur ekliptika berbeda sekitar 6 detik, Alpha tepat sama, serta deklinasi hanya berbeda 1 detik busur. Azimuth hanya berbeda 1 detik busur, sedangkan altitude berbeda sampai

sebesar 18 detik busur. Adapun jarak bumi–matahari berbeda sekitar 8700 km (0,00006 AU), yang masih lebih kecil daripada diameter bumi.

Ketiga, Hasil perhitungan menggunakan algoritma Meeus di atas adalah berdasarkan koordinat geosentrik, artinya dilihat dari pusat bumi. Karena itu jika digunakan koordinat toposentrik (dilihat dari permukaan bumi), maka akan terdapat perbedaan kecil dibandingkan dengan hasil di atas. Perbedaan kecil ini disebabkan oleh faktor paralaks benda langit (pergeseran posisi benda langit karena perbedaan tempat pengamatan di bumi). Untuk matahari, telah dihitung di atas, bahwa sudut paralaks matahari adalah 00:00:09 derajat atau 9 detik busur. Angka ini relatif cukup kecil. Menurut pengamat di Jakarta, ketinggian matahari "geosentrik" menggunakan algoritma Meeus di atas adalah minus –00:50:11 derajat. Jika digunakan toposentrik yang memperhitungkan faktor paralaks, ketinggian matahari di Jakarta menjadi minus – 00:50:20 derajat, atau 9 detik busur lebih dalam dibandingkan dengan menurut "geosentrik".

Keempat, pada hasil perhitungan Meeus di atas, ternyata berlaku hubungan: ketinggian matahari (minus 00:50:11) = – 00:34:00 – sudut jari–jari matahari (00:16:11 derajat). Hubungan ini berlaku saat matahari terbit atau terbenam. Untuk kasus ini, yang terjadi adalah matahari terbenam. Ini berarti, pada tanggal 17 Nopember 2009 di Jakarta, matahari terbenam pada pukul 17:49:43 WIB.

3.3. Equation of Time

Setiap hari, matahari nampak bergerak mengitari bumi. Matahari terbit dari ufuk timur, mencapai transit di altitude tertinggi, dan terbenam di ufuk barat. Yang dimaksud dengan istilah transit disini menunjuk pada saat matahari ketika tepat berada di garis meridean. Garis meridean adalah garis setengah lingkaran langit yang menghubungkan titik arah utara, zenith (tepat di atas kepala) dan titik selatan. Pada saat transit, matahari memiliki hour angle sama dengan nol derajat. Sementara, azimuth matahari pada saat transit menurut suatu tempat pengamatan tertentu bisa bernilai nol derajat atau 180 derajat. Jika pada saat transit, matahari terletak di belahan langit utara, atau tepat di titik

pada garis yang menghubungkan titik zenith dengan titik arah utara, nilai azimuth matahari sama dengan nol. Sementara jika terletak di belahan langit selatan, atau tepat di titik pada garis yang menghubungkan titik zenith dengan titik arah selatan, nilai azimuth matahari sama dengan 180 derajat.

Dalam bahasa sederhana, pada saat matahari transit, itulah saat tepat tengah hari (noon).

Jika diperhatikan dengan seksama, ternyata untuk suatu tempat tertentu, waktu terbit, transit dan terbenam matahari selalu berubah setiap hari. Dalam tulisan ini, penulis akan memfokuskan pada perbedaan waktu transit matahari setiap hari, yang berhubungan dengan istilah Equation of Time.

Jika diartikan secara harfiah, Equation of Time berarti Persamaan Waktu. Namun, Equation of Time tidak dapat dimaknai dengan pengertian "Persamaan". Dalam astronomi, kata "Equation" sering merujuk pada adanya koreksi atau selisih antara nilai rata-rata suatu variabel dengan nilai sesungguhnya. Dalam hal ini, Equation of Time berarti adanya selisih antara waktu matahari rata-rata dengan waktu matahari sesungguhnya. Disini, yang dimaksud dengan waktu matahari adalah waktu lokal menurut pengamat di suatu tempat ketika matahari mencapai transit.

Untuk menjelaskan pengertian equation of time, mari kita ambil dua buah matahari fiktif dan satu matahari real yang kita saksikan setiap hari. Matahari fiktif yang pertama bergerak di bidang ekliptika dengan kecepatan konstan mengelilingi bumi yang lintasannya berbentuk lingkaran sempurna. Matahari fiktif ini memiliki posisi yang sama dengan matahari real pada saat posisinya terdekat (perigee) dan terjauh (apogee) dari bumi. Sementara matahari fiktif yang kedua, bergerak di bidang ekuator dengan kecepatan konstan dan posisinya tepat sama dengan matahari fiktif pertama pada saat ekuinoks. Matahari fiktif yang kedua ini disebut mean sun (matahari rata-rata) yang nilainya right ascensionnya bertambah secara tetap terhadap waktu.

Ketika mean sun (matahari fiktif yang kedua) ini melewati garis meridean, saat itu disebut mean noon (waktu tengah hari rata-rata). Sedangkan saat matahari real

melewati garis meridean, saat itu disebut true noon (waktu tengah hari yang sesungguhnya).

Salah satu definisi Equation of Time (EoT) adalah selisih antara true noon dengan mean noon. Jika true noon lebih awal dari mean noon, EoT bernilai positif. Jika true noon terjadi setelah mean noon, EoT negatif.

Kita ambil contoh kota Greenwich di London, Inggris yang memiliki bujur tepat 0 derajat. Untuk Greenwich (maupun tempat-tempat lain di seluruh dunia yang memiliki bujur 0 derajat), waktu rata-rata saat matahari tepat di garis meridean adalah pukul 12:00:00 waktu setempat (yang juga sama dengan GMT). Jadi mean noon di Greenwich selalu pukul 12:00:00 waktu setempat. Sementara itu, menurut perhitungan astronomi, pada tanggal 5 April 2010 di kota Greenwich, matahari akan tepat berada di garis meridean pada pukul 12:02:42 waktu setempat. Ini adalah waktu true noon matahari atau waktu matahari yang sesungguhnya saat transit. Ini berarti true noon matahari terlambat sebesar 2 menit 42 detik dibandingkan dengan mean noon saat matahari melewati garis meridean. Jadi, pada tanggal 5 April 2010, nilai equation of time adalah sebesar minus 2 menit 42 detik.

Perhatian: Mungkin ada yang akan mengatakan, karena true noon terjadi pada pukul 12:02:42 maka nilai $EoT = 12:02:42 - 12:00:00 =$ positif 2 menit 42 detik. Ini salah, karena true noon disini terjadi SETELAH pukul 12:00:00. Berarti true noon terlambat dari mean noon sehingga nilai EoT negatif.

Nilai EoT pada tanggal 5 April 2010 tengah hari di Greenwich sebesar minus 2 menit 42 detik ini akan berubah sedikit di tempat-tempat lain yang memiliki perbedaan bujur (dan sekaligus zona waktu lokal) dengan Greenwich. Misalnya, pada 5 April 2010 tengah hari di wilayah Indonesia Barat, nilai EoT adalah sebesar minus 2 menit 48 detik. Sebagai ilustrasi, tempat dengan bujur timur tepat 105 derajat dan zona waktu GMT + 7. Karena bujur tempat tersebut (105 derajat) tepat sama dengan zona waktu (7) dikalikan 15, maka mean noon di bujur 105 derajat tersebut juga terjadi pada pukul

12:00:00 waktu lokal sehingga di tempat itu matahari transit pada true noon 12:02:48 waktu lokal.

Lalu, kapankah terjadi transit di Jakarta dengan bujur timur 106:51:00 (derajat:menit busur:detik busur) = 106,85 derajat dan GMT +7. Pertama dicari dahulu mean noon dengan rumus

$$\text{Mean Noon (waktu lokal)} = \text{pukul 12:00:00} + \text{Zona Waktu} - \text{Bujur}/15$$

Jadi di Jakarta dengan bujur 106,85 derajat, mean noon terjadi pada pukul 12:00:00 + 7:00:00 - 106,85/15 = pukul 11:52:36. Dengan demikian, transit terjadi SETELAH mean noon, yaitu pada pukul 11:52:36 + 00:02:48 = pukul 11:55:24 WIB.

Equation of Time pula dinyatakan dalam berbentuk sudut atau waktu (satu derajat = empat menit). Untuk kurun waktu ini sepanjang tahun, nilai maksimumnya sekitar 16 menit (4 derajat) dan minimumnya sekitar minus 14 menit (minus 3,5 derajat).

3.3.1. Rumus equation of time

Di atas telah dijelaskan, jika kita mengetahui kapan terjadinya transit matahari menurut pengamat di suatu tempat dengan bujur tertentu, maka kita bisa menentukan nilai EoT. Sebaliknya, bagaimanakah cara menentukan nilai EoT tanpa bergantung dari kapan terjadinya transit. Atau dengan kata lain, jika kita mengetahui rumus EoT, maka kita dapat menentukan kapan terjadinya transit matahari.

Rumus asal EoT (dalam satuan derajat) = $L_0 - 0,00572 - \text{Alpha} + \text{Delta_Psi} \cdot \cos(\text{Epsilon})$

Disini, L_0 adalah Bujur rata-rata ekliptika matahari, Alpha adalah Right Ascension matahari, yaitu bujur matahari dalam koordinat ekuator bumi, Delta_Psi adalah Nutasi Longitude dan Epsilon adalah kemiringan sumbu rotasi bumi. Meskipun rumus tersebut sangat akurat, namun tidak praktis karena banyak variabel yang harus dicari.

Saya telah menurunkan rumus EoT yang bergantung pada Julian Day (JD) dan L0.

- $U = (JD - 2451545)/36525$
- $L0 \text{ (bersatuan derajat)} = 280,46607 + 36000,7698*U$
- $1000*EoT = -(1789 + 237*U)*\sin(L0) - (7146 - 62*U)*\cos(L0) + (9934 - 14*U)*\sin(2*L0) - (29 + 5*U)*\cos(2*L0) + (74 + 10*U)*\sin(3*L0) + (320 - 4*U)*\cos(3*L0) - 212*\sin(4*L0)$

Dalam rumus di atas, ruas kiri masih berbentuk 1000 kali EoT. Jadi ruas kanan persamaan di atas masih harus dibagi dengan 1000 untuk mendapatkan nilai EoT. Disini, EoT bersatuan menit.

Contoh: Tentukan nilai Equation of Time pada tanggal 5 April 2010 pukul 12 UT.

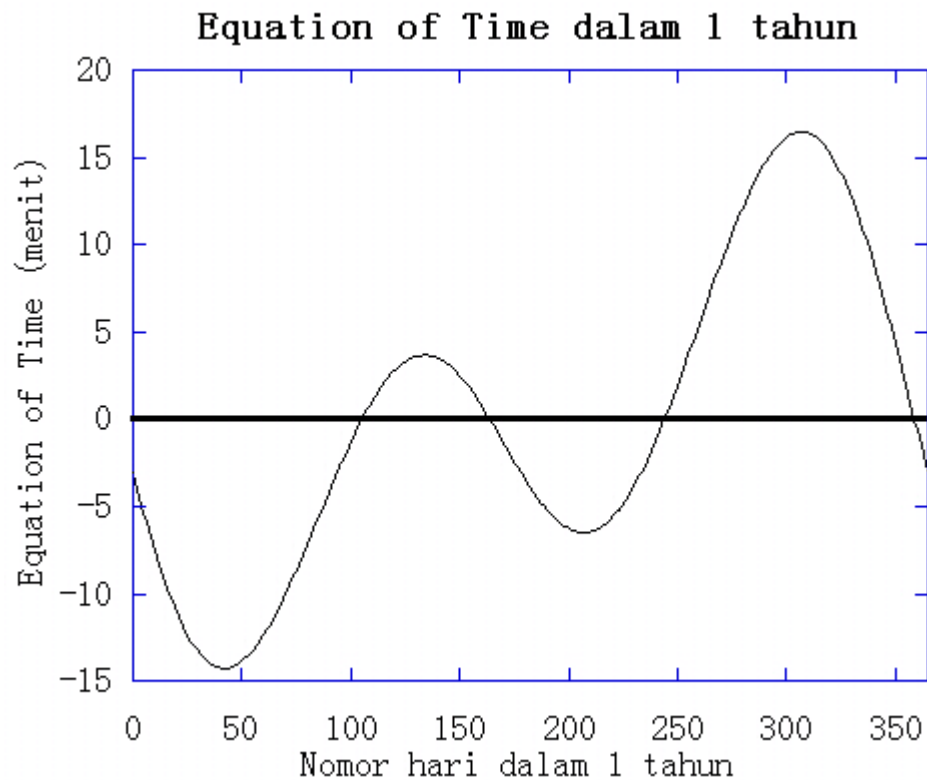
Jawab:

- Untuk tanggal dan waktu tersebut, $JD = 2455292$
- $U = (2455292 - 2451455)/36525 = 0,102587269$
- $L0 = 3973,686725 \text{ derajat} = 13,686725 \text{ derajat} = 0,238878423 \text{ radian}$
- $1000*EoT = -2708,15 \text{ menit}$
- $EoT = -2,70815 \text{ menit} = -2 \text{ menit } 42 \text{ detik}$

Gambar 3.1 menyajikan kurva EoT selama 1 tahun. Sumbu horisontal menunjukkan nomor hari, dihitung sejak tanggal 1 Januari. Sumbu vertikal menunjukkan nilai EoT dalam satuan menit. Dari Gambar tersebut, nampak bahwa nilai EoT mencapai minimum (sekitar minus 14 menit 17 detik) pada sekitar hari ke 42 atau sekitar tanggal 11 Februari. Nilai EoT kira-kira sama dengan nol pada sekitar tanggal 14 April, 12 Juni, 31 Agustus dan 24 Desember. Sedangkan nilai EoT mencapai maksimum (sekitar 16 menit 28 detik) sekitar tanggal 2 atau 3 Nopember.

Bisa dikatakan, untuk tanggal–bulan yang sama nilai EoT relatif tetap sepanjang tahun. Misalnya, EoT selalu mencapai minimum pada sekitar tanggal 11 Februari sebesar sekitar minus 14 menit 17 detik. Jika bergeser pada tahun berikutnya, hanya berkisar satu hingga beberapa detik saja. Mengingat tetapnya nilai EoT untuk tanggal yang sama,

maka EoT dapat digunakan sebagai parameter untuk menyusun jadwal shalat abadi sepanjang tahun.



Gambar 3.1. Equation of Time dalam satu tahun

3.3.2. Equation of Time dan Waktu Shalat

Equation of Time dapat digunakan untuk menentukan kapan matahari mencapai transit di suatu tempat tertentu. Selanjutnya, dari waktu transit ini, dengan menambahkan beberapa menit (kira-kira 2 – 5 menit) agar matahari tergelincir di sebelah barat, maka saat itulah jatuh waktu Zhuhur.

Menambahkan waktu sebesar 2 menit setelah transit sudah cukup menjamin posisi matahari tergelincir di sebelah barat. Penjelasananya, saat transit titik pusat matahari terletak di garis meridean. Agar tergelincir ke arah barat, maka matahari harus menempuh sebesar sudut jari-jari matahari yaitu 16 menit busur atau 0,27 derajat. Dari matahari transit hingga terbenam yang besar sudutnya sebesar 90 derajat, bisa diambil rata-rata lamanya sebesar 6 jam, yang berarti rata-rata pergerakan kecepatan matahari

adalah 15 derajat perjam = 0,25 derajat permenit. Jadi 0,27 derajat kira-kira 1 menit lebih beberapa detik, sehingga tambahan 2 menit sudah memadai. Namun tentunya ditambahkan beberapa menit lagi akan lebih aman.

Seperti pada contoh di atas, pada tanggal 5 April 2010 di Jakarta (bujur 106:51 derajat), true noon atau transit terjadi pada pukul 11:55:24 WIB. Dengan menambahkan 2 menit, berarti zhuhur di Jakarta jatuh pada pukul 11:57:24 atau dibulatkan ke atas menjadi pukul 11:58 WIB.

Dalam penghitungan waktu shalat, nampaknya tidak diperlukan akurasi dalam satuan detik, namun cukup dalam satuan menit. Karena itu, dalam rentang satu hari itu nilai EoT yang sebenarnya berubah beberapa detik bisa diasumsikan sebagai konstan. Jadi, untuk penghitungan waktu shalat shubuh, terbit matahari, ashar, maghrib dan isya', bisa digunakan nilai EoT untuk waktu zhuhur atau nilai EoT rata-rata untuk satu hari tersebut.

3.4. Waktu Shalat

Shalat merupakan ibadah ummat Islam yang paling utama kepada Allah SWT. Shalat adalah salah satu rukun Islam. Shalat adalah amalan yang pertama kali dihisab di hari akhir. Jika shalat seorang hamba itu baik, baik pula amal lainnya, dan demikian pula sebaliknya.

Ibadah shalat, khususnya shalat fardhu tidak bisa dikerjakan di sembarang waktu, namun ada waktu-waktu tertentu yang telah ditetapkan Allah SWT. Ada sejumlah ayat Al Quran yang berhubungan dengan waktu-waktu shalat. Diantaranya, Allah SWT berfirman,

إِنَّ الصَّلَاةَ كَانَتْ عَلَى الْمُؤْمِنِينَ كِتَابًا مَّوْقُوتًا

“Sesungguhnya shalat itu adalah fardhu yang ditentukan waktunya atas orang-orang yang beriman.” (An-Nisa 103).

أَقِمِ الصَّلَاةَ لِذُلُوكِ الشَّمْسِ إِلَى غَسَقِ اللَّيْلِ وَقُرْءَانَ الْفَجْرِ إِنَّ قُرْءَانَ
الْفَجْرِ كَانَ مَشْهُودًا

“Dirikanlah shalat dari sesudah matahari tergelincir sampai gelap malam dan (dirikanlah pula shalat) subuh. Sesungguhnya shalat subuh itu disaksikan (oleh malaikat).” (Al-Isra 78)

وَأَقِمِ الصَّلَاةَ طَرَفَيِ النَّهَارِ وَزُلْفًا مِّنَ اللَّيْلِ

“Dan dirikanlah sembahyang itu pada kedua tepi siang (pagi dan petang) dan pada bahagian permulaan daripada malam.” (Hud 114)

فَاصْبِرْ عَلَىٰ مَا يَقُولُونَ وَسَبِّحْ بِحَمْدِ رَبِّكَ قَبْلَ طُلُوعِ
الشَّمْسِ وَقَبْلَ غُرُوبِهَا وَمِنْ ءَآثَائِ اللَّيْلِ فَسَبِّحْ وَأَطْرَافَ النَّهَارِ لَعَلَّكَ
تَرْضَىٰ

“Maka sabarlah kamu atas apa yang mereka katakan, dan bertasbihlah dengan memuji Tuhanmu, sebelum terbit matahari dan sebelum terbenamnya dan bertasbih pulalah pada waktu–waktu di malam hari dan pada waktu–waktu di siang hari, supaya kamu merasa senang” (Thaha 130)

Adapun hadits Nabi Muhammad SAW yang berkaitan dengan waktu shalat adalah sebagai berikut.

Dari Jabir bin Abdullah meriwayatkan “ Malaikat Jibril datang kepada Nabi S.A.W lalu berkata: “Marilah solat”. Lalu ia melakukan solat zohor di waktu matahari telah condong (tergelincir). Kemudian Jibril datang kepada Nabi di waktu Asar lalu berkata: “Marilah solat”. Lalu ia solat Asar di waktu bayangan tiap–tiap sesuatu jadi sama panjangnya dengan keadaan dirinya. Kemudian Jibril datang kepada Nabi S.A.W di waktu maghrib lalu berkata: “ Marilah Solat” lalu ia solat Maghrib di waktu matahari telah masuk (terbenam). Kemudian Jibril datang kepada Nabi S.A.W di waktu Isya lalu

berkata: “Marilah Solat”. Lalu ia solat Isya lalu berkata; “ Marilah solat”. Lalu ia solat Isya di waktu telah hilang tanda merah – di tempat matahari terbenam. Kemudian Jibril datang kepada Nabi S.A.W di waktu fajar lalu berkata: “Marilah solat” Lalu ia solat Fajar (subuh) di waktu fajar telah terbit. Kemudian Jibril datang kepada Nabi S.A.W pada esok harinya lagi di waktu zuhur lalu berkata: “Marilah solat”. Lalu ia solat zuhur, di waktu bayangan tiap–tiap sesuatu itu jadi sama panjangnya dengan keadaan dirinya. Kemudian Jibril datang kepada Nabi S.A.W di waktu Asar lalu berkata: “Marilah solat”. Lalu ia solat di waktu Asar, di waktu bayangan tiap–tiap sesuatu itu jadi dua kali panjang daripada dirinya. Kemudian Jibril datang kepada Nabi S.A.W di waktu maghrib yang sama waktunya dengan kelmarin, lalu ia solat maghrib. Kemudian jibril datang kepada Nabi S.A.W di waktu Isya, sehabis tengah malam, lalu berkata: “marilah solat”. Lalu ia solat Isya. Kemudian Jibril datang kepada Nabi pada waktu telah terang cuaca (sebelum terbit matahari). Lalu berkata: “Marilah solat”. Lalu ia solat fajar. Kemudian Jibril berkata: Antara dua waktu itulah waktu bagi tiap–tiap solat.”

(Ahmad, Tirmidzi, Nasa’i, Ibnu Hibban dan Hakim)

Hadits di atas memberikan penjelasan mengenai awal dan akhir waktu shalat, yaitu berdasarkan pergerakan matahari, baik di atas ufuk (horison) maupun dampak pergerakan matahari di bawah ufuk. Efek pergerakan matahari diantaranya adalah berubahnya panjang bayangan benda, terbit dan terbenamnya matahari, munculnya fajar di pagi hari dan berakhirnya mega merah di malam hari.

Pada asalnya, cara menentukan waktu shalat adalah dengan melakukan observasi / pengamatan posisi matahari. Namun dengan kemajuan ilmu pengetahuan, tanpa melihat posisi matahari, manusia dapat mengetahui kapan datangnya waktu shalat.

Waktu shalat lima waktu berdasarkan hadits di atas adalah sebagai berikut.

1. Zhuhur

Waktu zhuhur dimulai saat pertengahan hari (noon), yaitu ketika matahari melewati garis meridian (lingkaran besar langit yang menghubungkan utara dan selatan). Saat

melewati garis meridian, ada tiga kemungkinan azimuth matahari (dihitung dari arah utara). Pertama, azimuth matahari = 0 derajat, yaitu ketika matahari melewati garis meridian, posisinya di belahan langit utara. Kedua, azimuth = 180 derajat, ketika posisinya di belahan langit selatan. Ketiga, azimuthnya tidak dapat ditentukan, ketika posisinya benar-benar tepat di zenith (atas kepala) atau ketinggiannya tepat 90 derajat.. Untuk kemungkinan pertama dan kedua, sebuah benda memiliki panjang bayangan jika terkena sinar matahari. Adapun untuk kemungkinan ketiga, panjang bayangan sama dengan nol. Panjang bayangan saat datangnya waktu Zhuhur ini akan berpengaruh pula pada penentuan datangnya waktu shalat Ashar.

Karena ada hadits Nabi yang melarang sholat saat tepat tengah hari, karena itu Zhuhur dimulai setelah matahari tergelincir ke barat. Waktu Zhuhur = waktu saat transit + koreksi, dimana koreksi adalah sekitar 2 – 5 menit.

Waktu zhuhur berakhir saat datangnya waktu shalat ashar.

2. Ashar

Berdasarkan hadits di atas, ada dua pendapat mengenai kapan datangnya waktu shalat ashar. Ini berkaitan dengan bayangan benda yang ditegakkan di atas tanah. Menurut mazhab Syafii, waktu shalat ashar adalah ketika panjang bayangan sama dengan tinggi benda (ditambah panjang bayangan saat Zhuhur). Sedangkan menurut mazhab Hanafi, waktu shalat Ashar adalah ketika panjang bayangan sama dengan dua kali tinggi benda (ditambah panjang bayangan saat Zhuhur).

Panjang bayangan pada waktu Zhuhur yang merupakan panjang bayangan minimum ini perlu diperhitungkan, karena sangat mungkin panjang bayangan saat Zhuhur itu lebih panjang dari tinggi benda itu sendiri seperti di tempat yang memiliki lintang tinggi. Jika bayangan saat Ashar = S_a , bayangan saat zhuhur = Zhuhur = S_z dan tinggi benda = h , maka secara sederhana dapat ditulis $S_a = h + S_z$ menurut mazhab Syafii dan $S_a = 2 \cdot h + S_z$ menurut mazhab Hanafi.

Waktu Ashar berakhir saat datangnya waktu shalat maghrib.

3. Maghrib

Waktu shalat maghrib dimulai saat matahari terbenam (sunset). Ketika matahari terbenam dimana posisinya di bawah ufuk, langit tidak langsung gelap. Hal ini disebabkan adanya atmosfer bumi yang membiaskan cahaya matahari. Karena itu, matahari harus tenggelam hingga belasan derajat di bawah ufuk supaya tidak ada lagi cahaya matahari yang dapat dibiaskan sehingga langit menjadi gelap.

Waktu shalat maghrib berakhir saat datangnya waktu shalat Isya'.

4. Isya'

Waktu shalat Isya' dimulai saat langit gelap, atau berakhirnya mega merah (*astronomical twilight*) di langit barat. Waktu Isya' berakhir saat datangnya waktu shubuh. Menurut pendapat yang lain, waktu Isya' berakhir saat tengah malam.

5. Shubuh

Waktu shubuh dimulai ketika munculnya fajar (shidiq) atau cahaya secara merata di langit timur. Meskipun saat itu matahari masih belasan derajat di bawah ufuk, namun akibat pembiasan atmosfer cahaya matahari dapat dibiaskan sehingga langit tidak lagi gelap. Beberapa catatan mengenai penentuan waktu Isya' dan Shubuh disajikan pada catatan di bawah. Waktu shubuh berakhir saat matahari terbit..

Ada beberapa catatan mengenai waktu shalat di atas.

Pada bahasan di atas tentang Transformasi Sistem Koordinat, terdapat satu rumus penting yang berhubungan dengan waktu shalat, yaitu

$\text{Cos(Hour Angle)} =$

$$[\sin(\text{altitude}) - \sin(\text{lintang}) * \sin(\text{deklinasi})] / [\cos(\text{lintang}) * \cos(\text{deklinasi})].$$

Waktu shalat dapat ditentukan dengan perhitungan menggunakan rumus–rumus pergerakan matahari dengan tepat. Dari rumus di atas, ada beberapa parameter penting dalam menentukan waktu shalat untuk suatu tempat tertentu. Pertama, koordinat lintang (latitude) suatu tempat. Kedua, sudut deklinasi matahari yang berubah secara periodik sepanjang tahun. Deklinasi adalah salah satu koordinat dalam sistem koordinat ekuator (lihat tulisan tentang Mengenal Sistem Koordinat). Parameter lainnya yang menentukan meskipun tidak disebutkan dalam rumus di atas adalah koordinat bujur (longitude). Bujur suatu tempat berpengaruh pada penentuan waktu untuk tengah hari saat matahari melewati garis meridian setempat. Parameter lain dalam penentuan waktu untuk tengah hari adalah apa yang disebut Equation of Time, yang sudah dijelaskan sebelumnya.

Dalam hal ini, datangnya waktu zhuhur saat matahari melewati meridian, datangnya waktu maghrib saat matahari terbenam, serta berakhirnya waktu shubuh saat matahari terbit dapat dihitung dengan akurat. Demikian pula, datangnya waktu ashar dapat ditentukan, meskipun terjadi perbedaan pendapat, apakah panjang bayangan itu satu atau dua kali tinggi benda (ditambah panjang bayangan saat Zhuhur). Perbedaan pendapat ini bukanlah mengenai bagaimana menentukan posisi matahari, namun perbedaan dalam menentukan definisi yang tepat mengenai kapan datangnya waktu Ashar.

Adapun untuk datangnya waktu salat Isya' maupun shubuh juga terjadi perbedaan pendapat. Penentuan kedua waktu tersebut tidak secara langsung berkaitan dengan posisi matahari, namun efek dari atmosfer yang membiaskan cahaya matahari dari bawah ufuk. Ada beberapa pendapat, misalnya altitude matahari itu berkisar antara 15, 17, 18, 19 hingga 20 derajat di bawah ufuk agar tidak ada lagi cahaya matahari yang dapat dibiaskan. Diakui disini bahwa tidak ada satu pendapat mengenai sudut ini, sehingga perbedaan satu derajat saja akan berpengaruh pada perbedaan waktu salat isya' dan shubuh beberapa menit.

Telah disebutkan di atas bahwa parameter penting dalam penentuan waktu shalat adalah lintang. Untuk daerah dengan lintang tinggi (di daerah sebelah utara 48,5 LU atau

sebelah selatan 48,5 LS) dalam rentang waktu tertentu (beberapa hari hingga beberapa bulan), matahari tidak cukup tenggelam di bawah ufuk sepanjang waktu malam. Merujuk pada rumus di atas, untuk nilai $\text{Cos}(\text{Hour Angle}) = 1$ atau -1 , posisi matahari di bawah ufuk (altitude negatif) tidak cukup tenggelam. Akibatnya, saat malam (yang didefinisikan dari saat matahari terbenam hingga terbit), langit tidak benar-benar gelap. Atmosfer bumi masih mampu membiaskan cahaya matahari sehingga langit masih nampak cukup terang sepanjang malam. Jadi jika hanya menggunakan perhitungan matematis semata, maka waktu isya' dan shubuh tidak dapat ditentukan. Dalam hal ini, tentu haruslah menggunakan ijtihad para Ulama.

Bahkan dalam kasus yang ekstrem, di daerah yang lintangnya sangat tinggi (sebelah utara 66,5 derajat LU atau sebelah selatan 66,5 derajat LS), matahari tidak pernah terbenam atau tidak pernah terbit selama beberapa hari hingga beberapa bulan. Jika matahari tidak pernah terbenam, akibatnya hanya waktu zhuhur dan ashar yang dapat ditentukan dengan perhitungan matematis. Sedangkan untuk kasus matahari yang tidak pernah terbit, hanya waktu shalat isya' dan shubuh saja yang dapat ditentukan dengan perhitungan yang normal. Sekali lagi, ini berarti ijtihad harus digunakan untuk menyelesaikan kasus-kasus yang ekstrem.

Untuk kedua kasus ekstrem di atas, dimana langit tidak benar-benar gelap dan matahari tidak pernah terbit/terbenam, terdapat sejumlah pendapat/fatwa dari kalangan ulama. Masalah ini juga sudah pernah dibahas dalam muktamar ulama dari berbagai negara Islam beberapa dekade lalu.

Dari paparan singkat di atas, yang diharapkan adalah adanya landasan pemahaman yang kokoh jika suatu saat ditemui terjadinya perbedaan waktu jadwal shalat. Dan ternyata, waktu sholatpun juga tidak lepas dari perbedaan yang muncul atau ijtihad yang bisa jadi berbeda. Dalam satu kesempatan pernah ada pertanyaan seseorang tentang mengapa jadwal waktu shalat shubuh di Jakarta yang dikeluarkan oleh tiga lembaga itu berbeda-beda untuk hari yang sama. Satu lembaga menyatakan pukul 4:36 pagi. Jadwal lain menyatakan pukul 4:38 dan satunya lagi pukul 4:42. Jika kita memahami latarbelakang bagaimana penyusunan jadwal shalat, Insya Allah perbedaan tersebut dapat dipahami.

3.4.1. Cara Menghitung Waktu Sholat

Untuk menentukan waktu lima shalat wajib untuk suatu tempat dan tanggal tertentu, ada beberapa parameter yang mesti diketahui :

1. Koordinat lintang tempat tersebut (L).

Daerah yang terletak di sebelah utara garis khatulistiwa (ekuator) memiliki lintang positif. Yang disebelah selatan, lintangnya negatif. Misalnya Fukuoka (Japan) memiliki lintang 33:35 derajat lintang utara (LU). Maka $L = 33 + 35/60 = 33,5833$ derajat. Jakarta memiliki koordinat lintang 6:10:0 derajat LS (6 derajat 10 menit busur lintang selatan). Maka $L = \text{minus } (6 + 10/60) = -6,1667$ derajat.

2. Koordinat bujur tempat tersebut (B).

Daerah yang terletak di sebelah timur Greenwich memiliki bujur positif. Misalnya Jakarta memiliki koordinat bujur 106:51:0 derajat Bujur Timur. Maka $B = 106 + 51/60 = 106,85$ derajat. Sedangkan disebelah barat Greenwich memiliki bujur negatif. Misalnya Los Angeles memiliki koordinat bujur 118:28 derajat Bujur Barat. Maka $B = \text{minus } (118 + 28/60) = -118,4667$ derajat.

3. Zona waktu tempat tersebut (Z).

Daerah yang terletak di sebelah timur Greenwich memiliki Z positif. Misalnya zona waktu Jakarta adalah UT +7 (seringkali disebut GMT +7), maka $Z = 7$. Arab Saudi memiliki nilai $Z = 3$. Sedangkan di sebelah barat Greenwich memiliki Z negatif. Misalnya, Los Angeles memiliki $Z = -8$.

4. Ketinggian lokasi dari permukaan laut (H).

Ketinggian lokasi dari permukaan laut (H) menentukan waktu kapan terbit dan terbenamnya matahari. Tempat yang berada tinggi di atas permukaan laut akan lebih awal menyaksikan matahari terbit serta lebih akhir melihat matahari terbenam, dibandingkan dengan tempat yang lebih rendah. Satuan H adalah meter.

5. Tanggal (D), Bulan (M) dan Tahun (Y) kalender Gregorian.

Tanggal (D), bulan (M) dan tahun (Y) tentu saja menjadi parameter, karena kita ingin menentukan waktu shalat pada tanggal tersebut. Dari tanggal, bulan dan tahun tersebut selanjutnya dihitung nilai Julian Day (JD). Dari JD tersebut, dihitung sudut tanggal T dengan rumus

$$T = 2 \cdot \pi \cdot (JD - 2451545) / 365,25.$$

Disini π adalah konstanta yang bernilai 3,14159265359. Sementara itu 2451545 adalah Julian Day untuk tanggal 1 Januari 2000 pukul 12.00 UT. Angka 365,25 adalah banyaknya hari rata-rata dalam setahun. Jadi T menunjukkan sudut tanggal dalam setahun terhitung sejak tanggal 1 Januari 2000 pukul 12.00 UT.

6. Sudut Deklinasi matahari (Delta).

Dari sudut tanggal T di atas, deklinasi matahari (Delta) untuk satu tanggal tertentu dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut

$$\Delta = 0,37877 + 23,264 \cdot \sin(57,297 \cdot T - 79,547) + 0,3812 \cdot \sin(2 \cdot 57,297 \cdot T - 82,682) + 0,17132 \cdot \sin(3 \cdot 57,297 \cdot T - 59,722)$$

Angka yang terletak di dalam kurung bersatuan derajat. Deklinasi juga bersatuan derajat.

7. Equation of Time (ET).

Equation of Time untuk satu tanggal tertentu dapat dihitung sebagai berikut. Pertama kali perlu dihitung dahulu Bujur rata-rata matahari L_0 yang dirumuskan

- $L_0 = 280,46607 + 36000,7698 \cdot U$ bersatuan derajat
- $U = (JD - 2451545) / 36525.$
- Selanjutnya Equation of Time dapat dirumuskan sebagai $1000 \cdot ET = -(1789 + 237 \cdot U) \cdot \sin(L_0) - (7146 - 62 \cdot U) \cdot \cos(L_0) + (9934 - 14 \cdot U) \cdot \sin(2 \cdot L_0) - (29 + 5 \cdot U) \cdot \cos(2 \cdot L_0) + (74 + 10 \cdot U) \cdot \sin(3 \cdot L_0) + (320 - 4 \cdot U) \cdot \cos(3 \cdot L_0) - 212 \cdot \sin(4 \cdot L_0)$

Ruas kiri persamaan di atas masih bernilai 1000 kali ET. Dengan demikian hasilnya harus dibagi 1000 untuk mendapatkan ET. Satuan ET adalah menit.

8. Altitude matahari waktu Shubuh dan Isya.

Shubuh saat fajar menyingsing pagi disebut *dawn astronomical twilight* yaitu ketika langit tidak lagi gelap dimana atmosfer bumi mampu membiaskan cahaya matahari dari bawah ufuk. Sementara Isya' disebut *dusk astronomical twilight* ketika langit tampak gelap karena cahaya matahari di bawah ufuk tidak dapat lagi dibiaskan oleh atmosfer. Dalam referensi standar astronomi, sudut altitude untuk *astronomical twilight* adalah 18 derajat di bawah ufuk, atau sama dengan minus 18 derajat. Ada dua jenis twilight yang lain, yaitu *civil twilight* dan *nautical twilight* masing-masing sebesar 6 dan 12 derajat di bawah ufuk.

Namun demikian ada beberapa pendapat mengenai sudut altitude matahari di bawah ufuk saat Shubuh dan Isya'. Diantaranya berkisar antara 15 hingga 20 derajat. Dengan demikian, perbedaan sudut yang digunakan akan menyebabkan perbedaan kapan datangnya waktu Shubuh dan Isya'.

9. Tetapan panjang bayangan Ashar

Disini ada dua pendapat. Pendapat madzhab Syafi'i menyatakan panjang bayangan benda saat Ashar = tinggi benda + panjang bayangan saat Zhuhur. Sementara pendapat madzhab Hanafi menyatakan panjang bayangan benda saat Ashar = dua kali tinggi benda + panjang bayangan saat Zhuhur.

3.4.2. Rumus Waktu Sholat

Rumus untuk menentukan waktu shalat dan terbit matahari adalah sebagai berikut.

- $\text{Transit} = 12 + Z - B/15 - ET/60$
- $\text{Zhuhur} = \text{Transit} + \text{koreksi tergelincirnya matahari}$
- $\text{Ashar} = \text{Transit} + (\text{Hour Angle Ashar})/15$
- $\text{Maghrib} = \text{Transit} + (\text{Hour Angle Maghrib})/15$
- $\text{Isya'} = \text{Transit} + (\text{Hour Angle Isya'})/15$
- $\text{Shubuh} = \text{Transit} - (\text{Hour Angle Shubuh})/15$
- $\text{Terbit Matahari} = \text{Transit} - (\text{Hour Angle Terbit Matahari})/15$

Dari rumus di atas, nampak bahwa waktu shalat bergantung pada Hour Angle. Rumus Hour Angle (HA) adalah

$$\cos(HA) = [\sin(\text{Altitude}) - \sin(\text{Lintang}) \cdot \sin(\text{Delta})] / [\cos(\text{Lintang}) \cdot \cos(\text{Delta})]$$
sehingga

$$\text{Hour Angle} = \arccos(\cos(HA)).$$

Rumus Hour Angle di atas bergantung pada Altitude. Altitude matahari atau sudut ketinggian matahari dari ufuk inilah yang berbeda nilainya untuk setiap waktu shalat.

- Untuk Ashar, Altitudenya = $\arccot(KA + \tan(\text{ABS}(\text{Delta} - \text{Lintang})))$, dimana $KA = 1$ untuk Syafi'i dan 2 untuk Hanafi. Lambang ABS menunjukkan nilai absolut atau nilai mutlak. Misalnya, $\text{ABS}(-2) = \text{ABS}(2) = 2$.
- Untuk Maghrib, Altitude = $-0,8333 - 0,0347 \cdot \sqrt{H}$ dimana $\sqrt{}$ menunjukkan lambang akar pangkat dua, dan H = ketinggian di atas permukaan laut. Angka $-0,8333$ akan dijelaskan di bawah.
- Untuk Isya', Altitude = minus(Sudut Isya'). Jika sudut Isya' diambil 18 derajat, maka Altitude Isya' = -18 derajat.
- Untuk Shubuh, Altitude = minus(Sudut Shubuh).
- Untuk Terbit Matahari, Altitudenya sama dengan Altitude untuk Maghrib.

CONTOH: Tentukan waktu-waktu shalat pada tanggal 12 Juni 2009 di Jakarta ($L = -6,166667$ derajat, $B = 106,85$ derajat, $Z = 7$, $H = 50$ meter). Sudut Subuh = 20 derajat. Sudut Isya' = 18 derajat. Ashar menggunakan madzhab Syafi'i ($KA = 1$).

Jawab:

- Pertama kali, tentukan dahulu Julian Day untuk 12 Juni 2009 pukul 12 UT. Dari tanggal tersebut diperoleh nilai $D = 12$, $M = 6$, $Y = 2009$, $A = 20$ dan $B = -13$. Dapat dihitung nilai $JD = 2454995,0$.
- Selanjutnya untuk tanggal 12 Juni 2009 pukul 12 WIB (waktu lokal di Jakarta), $JD = 2454995,0 - Z/24 = 2454995,0 - 7/24 = 2454994,708$.
- Sudut Tanggal $T = 2 \cdot \pi \cdot (2454994,708 - 2451545) / 365,25 = 59,34334487$ radian.
- Deklinasi Matahari atau Delta = $23,16099835$ derajat
- Sementara itu $U = (2454994,708 - 2451545) / 36525 = 0,094447867$.

- Bujur rata-rata matahari $L_0 = 3680,66198$ derajat = $80,66198$ derajat.
- Untuk Equation of Time, akhirnya dapat dihitung $1000 \cdot ET = 175$ menit sehingga $ET = 0,175$ menit.

Dari data-data perhitungan di atas, kini waktu shalat dapat dihitung.

- Waktu transit adalah $12 + Z - B/15 - ET/60 = 12 + 7 - 106,85/15 - 0,175/60 =$ pukul $11,87375$ WIB. Jika nilai ini dikonversi ke jam-menit-detik, diperoleh pukul $11:52:26$ WIB.
- Jika diambil koreksi tergelincir matahari sama dengan 2 menit, maka waktu Zhuhur = $11:54:26$ WIB. Jika dibulatkan ke menit ke atas, maka waktu Zhuhur menjadi $11:55$ WIB.
- Waktu Ashar (madzhab Syafii).
 - Altitude Ashar adalah $\text{ARCCOT}(1 + \text{TAN}(\text{ABS}(23,16099835 - (-6,166667)))) = 32,63075274$ derajat.
 - $\text{COS}(\text{Hour Angle Ashar}) = [\text{SIN}(32,63075274) - \text{SIN}(-6,166667) \cdot \text{SIN}(23,16099835)] / [\text{COS}(-6,166667) \cdot \text{COS}(23,16099835)] = 0,636127253$.
 - Hour Angle Ashar = $\text{ACOS}(0,636127253) = 50,496359$ derajat.
 - Jadi waktu Ashar = Transit + (Hour Angle Ashar)/15 = $11,87375 + 50,496359/15 =$ pukul $15,24017$ sama dengan pukul $15:14:25$ WIB. Jika dibulatkan ke menit ke atas maka waktu Ashar menjadi $15:15$ WIB.
- Waktu Maghrib.
 - $\text{COS}(\text{Hour Angle Maghrib}) = [\text{SIN}(-0,833 - 0,0347 \cdot \text{SQRT}(50)) - \text{SIN}(-6,166667) \cdot \text{SIN}(23,16099835)] / [\text{COS}(-6,166667) \cdot \text{COS}(23,16099835)] = 0,025627029$.
 - Hour Angle Maghrib = $\text{ACOS}(0,025627029) = 88,53151863$ derajat.
 - Waktu Maghrib = Transit + (Hour Angle Maghrib)/15 = $11,87375 + 88,53151863/15 =$ pukul $17,77585$ sama dengan pukul $17:46:33$ WIB. Jika dibulatkan ke menit ke atas maka waktu Maghrib menjadi $17:47$ WIB.
- Waktu Isya'.

- $\text{COS}(\text{Hour Angle Isya}') = [\text{SIN}(-18) - \text{SIN}(-6,166667)*\text{SIN}(23,16099835)] / [\text{COS}(-6,166667)*\text{COS}(23,16099835)]$
 $= -0,291840581$.
- $\text{Hour Angle Isya}' = \text{ACOS}(-0,291840581) = 106,9681811$ derajat.
- $\text{Waktu Isya}' = \text{Transit} + (\text{Hour Angle Isya}')/15 = 11,87375 + 106,9681811/15 = \text{pukul } 19,00496$ sama dengan pukul 19:00:18 WIB. Jika dibulatkan ke menit ke atas maka waktu Isya menjadi 19:01 WIB.
- Waktu Shubuh.
 - $\text{COS}(\text{Hour Angle Shubuh}) = [\text{SIN}(-20) - \text{SIN}(-6,166667)*\text{SIN}(23,16099835)] / [\text{COS}(-6,166667)*\text{COS}(23,16099835)]$
 $= -0,327945769$.
 - $\text{Hour Angle Shubuh} = \text{ACOS}(-0,327945769) = 109,441394$ derajat.
 - $\text{Waktu Shubuh} = \text{Transit} - (\text{Hour Angle Shubuh})/15 = 11,87375 - 109,441394/15 = \text{pukul } 4,59748$ sama dengan pukul 4:35:51 WIB. Jika dibulatkan ke menit ke atas maka waktu Shubuh menjadi 4:36 WIB.
- Waktu Terbit Matahari.
 - $\text{COS}(\text{Hour Angle Terbit Matahari}) = [\text{SIN}(-0,833 - 0,0347*\text{SQRT}(50)) - \text{SIN}(-6,166667)*\text{SIN}(23,16099835)] / [\text{COS}(-6,166667)*\text{COS}(23,16099835)] = 0,025627029$.
 - $\text{Hour Angle Terbit Matahari} = \text{ACOS}(0,025627029) = 88,53151863$ derajat.
 - $\text{Waktu Terbit Matahari} = \text{Transit} - (\text{Hour Angle Terbit Matahari})/15 = 11,87375 - 88,53151863/15 = \text{pukul } 5,97165$ sama dengan pukul 5:58:18 WIB. Jika dibulatkan ke menit ke bawah maka waktu Terbit Matahari menjadi 5:58 WIB.

Sebagai rangkuman, jadwal waktu shalat di Jakarta pada tanggal 12 Juni 2009 dengan data pendukung seperti tertera pada soal di atas adalah sebagai berikut.

- Shubuh pukul 4:35:51 WIB = pukul 4:36 WIB.
- Terbit Matahari pukul 5:58:18 WIB = pukul 5:58 WIB.
- Zhuhur pukul 11:54:26 WIB = pukul 11:55 WIB.
- Ashar pukul 15:14:25 WIB = pukul 15:15 WIB.

- Maghrib 17:46:33 WIB = pukul 17:47 WIB.
- Isya' pukul 19:00:18 WIB = pukul 19:01 WIB.

Berikut ini beberapa catatan tambahan untuk melengkapi pemahaman tentang cara penghitungan waktu shalat.

Pertama, rumus di atas sudah akurat untuk menentukan waktu shalat. Sebagai pembanding, penulis menjadikan software Accurate Times karya Mohamad Odeh sebagai patokan. Software tersebut menggunakan algoritma VSOP87 untuk pergerakan matahari dan algoritma ELP2000 untuk pergerakan bulan. Kedua algoritma tersebut adalah algoritma terakurat untuk menentukan pergerakan kedua benda langit tersebut. Menurut Accurate Times, untuk kasus yang sama seperti di atas, waktu shalat di Jakarta pada tanggal 12 Juni 2009 berturut-turut adalah Shubuh (4:35:56), Terbit Matahari (5:58:13), Zhuhur (11:54:24) (dengan koreksi penambahan waktu tergelincir matahari sama dengan 2 menit), Ashar (15:14:32), Maghrib (17:46:35) dan Isya' (19:00:21). Jika hasil perhitungan di atas dibandingkan dengan Accurate Times, perbedaannya berkisar antara 2 hingga 7 detik. Ini sudah cukup akurat.

Kedua, bagi penulis secara pribadi, nilai perbedaan beberapa detik di atas masih bisa diperkecil lagi, dengan memperhatikan sejumlah catatan. Hasil perhitungan di atas menggunakan nilai Deklinasi Matahari dan Equation of Time yang sama untuk semua waktu shalat, yaitu nilai pada pukul 12.00 waktu lokal. Padahal, nilai deklinasi matahari maupun equation of time selalu berubah setiap saat, meskipun cukup kecil perubahannya dalam rentang satu hari. Sebagai contoh pada kasus di atas, Deklinasi Matahari pada waktu Shubuh dan Isya' berturut-turut adalah 23,14178926 (atau 23:08:30) derajat dan 23,1792171 (atau 23:10:45) derajat. Perbedaannya adalah sekitar 2 menit busur.

Dengan demikian, rumus di atas masih dapat diperhalus atau dikoreksi lebih baik lagi, jika untuk setiap waktu shalat, nilai Deklinasi Matahari serta Equation of Time yang digunakan sesuai dengan nilainya saat waktu shalat tersebut.

Misalnya, untuk waktu shalat Isya', digunakan Deklinasi Matahari dan Equation of Time pada waktu shalat Isya' pula, bukan pada pukul 12.00 waktu lokal. Pertama kali tentukan dulu Perkiraan Hour Angle yang diperoleh dengan data Delta maupun Equation of Time saat pukul 12.00 waktu lokal. Dari Perkiraan Hour Angle ini dicari perkiraan waktu Isya'. Perkiraan waktu Isya' ini selanjutnya dikonversi ke Julian Day yang kemudian dapat dipakai untuk menghitung Delta dan Equation of Time. Begitu seterusnya diulangi satu hingga beberapa kali hingga diperoleh angka yang konvergen (tetap). Pada akhirnya rumusnya untuk waktu shalat Isya secara lengkap adalah

$$\text{Waktu Shalat Isya'} = 12 + Z - B/15 - (\text{ET saat Isya'})/60 + (\text{Hour Angle Isya'})/15$$

dimana

$$\cos(\text{Hour Angle Isya'}) = [\sin(-1 * \text{Sudut Isya'}) - \sin(\text{Lintang}) * \sin(\text{Delta saat Isya'})] / [\cos(\text{Lintang}) * \cos(\text{Delta saat Isya'})].$$

Dengan sejumlah faktor koreksi, termasuk koreksi dari pembiasan atmosfer yang akan disajikan di bawah ini, waktu shalat menjadi lebih akurat lagi. Hasilnya adalah Shubuh (4:35:47), Terbit matahari (5:58:14), Zhuhur (11:54:25), Ashar (15:14:34), Maghrib (17:46:36) dan Isya' (19:00:22). Perbedaannya, dibandingkan dengan Accurate Times menjadi hanya antara 1–2 detik saja.

Koreksi yang lain juga dapat dilakukan pada penentuan waktu shalat Ashar. Akibat pembiasan sinar matahari oleh atmosfer bumi, altitude benda langit yang sebenarnya lebih rendah daripada altitude yang nampak. Saat waktu Ashar tiba, yang diamati adalah pusat matahari yang nampak, padahal pusat matahari yang sebenarnya sedikit lebih rendah. Yang kita hitung seharusnya adalah posisi matahari yang sebenarnya, sehingga pada akhirnya, koreksi ini membuat waktu Ashar menjadi sedikit lebih lambat. Ini dapat dengan mudah dipahami karena matahari beranjak untuk turun sehingga dibutuhkan waktu agar altitudenya berkurang.

Ketiga, koreksi oleh atmosfer ini sudah digunakan pada penentuan waktu Maghrib dan terbit matahari. Pada kedua kejadian tersebut, altitude yang nampak adalah nol derajat. Namun dalam perhitungan, altitudenya bukan nol derajat tetapi –0,8333 derajat atau minus 50 menit busur. Angka ini bersumber dari dua hal. Pertama, sudut untuk jari–jari

matahari secara rata-rata adalah 16 menit busur. Kedua, besarnya koreksi pembiasan atmosfer saat benda langit berada di ufuk (saat terbit atau terbenam) rata-rata sebesar 34 menit busur. Jika dijumlahkan keduanya menghasilkan 50 menit busur di bawah ufuk, atau altitudenya minus 50 menit busur. Angka ini sudah cukup akurat. Jika ingin lebih akurat lagi, dapat diperhitungkan faktor berubahnya sudut untuk jari-jari matahari, karena nilai ini bergantung pada jarak matahari ke bumi yang tidak selalu tetap. Jika matahari berjarak cukup jauh dari bumi, maka sudut untuk jari-jari matahari bernilai lebih kecil. Demikian juga besarnya koreksi pembiasan atmosfer yang juga bergantung pada suhu maupun tekanan udara. Namun demikian untuk keperluan praktis, altitude minus 0,8333 derajat sudah cukup memadai.

Keempat, pada rumus terbit matahari (sunrise) maupun waktu Maghrib (sunset), faktor ketinggian lokasi H di atas permukaan laut juga sudah diperhitungkan. Seseorang yang berada cukup tinggi di atas permukaan laut akan menyaksikan sunrise yang lebih awal serta sunset yang lebih telat, dibandingkan dengan orang yang berada di permukaan laut. Sebenarnya H bisa juga bernilai negatif, atau ketinggiannya lebih rendah daripada permukaan laut. Untuk kasus ini, suku $-0,0347 \cdot \text{SQRT}(H)$ pada altitude sedikit berubah menjadi $+0,0347 \cdot \text{SQRT}(-H)$, sehingga orang yang berada di daerah yang lebih rendah dari permukaan laut akan menyaksikan sunrise yang lebih telat serta sunset yang lebih awal. Namun karena rata-rata tempat yang dihuni manusia berada di atas permukaan laut, kasus terakhir ini tidak perlu dibahas secara detail.

Kelima, dengan beragamnya pendapat mengenai besarnya sudut Shubuh maupun Isya', karena itu tentu saja dimungkinkan terjadinya perbedaan waktu Shubuh dan Isya'. Pada soal di atas dengan sudut Shubuh 20 derajat (altitude = -20 derajat), waktu Shubuh adalah pukul 4:35:51 WIB. Sepengetahuan penulis, angka 20 derajat ini biasa yang digunakan di Indonesia. Jika dipakai sudut standar astronomical twilight 18 derajat, maka waktu Shubuh datang lebih lambat, yaitu pukul 4:44:33 WIB. Ternyata perbedaan 2 derajat berimplikasi pada perbedaan waktu sekitar 8 menit. Belum lagi, jika digunakan tambahan waktu untuk faktor kehati-hatian (ikhtiyath), mulai dari 1, 2, 3 menit dan seterusnya. Sudah banyak kajian fiqh maupun astronomis mengenai waktu Shubuh dan Isya'

.
Keenam, dari perumusan untuk Hour Angle

$$\text{COS(HA)} = [\text{SIN(Altitude)} - \text{SIN(Lintang)} * \text{SIN(Delta)}] / [\text{COS(Lintang)} * \text{COS(Delta)}]$$

maka sangat mungkin jika nilai COS(HA) lebih besar dari 1 atau lebih kecil dari -1. Padahal nilai COS berkisar antara -1 hingga 1. Jika demikian, Hour Angle tidak dapat ditentukan. Ini terjadi khususnya pada daerah lintang tinggi. Singkatnya, ada tiga kemungkinan.

- Kemungkinan pertama, dalam penentuan waktu Shubuh dan Isya', nilai $\text{COS(HA)} < -1$. Akibatnya waktu Shubuh dan Isya' tidak dapat ditentukan menurut rumus di atas. Yang terjadi adalah, di waktu malam hari, bahkan pukul 12 malam, langit masih nampak terang walaupun tidak ada matahari. Suasana langit seperti halnya di tengah-tengah waktu Maghrib.
- Kemungkinan kedua, untuk kasus terbit dan terbenam matahari, $\text{COS(Hour Angle)} < -1$. Untuk kasus ini, matahari tidak pernah terbenam. Matahari selalu berada di atas ufuk, sehingga dengan rumus biasa di atas, waktu Shubuh, terbit matahari, Maghrib dan Isya' tidak dapat ditentukan. Hanya waktu Zhuhur dan Ashar saja yang bisa diperoleh. Dalam hal ini, sebuah kejadian unik dapat terjadi, yaitu ketika pergantian hari pada pukul 00:00:00 atau pukul "12 malam", matahari tengah bersinar di atas ufuk.
- Kemungkinan ketiga, untuk kasus terbit dan terbenam matahari, $\text{COS(Hour Angle)} > 1$. Dalam hal ini, matahari tidak pernah terbit karena selalu berada di bawah ufuk. Hanya waktu Shubuh dan Isya' saja yang dapat ditentukan dengan rumus di atas. Selama 24 jam, hanya ada dua keadaan langit. Antara waktu Shubuh dan Isya', langit tidak begitu gelap, layaknya waktu Maghrib. Sebaliknya, antara waktu Isya' dan Shubuh, langit gelap.

BAB IV

POSISI BULAN

Menentukan posisi bulan termasuk hal penting dalam ilmu hisab. Misalnya, menentukan berapakah azimuth dan ketinggian bulan pada saat maghrib pada hari terjadinya ijtima atau hari sesudahnya. Juga, menentukan kapan bulan terbit, transit dan terbenam jika diamati dari suatu tempat tertentu.

4.1. Algoritma Brown

Disini akan dijelaskan cara menghitung posisi bulan di langit berdasarkan teori Brown. Ernest W. Brown adalah seorang astronom berkebangsaan Inggris abad 19. Seperti biasa, pertama kali akan dihitung posisi bulan menurut koordinat ekliptika geosentrik, yaitu nilai bujur ekliptika (λ), lintang ekliptika (β) dan jarak bumi–bulan. Selanjutnya, dengan menggunakan epsilon (sudut antara bidang ekliptika dengan bidang ekuator, sekitar 23,5 derajat), λ , β serta transformasi koordinat antara koordinat ekliptika geosentrik dengan ekuator geosentrik, maka posisi bulan menurut koordinat ekuator geosentrik dapat dihitung. Dalam hal ini, right ascension (α) dan deklinasi (δ). Nilai α dapat diubah menjadi hour angle (HA) dengan memanfaatkan Local Sidereal Time dan bujur geografis tempat pengamatan. Akhirnya, dengan menggunakan transformasi dari koordinat ekuator geosentrik ke horison, maka sudut azimuth dan altitude bulan dapat ditentukan. Jika bulan diproyeksikan/ditarik tegaklurus ke bidang horison/ufuk, maka altitude adalah sudut ketinggian bulan dari ufuk, sedangkan azimuth, seperti telah dijelaskan pada tulisan–tulisan sebelumnya adalah sudut antara titik utara (azimuth 0 derajat) dengan titik proyeksi bulan di ufuk yang diukur dari arah utara mengikuti arah jarum jam.

Metode menentukan posisi bulan menurut algoritma Brown adalah sebagai berikut.

- Dari tanggal dan waktu, konversikan waktunya menjadi UT.

- Dari UT, ubahlah menjadi TD dengan menambahkan Delta_T.
- Tentukan nilai Julian Day Ephemeris (JDE) untuk waktu TD tersebut.
- $T = (JDE - 2451545)/36525$.
- Bujur rata-rata bulan = $U = 218,317 + 481267,883 * T$.
- Anomali rata-rata bulan = $V = 134,954 + 477198,849 * T$.
- Bujur rata-rata titik naik bulan = $\Omega = 125,041 - 1934.142 * T$.
- Bujur rata-rata matahari = $L = 280,466 + 36000,769 * T$.
- Anomali rata-rata matahari = $M = 357,526 + 35999.050 * T$.
- Satuan U, V, Omega, L dan M adalah derajat dengan rentang nilai antara 0 hingga 360 derajat. Jika nilainya diluar rentang itu, kurangkan atau tambahkan dengan kelipatan 360 derajat.

4.1.1. Bujur Eklptika Bulan

Untuk menentukan bujur eklptika bulan yang sebenarnya, perlu dihitung koreksi bujur bulan yang berjumlah enam buah. Enam buah faktor koreksi itu berkaitan dengan

- bentuk orbit bulan. $Koreksi1 = 22640 * \sin(V) + 769 * \sin(2 * V) + 36 * \sin(3 * V)$.
- ketidaksamaan paralaks. $Koreksi2 = -125 * \sin(U - L)$.
- variasi. $Koreksi3 = 2370 * \sin(2 * (U - V))$.
- persamaan tahunan. $Koreksi4 = -668 * \sin(M)$.
- kemiringan orbit bulan. $Koreksi5 = -412 * \sin(2 * (U - \Omega)) + 212 * \sin(2 * (U - L - V))$.
- eveksi. Rumusnya agak panjang. $Koreksi6 = 4586 * \sin(2 * (U - L) - V) + 206 * \sin(2 * (U - L) - V - M) + 192 * \sin(2 * (U - L) + V) + 165 * \sin(2 * (U - L) - M) + 148 * \sin(V - M) - 110 * \sin(V + M)$.

Total koreksi adalah jumlah keenam koreksi di atas. Faktor koreksi di atas bersatuan detik busur. Jadi harus dibagi 3600 agar bersatuan derajat. Akhirnya bujur bulan sesungguhnya (Λ) menurut teori Brown adalah

$$\Lambda = \text{Bujur rata-rata bulan (U)} + \text{Total Koreksi.}$$

4.1.2. Lintang Ekliptika Bulan

Lintang Ekliptika Bulan (Beta) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut

- $$\text{Beta} = 18520 \cdot \sin(\text{Lambda} - \text{Omega} + 0,114 \cdot \sin(2 \cdot (\text{U} - \text{Omega})) + 0,150 \cdot \sin(\text{M})) - 526 \cdot \sin(2 \cdot \text{L} - \text{U} - \text{Omega}) + 44 \cdot \sin(2 \cdot \text{L} - \text{U} - \text{Omega} + \text{V}) - 31 \cdot \sin((2 \cdot \text{L} - \text{U} - \text{Omega} - \text{V}) - 23 \cdot \sin((2 \cdot \text{L} - \text{U} - \text{Omega} + \text{M}) + 11 \cdot \sin((2 \cdot \text{L} - \text{U} - \text{Omega} - \text{M}) - 25 \cdot \sin(\text{U} - \text{Omega} - 2 \cdot \text{V}) + 21 \cdot \sin(\text{U} - \text{Omega} - \text{V})).$$
- Beta menurut rumus di atas bersatuan detik busur. Jadi harus dibagi 3600 agar bersatuan derajat.

4.1.3. Jarak Bumi–Bulan

Untuk menentukan jarak bumi–bulan, terlebih dahulu dihitung:

- Sudut paralaks bumi–bulan = $\Phi = 3423 + 187 \cdot \cos(\text{V}) + 10 \cdot \cos(2 \cdot \text{V}) + 34 \cdot \cos(2 \cdot (\text{U} - \text{L}) - \text{V}) + 28 \cdot \cos(2 \cdot (\text{U} - \text{L})) + 3 \cdot \cos(2 \cdot (\text{U} - \text{L}) + \text{V})$.
- Φ bersatuan detik busur. Jadi harus dibagi 3600 agar bersatuan derajat.
- Sudut jari–jari bulan (s) dapat dihitung dengan rumus
- $\sin(s) = 0,272493 \cdot \sin(\Phi)$.
- $s = \text{ASIN}(0,272493 \cdot \sin(\Phi))$ bersatuan derajat
- Jarak Bumi–Bulan = $R = 6378,14 / \sin(\Phi)$ bersatuan km

Jika Bujur Ekliptika Bulan (Lambda) dan Lintang Ekliptika Bulan (Beta) sudah diketahui, maka selanjutnya dapat dicari Right Ascension Bulan (Alpha) dan Deklinasi Bulan (Delta). Disini tentu perlu dihitung dahulu nilai Epsilon, yaitu sudut antara bidang ekliptika dengan bidang ekuator.

Dari nilai Alpha dan Delta tersebut, Azimuth dan Altitude Bulan pada waktu tertentu yang diamati di tempat tertentu (Bujur dan Lintang Geografis) juga dapat diketahui. Terlebih dahulu dicari nilai Hour Angle (HA) yang dihitung dari Local Sidereal Time (LST), bujur geografis dan zona waktu lokal tempat tersebut. Dari Hour Angle, Delta

dan lintang geografis yang telah diketahui, akhirnya azimuth dan altitude bulan dapat ditentukan.

Contoh

Pada tanggal 22 Juli 2009, Insya Allah akan terjadi gerhana matahari total. Menurut algoritma Meeus, gerhana maksimum akan terjadi pada pukul 02:36:36 TD atau pukul 02:35:29,5 UT ($\Delta T = 66,5$ detik). Tentukan posisi bulan pada waktu tersebut, diukur dari koordinat 24,2 derajat N dan 144,1 derajat E (tempat teramatinya gerhana matahari total maksimum tersebut). Zona waktu tempat tersebut = UT + 9.

Jawab

- Tanggal 22 Juli 2009 pukul 02:36:36 TD bersesuaian dengan JDE = 2455034,60875.
- Karena itu nilai $T = 0,09554028063$.
- Selanjutnya dapat dihitung lima sudut argumen sebagai berikut.
- Bujur rata-rata bulan = 118,7856 derajat.
- Anomali rata-rata bulan = 6,66595 derajat.
- $\Omega = 300,25253$ derajat.
- Bujur rata-rata matahari = 119,98957 derajat.
- Anomali rata-rata matahari = 196,88534 derajat.
- Untuk menentukan bujur ekliptika bulan, dapat dihitung enam buah koreksi, dimana total koreksi = 2384,260675 detik busur = 0,66229 derajat.
- Akhirnya Bujur ekliptika bulan = 119,44789 derajat = 119:26:52 derajat (119 derajat 26 menit busur 52 detik busur).
- Sementara itu lintang ekliptika bulan atau β dapat dihitung = 0,068860 derajat = 0:4:8 derajat.
- Sudut paralaks bulan = 1:01:23 derajat, sehingga sudut jari-jari bulan = 0:16:44 derajat.
- Jarak bumi-bulan dapat dihitung = 357215 km.
- Nilai epsilon dapat dihitung = 23,439257 derajat.

Dengan menggunakan transformasi koordinat dari ekliptika ke ekuator geosentrik, diperoleh

- Right ascension bulan (α) adalah pukul 8:6:29.

- Deklinasi bulan (delta) = 20:20:1 derajat.

Selanjutnya digunakan transformasi koordinat dari ekuator geosentrik ke horison.

- Diamati dari posisi 24,2 derajat N dan 144,1 derajat E, azimuth dan altitude bulan pada waktu tersebut berturut-turut adalah 198:1:47 derajat dan 85:56:24 derajat.

Adapun, posisi matahari diukur dari tempat yang sama pada waktu yang sama adalah azimuth matahari 197:57:24 derajat dan altitude matahari 85:52:20 derajat. Nampak bahwa selisih azimuth bulan dan matahari adalah sekitar 4 menit busur (1 derajat = 60 menit busur). Adapun selisih altitude bulan dan matahari adalah sekitar 4 menit busur. Dengan menggunakan rumus separasi sudut, sudut jarak antara bulan–matahari adalah sekitar 4 menit busur pula. Angka ini jauh lebih kecil daripada sudut jari–jari bulan maupun matahari yang besarnya sekitar 16 menit busur. Jadi bulan dan matahari nampak berimpit sehingga memang terjadi gerhana matahari. Gerhana ini memang dapat diamati dari tempat tersebut, karena altitudenya positif dan waktu saat itu adalah di siang hari (pukul 11:35 waktu setempat). Pembahasan lebih lengkap mengenai gerhana matahari total 22 Juli 2009 terdapat pada bab tentang gerhana.

Dari perhitungan di atas, posisi bulan dapat disimpulkan sebagai berikut.

- Bujur ekliptika bulan = 119:26:52 derajat.
- Lintang ekliptika bulan = 0:4:8 derajat.
- Sudut jari–jari bulan = 0:16:44 derajat
- Jarak bumi–bulan = 357215 km.
- Right Ascension bulan = pukul 8:6:29.
- Deklinasi bulan = 20:20:1 derajat.
- Jika diukur dari tempat tersebut, azimuth bulan = 198:1:47 derajat dan altitude bulan = 85:56:24 derajat.

Sebagai perbandingan, algoritma ELP2000 yang terakurat dalam menentukan posisi bulan memberikan hasil sebagai berikut.

- Bujur ekliptika bulan = 119:27:5 derajat.
- Lintang ekliptika bulan = 0:4:14 derajat.

- Sudut jari–jari bulan = 0:16:43 derajat.
- Jarak bumi–bulan = 357531 km..
- Right Ascension bulan = pukul 8:6:30.
- Deklinasi bulan = 20:20:5 derajat.
- Jika diukur dari tempat tersebut, azimuth bulan = 198:0:32 derajat dan altitude bulan = 85:56:30 derajat.

Nampak disini algoritma Brown sudah sangat memadai untuk menentukan posisi bulan. Selisih hasilnya dengan algoritma ELP2000 hanya berkisar beberapa detik busur saja. Adapun selisih jarak bumi–bulan antara kedua algoritma hanya sekitar 300 km, yang jauh lebih kecil daripada jari–jari bulan (sekitar 1731 km) itu sendiri.

4.2. Algoritma Meeus

Untuk keperluan praktis, algoritma Brown sudah cukup akurat untuk menentukan posisi bulan. Sekarang ingin disajikan cara menghitung posisi bulan berdasarkan algoritma Meeus. Dengan algoritma Meeus, maka posisi bulan dapat ditentukan lebih akurat lagi. Perbedaan antara algoritma Meeus dengan Brown adalah pada algoritma Meeus, suku–suku koreksi yang dihitung jumlahnya lebih banyak daripada algoritma Brown. Karena melibatkan suku–suku koreksi yang lebih banyak, karena itu algoritma Meeus lebih akurat.

Sebagai perbandingan, untuk menghitung bujur ekliptika bulan, Brown hanya menggunakan 14 suku koreksi sedangkan Meeus 62 suku koreksi. Suku koreksi Brown terkecil untuk menghitung bujur ekliptika bulan adalah 36 detik busur, sedangkan Meeus adalah berorde 1 detik busur (1 detik busur = 1/3600 derajat).

Untuk menghitung lintang ekliptika bulan, Brown hanya menggunakan 8 suku koreksi sedangkan Meeus 66 suku koreksi. Suku koreksi Brown terkecil untuk menghitung lintang ekliptika bulan adalah 11 detik busur, sedangkan Meeus adalah berorde 0,4 detik busur.

Untuk menghitung jarak bumi–bulan, Brown menggunakan cara menghitung sudut paralaks bulan sebanyak 6 suku koreksi. Sedangkan Meeus menggunakan metode langsung dengan 46 suku koreksi. Suku koreksi Meeus terkecil untuk menghitung jarak bumi–bulan adalah dalam orde 1 km.

Pada Lampiran 2, disajikan daftar suku-suku koreksi bujur ekliptika bulan, koreksi lintang ekliptika bulan, dan koreksi jarak bumi – bulan.

Berikut ini metode cara menentukan posisi bulan dengan algoritma Meeus. Perlu diketahui, metode ini mengambil kerangka acuan geosentrik (pusat bumi). Artinya, posisi bulan yang diwakili oleh titik pusat bulan diukur dari titik pusat bumi. Misalnya kita akan menghitung posisi bulan (bujur ekliptika, lintang ekliptika dan jarak bumi–bulan) pada waktu tertentu.

- Jika waktu tersebut masih dalam waktu lokal (misalnya WIB), maka harus dikonversi ke waktu dalam UT (atau GMT).
- Selanjutnya waktu dalam UT ini dikonversi menjadi Julian Day (JD).
- Agar menjadi JDE (Julian Day Ephemeris) dimana waktu dinyatakan dalam TD, maka JD harus ditambah dengan Delta_T.
- Selanjutnya JDE diubah menjadi T yang dirumuskan $T = (JDE - 2451545)/36525$. Besaran T tidak lain adalah banyaknya abad (century) dihitung sejak tanggal 1 Januari 2000 pukul 12 siang TD.
- Dari besaran T inilah, akan dihitung banyak besaran yang lain. Pertama, dihitung lima buah sudut (L' , D , M , M' dan F) bersatuan derajat yang rumusnya terdapat pada lampiran di bawah. Kelima sudut tersebut bergantung pada nilai T. Selanjutnya dihitung tiga jenis sudut argumen A_1 , A_2 dan A_3 . Tidak lupa dihitung pula faktor E yang ada hubungannya dengan eksentrisitas orbit bumi mengitari matahari.

4.2.1. Koreksi bujur ekliptika

Selanjutnya, koreksi bujur ekliptika dapat dihitung berdasarkan penjumlahan dari suku–suku $A \cdot \sin(K_1 \cdot D + K_2 \cdot M + K_3 \cdot M' + K_4 \cdot F)$. Banyak suku sinus ini untuk

menghitung koreksi bujur ekliptika adalah 59 suku. Setiap suku memiliki koefisien-koefisien A, K1, K2, K3 dan K4 masing-masing. Sebagai contoh, untuk nilai koefisien A terbesar yaitu 6288774, angka-angka K1, K2, K3 dan K4 berturut-turut adalah 0, 0, 1, 0. Jadi suku tersebut nilainya adalah $6288774 \cdot \sin(M')$. Sebagai catatan, angka 6288774 menunjukkan koefisien sebesar 6,288774 derajat karena nantinya jumlah seluruh koreksi bujur ekliptika dibagi dengan satu juta. Berikutnya, koefisien A terbesar berikutnya adalah 1274027 (1,274027 derajat) dengan $K1 = 2$, $K2 = 0$, $K3 = -1$ dan $K4 = 0$ sehingga suku berikutnya menjadi $1274027 \cdot \sin(2 \cdot D - M')$. Akhirnya suku ke 59 adalah $294 \cdot \sin(2 \cdot D + 3 \cdot M')$. Disini, koefisien 294 menunjukkan 0,000294 derajat atau sama dengan 1,06 detik busur. Ini menunjukkan bahwa ketelitian yang ingin diperoleh dengan algoritma Meeus cukup tinggi, karena suku terkecil adalah berorde satu detik busur. Selanjutnya 59 suku tersebut dijumlahkan dan hasilnya adalah koreksi bujur ekliptika.

Disini ada sedikit catatan tambahan untuk suku-suku pada koreksi bujur ekliptika. Jika nilai K2 tidak sama dengan nol, maka nilai suku tersebut harus dikalikan dengan faktor eksentrisitas orbit bumi E. Jika K2 sama dengan 1 atau -1, maka dikalikan dengan E. Jika K2 sama dengan 2 atau -2, maka dikalikan dengan $E \cdot E$. Misalnya, suku kelima memiliki nilai $A = -185116$ dan $K2 = 1$ ($K1 = K3 = K4 = 0$). Jadi suku kelima tersebut bentuknya $-185116 \cdot E \cdot \sin(M)$. Di atas telah disebutkan koreksi bujur ekliptika sebanyak 59 suku. Karena total sebesar 62 suku, maka ada tiga suku tambahan yang bersumber dari sudut A1 dan A2.

Jika seluruh suku sudah dihitung dan dijumlahkan, maka koreksi bujur ekliptika (bersatuan derajat) = Total suku / 1000000.

4.2.2. Koreksi lintang ekliptika

Berikutnya koreksi lintang ekliptika bulan dapat dihitung dengan cara yang sama seperti pada koreksi bujur ekliptika, yaitu penjumlahan dari suku-suku $A \cdot \sin(K1 \cdot D + K2 \cdot M + K3 \cdot M' + K4 \cdot F)$. Bentuk suku sinus ini berjumlah sebanyak 60 suku. Suku dengan A terbesar adalah 5128122 dan $K4 = 1$ ($K1 = K2 = K3 = 0$). Jadi suku ini berbentuk

$5128122 \cdot \sin(F)$. Koefisien 5128122 menunjukkan koreksi suku lintang sebesar 5,128122 derajat (dibagi dengan satu juta), dimana angka sebesar 5 derajat tersebut adalah sudut kemiringan bidang orbit bulan mengitari bumi terhadap bidang ekliptika. Adapun koefisien terkecil adalah 107 yang setara dengan 0,000107 derajat atau 0,4 detik busur.

Sama halnya seperti pada koreksi bujur ekliptika, jika pada suku koreksi lintang ekliptika bulan angka K2 tidak nol maka suku tersebut perlu dikalikan dengan faktor eksentrisitas orbit E. Karena total suku koreksi lintang ekliptika bulan adalah 65 suku, maka terdapat lima buah suku tambahan lainnya untuk menghitung koreksi lintang ekliptika yang bersumber dari sudut L', A1 dan A3.

Jika seluruh suku sudah dihitung dan dijumlahkan, maka koreksi lintang ekliptika (bersatuan derajat) = Total suku / 1000000.

4.2.3. Koreksi jarak bumi–bulan

Terakhir, koreksi jarak bumi–bulan dapat dihitung dengan penjumlahan suku–suku cosinus yang berbentuk $A \cdot \cos(K1 \cdot D + K2 \cdot M + K3 \cdot M' + K4 \cdot F)$. Bentuk suku cosinus ini sebanyak 46 suku. Koefisien A terbesar adalah –20905355 dimana koefisien $K1 = K2 = K4 = 0$ dan $K3 = 1$, sehingga suku tersebut berbentuk $-20905355 \cdot \cos(M')$. Angka –20905355 ini bersatuan meter atau jika dibulatkan hampir sebesar –21000 km. Perlu diketahui, jarak rata–rata bumi–bulan adalah 385000 km. Jika koefisien –21000 km ini dominan, maka jarak minimum bumi–bulan adalah sekitar $385000 - 21000 = 364000$ km, sedangkan jarak maksimum bumi–bulan adalah sekitar $385000 + 21000 = 406000$ km.

Rentang jarak minimum dan maksimum tersebut tidak tepat benar, karena perhitungan di atas baru memperhitungkan satu suku saja walaupun suku yang terbesar, padahal kenyataannya pada algoritma Meeus ini terdapat 46 suku koreksi. Sebenarnya, jarak minimum bumi–bulan adalah sekitar 356000 km, sedangkan jarak maksimum bumi–bulan adalah sekitar 406000 km. Disini sekurangnya dapat kita pahami bahwa jarak

bumi–bulan cukup besar bervariasi. Akibatnya, saat jaraknya minimum maka bulan tampak besar, sedangkan saat jaraknya maksimum bulan tampak lebih kecil. Jika dibandingkan dengan jarak bumi–matahari yang tidak banyak bervariasi, hal inilah yang menyebabkan mengapa pada peristiwa gerhana matahari, kadang bentuknya total dan kadang bentuknya cincin. Secara rata–rata sudut jari–jari bulan hampir sama dengan sudut jari–jari matahari. Namun gerhana cincin akan terjadi ketika bulan jauh dari bumi, sedangkan gerhana total terjadi saat bulan lebih dekat.

Koefisien suku koreksi jarak bumi–bulan yang terkecil adalah 1117 yang setara dengan jarak 1 km. Jika seluruh suku sudah dihitung, maka koreksi jarak bumi–bulan (bersatuan km) = Total suku / 1000.

4.2.4. Posisi bulan menurut algoritma Meeus

Akhirnya, setelah koreksi bujur ekliptika bulan, koreksi lintang ekliptika bulan dan koreksi jarak bumi–bulan dihitung, diperoleh posisi bulan menurut algoritma Meeus sebagai berikut.

- Bujur ekliptika bulan sejati (true longitude) bersatuan derajat = $L' + \text{Koreksi bujur ekliptika}$.
- Lintang ekliptika bulan (beta) bersatuan derajat = Koreksi lintang ekliptika.
- Jarak bumi–bulan bersatuan km = $385000,56 + \text{Koreksi jarak}$.
- Sudut Paralaks bulan (Φ) = $\text{ASIN}(6378,14/\text{Jarak bumi–bulan})$

Pada rumus bujur bulan di atas, perlu juga dihitung faktor nutasi atau faktor osilasi sumbu rotasi bumi di sekitar sumbu rata–rata rotasi bumi. Proyeksi dari faktor nutasi ke bidang ekliptika menghasilkan nutasi bujur dan nutasi kemiringan sumbu rotasi bumi. Jika nutasi bujur ditambahkan pada bujur bulan sejati (true longitude), hasilnya adalah bujur bulan yang nampak (apparent longitude).

Contoh:

Tentukan bujur ekliptika bulan, lintang ekliptika bulan, right ascension bulan dan deklinasi bulan pada tanggal 17 Nopember 2009 pukul 17:49:43 WIB. Tentukan pula

azimuth dan true altitude bulan jika dilihat dari Jakarta (6:10 LS, 106:51 BT, UT + 7). Sebagai catatan, tanggal tersebut menunjukkan akhir bulan Dzulqa'dah 1430 H dan waktu tersebut menunjukkan saat maghrib di Jakarta.

Jawab:

- Tanggal 17 Nopember 2009 pukul 17:49:43 WIB = pukul 10:49:43 UT. Karena $\Delta T = 66,6$ detik maka waktu tersebut sama dengan 17 Nopember 2009 pukul 10:50:49,6 TD yang bersesuaian dengan Julian Day Ephemeris $JDE = 2455152,951964$.
- $T = (JDE - 2451545)/36525 = 0,098780341233$. Dengan nilai T tersebut, selanjutnya besaran-besaran berikut dapat dihitung.
- Bujur ekliptika rata-rata bulan = 238,121990 derajat.
- Total suku bujur ekliptika bulan = 4783057 sehingga koreksi bujur ekliptika bulan = 4,783057 derajat.
- Total suku lintang ekliptika bulan = -3879992 sehingga koreksi lintang ekliptika bulan = -3,879992 derajat.
- Koreksi jarak bumi-bulan = 6750,5 km.
- Bujur ekliptika bulan sesungguhnya = $238,121990 + 4,783057 = 242,905047$ derajat
- Koreksi nutasi bujur = 0,003910 derajat.
- Bujur ekliptika bulan nampak (Λ) = $242,905047 + 0,003910 = 242,908956$ derajat = 242:54:32 derajat atau 242 derajat 54 menit busur 32 detik busur.
- Lintang ekliptika bulan (β) = koreksi lintang ekliptika bulan = -3,879992 derajat = minus 3:52:48 derajat = minus 3 derajat 52 menit busur 48 detik busur.
- Jarak bumi-bulan = $385000,56 - 6750,5 = 391751,1$ km.
- Dari jarak bumi-bulan ini, dapat dihitung sudut paralaks bulan = $\text{ASIN}(\text{Jari-jari bumi}/\text{Jarak bumi-bulan}) = 0:55:58$ derajat (55 menit busur 58 detik busur).
- Juga, sudut jari-jari bulan, yaitu 0:15:15 derajat = 15 menit busur 15 detik busur.
- Selanjutnya dengan memperhitungkan faktor nutasi kemiringan sumbu rotasi bumi, nilai epsilon (kemiringan sumbu rotasi bumi terhadap sumbu bidang ekliptika) adalah 23,438986 derajat.

- Dengan menggunakan transformasi koordinat dari koordinat ekliptika geosentrik (Lambda dan Beta) ke koordinat ekuator geosentrik (Alpha dan Delta), diperoleh Right Ascension Bulan (Alpha) = 240,033236 derajat atau pukul 16:00:08, serta Deklinasi Bulan (Delta) = -24,544630 derajat = minus 24:32:41 derajat.
- Sementara itu, untuk waktu pukul 17:49:43 WIB tersebut serta koordinat lintang di Jakarta, dapat dihitung waktu sidereal lokal (Local Sidereal Time) = pukul 21,727398.
- Sehingga, hour angle (HA) = LST – Alpha = 85,877730 derajat.
- Akhirnya dengan transformasi koordinat dari ekuator geosentrik (Delta dan HA yang menggantikan Alpha) ke horisontal geosentrik (Azimuth, Altitude) diperoleh hasil Azimuth Bulan = 245,893370 derajat = 245:53:36 derajat. Altitude Bulan = 6,294215 derajat = 6:17:39 derajat.

Hasil posisi–posisi bulan di atas dapat dituliskan sebagai berikut.

- Bujur ekliptika geosentrik nampak (Lambda) = 242:54:32 derajat.
- Lintang ekliptika geosentrik nampak (Beta) = minus 3:52:48 derajat.
- Jarak bumi–bulan geosentrik = 391751,1 km.
- Sudut paralaks bulan = 0:55:58 derajat.
- Sudut jari–jari bulan = 0:15:15 derajat.
- Right Ascension geosentrik (Alpha) = pukul 16:00:08.
- Deklinasi geosentrik (Delta) = minus 24:32:41 derajat.
- Azimuth "geosentrik" bulan dilihat dari Jakarta = 245:53:36 derajat.
- Altitude sejati "geosentrik" bulan dilihat dari Jakarta = 6:17:39 derajat.

Ada beberapa catatan tentang cara menentukan posisi bulan menggunakan algoritma Meeus.

Pertama, hasil posisi bulan menurut algoritma Meeus di atas sangat mirip dengan hasil posisi bulan menurut algoritma ELP 2000. Menurut algoritma ELP 2000, untuk waktu dan koordinat tempat yang sama, diperoleh hasil sebagai berikut.

- Bujur ekliptika geosentrik nampak (Lambda) = 242:54:32 derajat.
- Lintang ekliptika geosentrik nampak (Beta) = minus 3:52:48 derajat.

- Jarak bumi–bulan geosentrik = 391748,6 km.
- Sudut paralaks bulan = 0:55:58 derajat.
- Sudut jari–jari bulan = 0:15:15 derajat.
- Right Ascension geosentrik (Alpha) = pukul 16:00:08.
- Deklinasi geosentrik (Delta) = minus 24:32:41 derajat.
- Azimuth "geosentrik" bulan dilihat dari Jakarta = 245:53:36 derajat.
- Altitude sejati "geosentrik" bulan dilihat dari Jakarta = 6:17:39 derajat.

Ternyata, hasil yang ditunjukkan antara algoritma Meeus dengan ELP 2000 praktis sama, kecuali pada jarak bumi–bulan geosentrik yang berbeda hanya sekitar 3 km. Perbedaan ini disebabkan suku–suku koreksi pada algoritma Meeus tidak sebanyak pada algoritma ELP 2000.

Kedua, data–data di atas dihitung dengan menggunakan kerangka acuan geosentrik, artinya diukur menurut pusat bumi. Demikian juga azimuth bulan dan altitude bulan di atas juga diukur menurut kerangka acuan geosentrik, walaupun pengamat berada di Jakarta (bukan di pusat bumi). Jika kita pindah ke kerangka acuan toposentrik (pengamat berada di permukaan bumi), maka akan terjadi sedikit pergeseran hasil di atas. Perlu diketahui, bulan termasuk benda langit yang berjarak cukup dekat dengan bumi. Akibatnya, disini kita harus memperhitungkan faktor paralaks, yaitu perubahan (kecil) posisi benda langit yang diamati, karena tempat pengamat yang berbeda.

Untuk mudahnya, posisi bujur ekliptika bulan di atas diukur menurut kerangka acuan geosentrik. Jika kemudian ada dua pengamat yang berada di tempat yang berbeda yang mengamati bulan pada waktu yang sama, maka bujur ekliptika bulan yang diamati oleh kedua pengamat akan sedikit berbeda. Misalnya, dua pengamat berada di Bandung dan Bangkok akan memperoleh hasil yang sedikit berbeda. Demikian pula dengan altitude bulan.

Umumnya, hasil yang penting untuk diketahui tentang posisi bulan adalah azimuth dan altitude bulan. Hal ini disebabkan, kedua posisi bulan tersebut penting untuk diketahui dalam hubungannya dengan pengamatan rukyat. Karena itu, berikut ini akan diberikan

sedikit penjelasan mengenai koreksi paralaks untuk azimuth dan altitude bulan, jika kita ingin menggunakan kerangka acuan toposentrik.

Secara praktis, azimuth bulan tidak mengalami koreksi jika kita pindah dari koordinat geosentrik ke koordinat toposentrik. Sementara itu altitude bulan mengalami koreksi cukup besar ketika kita menggunakan kerangka acuan toposentrik. Akibat koreksi paralaks, altitude bulan secara toposentrik lebih kecil daripada altitude bulan secara geosentrik. Jika pengamat berada di Jakarta dengan lintang minus 6:10:0 (asumsi ketinggian 0 m), maka jarak pengamat ke pusat bumi dapat dihitung = $\rho = 0,9999616308$ radius bumi (sering dibulatkan sama dengan satu). Sementara itu, sudut paralaks bulan secara geosentrik telah dihitung di atas = $p = 0:55:58$ derajat. Juga, telah dihitung altitude bulan secara geosentrik di atas = $h = 6:17:39$ derajat. Untuk akurasi rendah, rumus koreksi paralaks untuk altitude = p dapat dituliskan sebagai

$$\sin(p) = \rho * \sin(p_i) * \cos(h)$$

Dengan menggunakan data di atas, diperoleh nilai koreksi paralaks $p = 0,927221$ derajat = $0:55:38$ derajat. Akhirnya, altitude bulan toposentrik = altitude bulan geosentrik – koreksi paralaks (p) = $6:17:39 - 0:55:38 = 5:22:01$ derajat.

BAB V

FASE–FASE BULAN

Bulan (moon) adalah benda langit yang tidak memiliki cahaya sendiri. Cahaya bulan yang dilihat manusia sesungguhnya adalah pantulan/refleksi cahaya matahari yang sampai ke bumi. Setiap saat, posisi bulan relatif terhadap bumi dan matahari mengalami perubahan. Akibatnya, luasan cakram bulan yang terkena sinar matahari setiap saat dan setiap hari mengalami perubahan.

Mula–mula saat bulan baru (new moon), tidak ada cahaya bulan yang nampak. Keesokan harinya bulan sabit tipis (waxing crescent) nampak di ufuk barat sebelum terbenam matahari. Setiap hari, luasan cahaya bulan tersebut terus membesar, hingga setelah kira–kira tujuh hari kemudian mencapai setengah dari luasan cakram bulan. Saat itu disebut first quarter, karena kira–kira umur bulan (moon) adalah seperempat bulan (month). Luasan bulan terus membesar hingga kira–kira 14 hari setelah new moon, luasan cakram bulan mencapai maksimum 100% yang disebut dengan bulan purnama (full moon). Selanjutnya, luasan cahaya cakram bulan mulai mengecil hingga kembali mencapai setengah luasan, yang disebut sebagai fase last quarter. Kemudian bulan kembali berbentuk bulan sabit tipis (waning crescent) yang nampak di ufuk timur sebelum matahari terbit. Akhirnya, bulan kembali mengalami fase bulan baru dan begitu seterusnya.

Fenomena perubahan fase bulan digambarkan dalam Al Quran Surat Yasin:39.

وَالْقَمَرَ قَدَرْنَاهُ مَنَازِلَ حَتَّىٰ عَادَ كَالْعُرْجُونِ الْقَدِيمِ

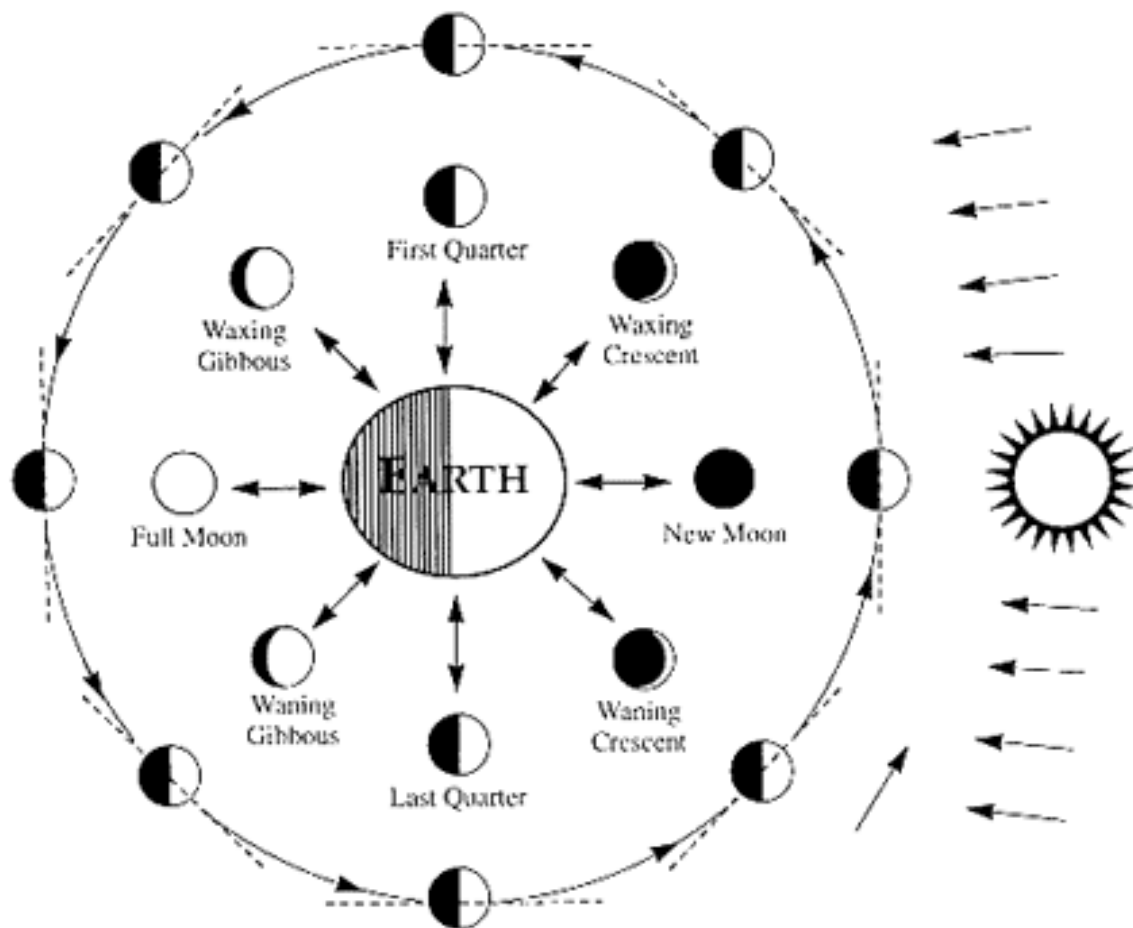
"Dan telah Kami tetapkan bagi bulan manzilah–manzilah, sehingga (setelah dia sampai ke manzilah yang terakhir) kembalilah dia sebagai bentuk tandan yang tua".

Yang dimaksud dengan 'urjun al–qadim adalah bentuk bulan tua (waning crescent).

Dari paparan di atas, ada empat fase bulan, yaitu

1. Bulan baru (new moon)
2. Seperempat pertama (first quarter)
3. Bulan purnama (full moon)
4. Seperempat akhir (last quarter)

Berikut ini akan dijabarkan metode untuk menghitung waktu terjadinya keempat fase bulan tersebut. Koordinat yang digunakan adalah geosentrik, dimana posisi titik pusat matahari dan bulan diukur dari pusat bumi.



Gambar 5.1. Fase-fase bulan

Definisi keempat fase bulan berikut ini tidak menggunakan prosentase luasan cahaya cakram bulan, namun selisih antara bujur ekliptika nampak (apparent ecliptical longitude) bulan dan matahari.

- Fase bulan baru adalah ketika bujur ekliptika bulan = bujur ekliptika matahari.
- Fase seperempat pertama adalah ketika bujur ekliptika bulan = bujur ekliptika matahari + 90 derajat.
- Fase bulan purnama adalah ketika bujur ekliptika bulan = bujur ekliptika matahari + 180 derajat.
- Fase seperempat akhir adalah ketika bujur ekliptika bulan = bujur ekliptika matahari + 270 derajat.

5.1. Fase-fase bulan menggunakan algoritma Meeus

Berikut ini akan dijelaskan algoritma Meeus dalam menentukan fase-fase bulan. Proses perhitungannya agak panjang sehingga beberapa bagian akan dilewati.

- Untuk tahun hijriyah Y dan bulan hijriyah B , maka lunasi (k_0) = $12 \cdot Y + B - 17050$. Nilai k_0 sudah pasti harus berupa bilangan bulat.
- Untuk bulan baru, $k = k_0$.
- Untuk seperempat pertama, $k = k_0 + 0,25$.
- Untuk bulan purnama, $k = k_0 + 0,50$.
- Untuk seperempat akhir, $k = k_0 + 0,75$.
- Nilai $k = 0$ bersesuaian dengan bulan baru tanggal 6 Januari 2000.
- Selanjutnya $T = k/1236,85$.

Dari nilai k dan T di atas, dapat dihitung empat buah sudut di bawah ini (M , M' , F dan Ω) yang bersatuan derajat. Selanjutnya dihitung pula 14 buah argumen planet berikut ini ($A_1 - A_{14}$) yang juga bersatuan derajat. Rumus empat buah sudut serta empat belas argumen planet terdapat di bagian bawah tulisan ini.

Berikutnya dapat dihitung waktu rata-rata fase bulan yang belum terkoreksi dinyatakan dalam Julian Day Ephemeris adalah (waktu dalam TD). Demikian juga dapat dihitung koreksi-koreksi untuk semua fase (bersatuan hari). Koreksi-koreksi tersebut mencakup koreksi argumen planet, koreksi bulan baru, koreksi bulan purnama, koreksi fase quarter, serta koreksi W . Rumus waktu rata-rata fase bulan tak terkoreksi serta rumus-rumus koreksinya terdapat pada lampiran di bawah.

Akhirnya waktu–waktu untuk empat fase bulan (dinyatakan dalam Julian Day Ephemeris JDE bersatuan TD) dengan memperhitungkan semua faktor koreksi dirumuskan sebagai berikut.

- JDE bulan baru terkoreksi = JDE bulan baru rata–rata + Koreksi argumen planet + Koreksi Bulan Baru.
- JDE fase seperempat pertama terkoreksi = JDE fase seperempat pertama rata–rata + Koreksi argumen planet + Koreksi Fase Quarter + W.
- JDE bulan purnama terkoreksi = JDE bulan purnama rata–rata + Koreksi argumen planet + Koreksi Bulan Purnama.
- JDE fase seperempat akhir terkoreksi = JDE fase seperempat akhir rata–rata + Koreksi argumen planet + Koreksi Fase Quarter – W.

Waktu–waktu di atas masih dalam Dynamical Time (TD). Agar dinyatakan dalam Universal Time (UT) atau GMT, maka waktu dalam TD harus dikurangi dengan Delta_T.

Contoh: Hitunglah keempat fase bulan (moon phases) untuk bulan Ramadhan (Ramadhan month) 1430 H.

Jawab:

- Ramadhan = bulan ke 9, maka B = 9.
- Lunasi (k0) = $12 \cdot 1430 + 9 - 17050 = 119$.
- Untuk bulan baru, k = 119 dan T = 0,0962121518.
- Untuk seperempat pertama, k = 119,25 dan T = 0,0964142782.
- Untuk bulan purnama, k = 119,50 dan T = 0,0966164046.
- Untuk seperempat akhir, k = 119,75 dan T = 0,0968185309.

Untuk menyingkat pembahasan, tidak perlu dituliskan angka sudut M, M', F, Omega serta keempat belas argumen planet. Langsung saja diberikan nilai Julian Day dan koreksi–koreksinya.

- JDE bulan baru rata–rata = 2455064,237725.
- JDE seperempat pertama rata–rata = 2455071,620372.
- JDE bulan purnama rata–rata = 2455079,003019.
- JDE seperempat akhir rata–rata = 2455086,385666.

- Koreksi argumen planet untuk bulan baru = $-0,000226$ hari.
- Koreksi argumen planet untuk seperempat pertama = $-0,000208$ hari.
- Koreksi argumen planet untuk bulan purnama = $-0,000192$ hari.
- Koreksi argumen planet untuk seperempat akhir = $-0,000180$ hari.
- Koreksi bulan baru = $-0,319038$ hari.
- Koreksi seperempat pertama = $-0,631983$ hari.
- Koreksi bulan purnama = $0,166378$ hari.
- Koreksi seperempat akhir = $0,209544$ hari.

Akhirnya JDE untuk keempat fase adalah sebagai berikut.

- JDE terkoreksi bulan baru = $2455063,918461$.
- JDE terkoreksi seperempat pertama = $2455070,988182$.
- JDE terkoreksi bulan purnama = $2455079,169205$.
- JDE terkoreksi seperempat akhir = $2455086,595031$.

Nilai Delta_T yang bersesuaian dengan tahun 2009 bulan Agustus adalah sekitar 66,5 detik atau 0,000770 hari. Nilai Julian Day (JD) dalam satuan UT adalah JDE dikurangi Delta_T. Akhirnya diperoleh nilai JD untuk masing-masing fase. Selanjutnya, jika JD dalam UT atau GMT tersebut dikonversi menjadi penanggalan Gregorian (Masehi), hasilnya adalah sebagai berikut.

- Fase bulan baru untuk Ramadhan 1430 H = JD $2455063,917691 = 20$ Agustus 2009 pukul 10:01:28 UT.
- Fase seperempat pertama untuk Ramadhan 1430 H = JD $2455070,987412 = 27$ Agustus 2009 pukul 11:42:52 UT.
- Fase bulan purnama untuk Ramadhan 1430 H = JD $2455079,168435 = 4$ September 2009 pukul 16:02:33 UT.
- Fase seperempat akhir untuk Ramadhan 1430 H = JD $2455086,594261 = 12$ September 2009 pukul 02:15:44 UT.

Hasil di atas, jika dibandingkan dengan perhitungan NASA, memberikan hasil yang praktis sama. Perhitungan NASA dengan satuan waktu terkecil adalah menit memberikan hasil berturut-turut :

- 20 Agustus 10:01 UT

- 27 Agustus 11:42 UT
- 4 September 16:03 UT
- 12 September 02:16 UT

Hasil di atas juga dapat dicek dengan menghitung bujur ekliptika nampak (λ) bulan dan bujur ekliptika nampak (λ) matahari. Disini hanya akan disampaikan hasilnya saja terkait dengan fase bulan di atas. Hasilnya:

- Fase Bulan baru terjadi pada 20 Agustus 2009 pukul 10:01:27 UT, yaitu ketika $\lambda_{\text{bulan}} = \lambda_{\text{matahari}} = 147:31:34$ derajat.
- Fase seperempat pertama terjadi pada pukul 27 Agustus 2009 pukul 11:41:58 UT, yaitu ketika $\lambda_{\text{bulan}} = 244:20:38$ derajat dan $\lambda_{\text{matahari}} = 154:20:38$ derajat. Berarti λ_{bulan} mendahului $\lambda_{\text{matahari}}$ sebesar 90 derajat.
- Fase bulan purnama terjadi pada 4 September 2009 pukul 16:02:36 UT, yaitu ketika $\lambda_{\text{bulan}} = 342:15:23$ derajat dan $\lambda_{\text{matahari}} = 162:15:23$ derajat. Berarti λ_{bulan} mendahului $\lambda_{\text{matahari}}$ sebesar 180 derajat.
- Fase seperempat akhir terjadi pada pukul 12 September 2009 pukul 2:15:40 UT, yaitu ketika $\lambda_{\text{bulan}} = 79:27:55$ derajat (atau $439:27:55$ derajat) dan $\lambda_{\text{matahari}} = 169:27:55$ derajat. Berarti λ_{bulan} mendahului $\lambda_{\text{matahari}}$ sebesar 270 derajat.

Jika kita bandingkan hasil fase–fase bulan di atas, ternyata hasilnya cukup baik dan praktis sama. Fase bulan baru, seperempat pertama, bulan purnama dan seperempat akhir masing–masing berturut–turut hanya berbeda 1, 6, 3 dan 4 detik. Perbedaan yang hanya beberapa detik ini disebabkan oleh pengabaian suku–suku koreksi yang sangat kecil.

Pada rumus JDE rata–rata, terdapat angka sebesar 29,530588853 hari atau 29 hari 12 jam 44 menit 3 detik. Ini adalah waktu rata–rata bulan sinodik, atau waktu rata–rata dari satu bulan baru ke bulan baru berikutnya. Meskipun, dengan banyaknya faktor koreksi dari pergerakan matahari, bumi dan planet lainnya, rentang waktu antara satu bulan baru ke bulan baru berikutnya bervariasi dari angka tersebut di atas. Misalnya, fase

bulan baru untuk awal Ramadhan 1430 H terjadi pada 20 Agustus 2009 pukul 10:01:28 UT, sedangkan untuk awal bulan Syawal 1430 H, fase bulan baru terjadi pada 18 September 2009 pukul 18:44:19 UT. Jadi rentang waktu antara kedua fase bulan baru tersebut adalah 29 hari 8 jam 42 menit 51 detik, atau lebih cepat sekitar 4 jam dari angka rata-rata di atas.

Karena waktu rata-rata bulan sinodik di atas adalah sekitar 29,5 hari, maka lama satu bulan Islam hanya ada dua kemungkinan, yaitu 29 hari atau 30 hari. Tidak pernah satu bulan Islam berumur 28 atau 31 hari.

Mungkin ada yang bertanya, dari manakah angka rata-rata satu bulan sinodik sebesar 29,530588853 hari. Ketika pada fase bulan baru tertentu, $\lambda_{\text{bulan}} = \lambda_{\text{matahari}}$, maka pada fase bulan baru berikutnya meskipun λ_{bulan} tetap sama dengan $\lambda_{\text{matahari}}$, sebenarnya selisihnya adalah sebesar 360 derajat. Kita tahu bahwa 360 derajat = 0 derajat sehingga λ_{bulan} tetap sama dengan $\lambda_{\text{matahari}}$. Jadi, satu bulan sinodik adalah waktu yang diperlukan agar λ_{bulan} mendahului $\lambda_{\text{matahari}}$ sebesar 360 derajat. Angkanya dapat diperoleh berikut ini.

- Rumus bujur rata-rata bulan = $218,3164591 + 481267,88134236 \cdot T - 0,0013268 \cdot T^2 + T^3/538841 - T^4/65194000$.
- Sementara rumus bujur rata-rata matahari adalah = $280,46645 + 36000,76983 \cdot T + 0,0003032 \cdot T^2$.
- Disini, kecepatan bujur rata-rata bulan dan matahari berturut-turut adalah 481267,88134236 dan 36000,76983 (satuan derajat per abad).
- Selisih kecepatan bujur keduanya adalah 445267,11151236 derajat per abad.
- Maka 360 derajat membutuhkan waktu $360/445267,11151236$ abad = $(360/445267,11151236) \cdot 36525$ hari = 29,530588853 hari.

Rumus-rumus dalam menentukan fase-fase bulan menggunakan algoritma Meeus adalah sebagai berikut.

Rumus empat sudut (M, M', F dan Omega):

- $M = 2,5534 + 29,10535669 \cdot k - 0,0000218 \cdot T^2 - 0,00000011 \cdot T^3$.

- $M' = 201,5643 + 385,81693528*k + 0,0107438*T*T + 0,00001239*T*T*T - 0,000000058*T*T*T*T.$
- $F = 160,7108 + 390,67050274*k - 0,0016341*T*T - 0,00000227*T*T*T + 0,000000011*T*T*T*T.$
- $\Omega = 124,7746 - 1,5637558*k + 0,0020691*T*T + 0,00000215*T*T*T.$

Rumus empat belas sudut argumen planet (A1 sampai dengan A14):

- $A1 = 299,77 + 0,107408*k - 0,009173*T*T.$
- $A2 = 251,88 + 0,016321*k.$
- $A3 = 251,83 + 26,651886*k.$
- $A4 = 349,42 + 36,412478*k.$
- $A5 = 84,66 + 18,206239*k.$
- $A6 = 141,74 + 53,303771*k.$
- $A7 = 207,14 + 2,453732*k.$
- $A8 = 154,84 + 7,30686*k.$
- $A9 = 34,52 + 27,261239*k.$
- $A10 = 207,19 + 0,121824*k.$
- $A11 = 291,34 + 1,844379*k.$
- $A12 = 161,72 + 24,198154*k.$
- $A13 = 239,56 + 25,513099*k.$
- $A14 = 331,55 + 3,592518*k.$

Rumus Waktu rata-rata fase bulan yang belum terkoreksi dinyatakan dalam Julian Day Ephemeris adalah (waktu dalam TD)

- $JDE = 2451550,09765 + 29,530588853*k + 0,0001337*T*T - 0,000000015*T*T*T + 0,00000000073*T*T*T*T.$

Rumus koreksi waktu fase bulan:

- Koreksi argumen planet = $[325*\sin(A1) + 165*\sin(A2) + 164*\sin(A3) + 126*\sin(A4) + 110*\sin(A5) + 62*\sin(A6) + 60*\sin(A7) + 56*\sin(A8) + 47*\sin(A9) + 42*\sin(A10) + 40*\sin(A11) + 37*\sin(A12) + 35*\sin(A13) + 23*\sin(A14)]/1000000.$

- Koreksi Bulan Baru = $[-40720 \cdot \sin(M') + 17241 \cdot E \cdot \sin(M) + 1608 \cdot \sin(2 \cdot M') + 1039 \cdot \sin(2 \cdot F) + 739 \cdot E \cdot \sin(M' - M) - 514 \cdot E \cdot \sin(M' + M) + 208 \cdot E \cdot E \cdot \sin(2 \cdot M) - 111 \cdot \sin(M' - 2 \cdot F) - 57 \cdot \sin(M' + 2 \cdot F) + 56 \cdot E \cdot \sin(2 \cdot M' + M) - 42 \cdot \sin(3 \cdot M') + 42 \cdot E \cdot \sin(M + 2 \cdot F) + 38 \cdot E \cdot \sin(M - 2 \cdot F) - 24 \cdot E \cdot \sin(2 \cdot M' - M) - 17 \cdot \sin(\Omega) - 7 \cdot \sin(M' + 2 \cdot M) + 4 \cdot \sin(2 \cdot (M' - F)) + 4 \cdot \sin(3 \cdot M) + 3 \cdot \sin(M' + M - 2 \cdot F) + 3 \cdot \sin(2 \cdot (M' + F)) - 3 \cdot \sin(M' + M + 2 \cdot F) + 3 \cdot \sin(M' - M + 2 \cdot F) - 2 \cdot \sin(M' - M - 2 \cdot F) - 2 \cdot \sin(3 \cdot M' + M) + 2 \cdot \sin(4 \cdot M')]/100000.$
- Koreksi Bulan Purnama = $[-40614 \cdot \sin(M') + 17302 \cdot E \cdot \sin(M) + 1614 \cdot \sin(2 \cdot M') + 1043 \cdot \sin(2 \cdot F) + 734 \cdot E \cdot \sin(M' - M) - 515 \cdot E \cdot \sin(M' + M) + 209 \cdot E \cdot E \cdot \sin(2 \cdot M) - 111 \cdot \sin(M' - 2 \cdot F) - 57 \cdot \sin(M' + 2 \cdot F) + 56 \cdot E \cdot \sin(2 \cdot M' + M) - 42 \cdot \sin(3 \cdot M') + 42 \cdot E \cdot \sin(M + 2 \cdot F) + 38 \cdot E \cdot \sin(M - 2 \cdot F) - 24 \cdot E \cdot \sin(2 \cdot M' - M) - 17 \cdot \sin(\Omega) - 7 \cdot \sin(M' + 2 \cdot M) + 4 \cdot \sin(2 \cdot (M' - F)) + 4 \cdot \sin(3 \cdot M) + 3 \cdot \sin(M' + M - 2 \cdot F) + 3 \cdot \sin(2 \cdot (M' + F)) - 3 \cdot \sin(M' + M + 2 \cdot F) + 3 \cdot \sin(M' - M + 2 \cdot F) - 2 \cdot \sin(M' - M - 2 \cdot F) - 2 \cdot \sin(3 \cdot M' + M) + 2 \cdot \sin(4 \cdot M')]/100000.$
- Koreksi Fase Quarter = $[-62801 \cdot \sin(M') + 17172 \cdot E \cdot \sin(M) + 862 \cdot \sin(2 \cdot M') + 804 \cdot \sin(2 \cdot F) + 454 \cdot E \cdot \sin(M' - M) - 1183 \cdot E \cdot \sin(M' + M) + 204 \cdot E \cdot E \cdot \sin(2 \cdot M) - 180 \cdot \sin(M' - 2 \cdot F) - 70 \cdot \sin(M' + 2 \cdot F) + 27 \cdot E \cdot \sin(2 \cdot M' + M) - 40 \cdot \sin(3 \cdot M') + 32 \cdot E \cdot \sin(M + 2 \cdot F) + 32 \cdot E \cdot \sin(M - 2 \cdot F) - 34 \cdot E \cdot \sin(2 \cdot M' - M) - 28 \cdot E \cdot E \cdot \sin(M' + 2 \cdot M) - 17 \cdot \sin(\Omega) + 2 \cdot \sin(2 \cdot (M' - F)) + 3 \cdot \sin(3 \cdot M) + 3 \cdot \sin(M' + M - 2 \cdot F) + 4 \cdot \sin(2 \cdot (M' + F)) - 4 \cdot \sin(M' + M + 2 \cdot F) + 2 \cdot \sin(M' - M + 2 \cdot F) - 5 \cdot \sin(M' - M - 2 \cdot F) - 2 \cdot \sin(3 \cdot M' + M) + 4 \cdot \sin(M' - 2 \cdot M)]/100000.$
- Koreksi W = $[306 - 38 \cdot E \cdot \cos(M) + 26 \cdot \cos(M') - 2 \cdot \cos(M' - M) + 2 \cdot \cos(M' + M) + 2 \cdot \cos(2 \cdot F)]/100000.$

5.2. Fase bulan menggunakan tabel Meeus

Di atas telah dijelaskan bagaimana caranya menentukan empat buah fase bulan (moon phases) yang meliputi bulan baru (new moon), seperempat pertama (first quarter), bulan purnama (full moon) dan seperempat akhir (last quarter) dengan menggunakan

algoritma Meeus. Algoritma Meeus itu menggunakan banyak fungsi–fungsi trigonometri seperti rumus sinus dan cosinus. Algoritma ini sangat akurat untuk menentukan keempat fase bulan hingga menit terdekat, karena menggunakan ratusan suku–suku koreksi.

Disini akan disajikan cara lain untuk menentukan keempat fase bulan tanpa menggunakan rumus–rumus trigonometri, melainkan dengan tabel–tabel. Perhitungan fase bulan dengan menggunakan tabel–tabel sebenarnya biasanya dilakukan oleh para ulama ahli hisab zaman dahulu maupun saat ini, dengan hasil yang cukup memadai dan akurat. Diantaranya, K.H. Nur Ahmad SS dari Jepara yang menyusun Risalatul Falak dan Jadwatul Falak, K.H. Ahmad Ghazali yang menyusun kitab Tsamaratul Fikar dan lain–lain. Kini, akan disajikan cara perhitungan fase–fase bulan dengan menggunakan tabel–tabel yang disusun oleh Jean Meeus.

Tingkat akurasi dengan tabel Meeus ini cukup memadai, hanya berselisih dalam rentang beberapa menit dibandingkan dengan metode algoritma Meeus yang mengandung ratusan suku koreksi / periodik. Adapun penjelasannya adalah sebagai berikut.

Misalnya kita akan mengetahui kapan terjadinya fase bulan baru (new moon) pada bulan (month) Maret 2010. Dengan menggunakan algoritma Meeus di atas, hasilnya adalah 15 Maret 2010 pukul 21:01:14 UT (GMT) atau dibulatkan pukul 21:01 UT hingga menit terdekat. Bagaimanakah hasilnya menurut tabel Meeus? Silakan lihat Gambar 5.2.

Angka 15,8765 berarti tanggal 15, ditambah waktu 0,8765 hari. Waktu 0,8765 hari ini jika dikonversi ke dalam jam menit detik, menjadi 21:02:10 TD. Untuk mengubah dari TD ke UT, dikurangi dengan 67 detik (Nilai Delta_T untuk tahun 2010). Jadi akhirnya, new moon untuk Maret 2010 menurut metode tabel Meeus terjadi pada tanggal 15 pukul 21:01:04 UT atau dibulatkan pukul 21:01 UT. Ternyata hasilnya untuk menit terdekat juga persis sama dengan metode algoritma Meeus.

Berikut ini penjelasan untuk menghitung fase bulan baru pada bulan Maret 2010. Tabel Meeus untuk menentukan fase bulan terdapat pada lampiran.

Tabel	Ket.	Argumen	Angka	A	B	C
1	Abad	2000	5,598	7	560	893
2	Sisa Thn	10	9,793	25	892	129
3	Bulan	March	0,061	162	143	341
				----- +		
				194	1595	1363
				= 194	= 595	= 363
4	Total A	194	0,1635	A + B = 789		
5	Total B	595	0,244	A - B = - 401 = 599		
6	Total C	363	0,008			
7	A + B	789	0,005			
8	A - B	599	0,004			
				----- +		
Jumlah =			15,8765			

Gambar 5.2. Tabel untuk menghitung fase bulan baru pada Maret 2010.

File pdf tabel Meeus tersebut berisi 8 tabel.

- Tabel 1 berupa nilai untuk awal abad (values for beginning of century). Di dalam tabel 1, untuk suatu abad tertentu terdapat nilai Time, A, B dan C. Untuk angka Tahun Masehi = 2010 maka awal abad adalah year 2000. Di tabel 1 tersebut year 2000 memiliki nilai time = 5,598. Nilai A = 7, nilai B = 560, dan nilai C = 893.
- Tabel 2 berupa nilai untuk tambahan tahun (additional year). Dari angka 2010, setelah dikurangi 2000, maka tambahan tahun = 10. Angka year 10 memiliki nilai time 9,793. Nilai A = 25, nilai B = 892 dan nilai C = 129. (Keterangan tambahan. Jika tahunnya negatif, seperti tahun -456, maka $-456 = -500 + 44$. Sehingga, awal abad = -500 di tabel 1, dan tambahan tahun 44 di tabel 2.)
- Tabel 3 berupa nilai untuk bulan. Misalnya, untuk bulan Maret (March), maka Time = 0,061. Nilai A = 162, nilai B = 143 dan nilai C = 341.
- Selanjutnya, jumlahkan masing-masing total nilai A, B dan C dari tabel 1, 2 dan 3 di atas. Jika totalnya di atas 1000 atau 2000, kurangi dengan 1000 atau 2000

sehingga nilai total A, B atau C selalu kurang dari 1000. Dari angka di atas, total $A = 7 + 25 + 162 = 194$. Total $B = 560 + 892 + 143 = 1595$. Kurangi nilai total B dengan 1000, sehingga total B = 595. Total $C = 893 + 129 + 341 = 1363$ sehingga total C = 363.

- Selanjutnya lihat tabel 4 yang berisi first correction (koreksi pertama) untuk data Total A. Di paragraf atas telah dihitung total A = 194 dengan tahun 2010. Dalam tabel 4 itu tertera data: Untuk A = 190 dengan Year 1500 dan 3000, koreksinya berturut-turut 0,164 dan 0,158. Untuk A = 200 dengan Year 1500 dan 3000, koreksinya 0,167 dan 0,161. Lalu berapakah nilai koreksi yang bersesuaian dengan A = 194 dan tahun 2010? Kita bisa menggunakan interpolasi linear, dan hasilnya diperoleh, untuk A = 194 dan tahun 2010, koreksinya atau nilai time sebesar 0,1635.
- Selanjutnya, tabel 5 berisi second correction (koreksi kedua) untuk nilai total B. Nilai ini bergantung pada fase bulan yang akan dihitung. Telah kita peroleh, nilai total B = 595. Pada tabel 5 tersebut, untuk fase bulan baru (new moon = NM), nilai B = 590 dan 600 memberikan koreksi masing-masing 0,233 dan 0,255. Jadi, dengan menggunakan interpolasi linear, untuk B = 595, koreksinya atau nilai time sebesar = 0,244.
- Pada tabel 6 yang berisi third correction (koreksi ketiga), untuk fase bulan baru (NM), C = 360 dan 380 memberikan koreksi masing-masing 0,008 dan 0,007. Untuk total C = 363, nilai koreksi atau nilai time sebesar 0,008.
- Tadi telah diperoleh nilai total A = 194 dan total B = 595. Maka, total A + total B = $194 + 595 = 789$. Sedangkan total A – total B = $194 - 595 = -401$, yang dengan menambahkan 1000, diperoleh total A – total B = 599.
- Pada tabel 7 yang berisi fourth correction (koreksi keempat) untuk nilai total A + B, pada fase NM untuk nilai 780 dan 800, koreksinya sama-sama sebesar 0,005. Jadi untuk total A + B = 789, koreksi atau nilai time = 0,005 juga.
- Yang terakhir, tabel 8 berisi fifth correction (koreksi kelima) untuk nilai total A – B. Untuk total A – B = 599, yang nilainya sangat dekat dengan total A – B = 600, koreksi atau nilai time = 0,003.
- Jadi, dari delapan tabel tersebut, telah kita peroleh nilai time yang jika dijumlahkan adalah $5,598 + 9,793 + 0,061 + 0,1635 + 0,244 + 0,008 + 0,005 +$

$0,003 = 15,8765$. Penjelasan selanjutnya tentang hasil angka ini telah diberikan di atas.

Ada beberapa catatan tentang cara menghitung fase-fase bulan menggunakan tabel-tabel Meeus.

Pertama, hasil yang telah diperoleh masih dalam satuan Dynamical Time (TD). Waktu dalam satuan UT/GMT diperoleh dengan mengurangi TD dengan ΔT .

Kedua, angka pada tabel 4 sampai dengan tabel 8 bernilai cukup kecil. Namun angka-angka tersebut penting sebagai koreksi untuk memberikan hasil yang tepat dan akurat.

Ketiga, angka yang signifikan terdapat pada tabel 1, 2 dan 3. Khusus untuk tabel 3 yang berupa time untuk bulan tertentu, harus dipilih sesuai dengan yang dibutuhkan. Dalam hal ini, perlu dilihat terlebih dahulu nilai time dari tabel 1 (awal abad) dan tabel 2 (tambahan tahun). Jika nilai time dari tabel 1 dan tabel 2 sudah cukup besar, atau jumlahnya sudah di atas 30 (yang berarti 30 hari atau satu bulan), maka bulan yang dipilih untuk tabel 3 haruslah sebelum bulan yang ditanyakan tanggal fase bulannya.

Sebagai ilustrasi, kita ingin mencari saat instant fase bulan purnama (full moon = FM) pada tanggal 10 Desember 2011 yang Insya Allah bertepatan dengan gerhana bulan total (total lunar eclipse). Gerhana bulan ini Insya Allah dapat dilihat dengan jelas di seluruh Indonesia.

Silakan lihat Gambar 5.3. Angka untuk tabel 1 dan 2 berturut-turut adalah 5,598 dan 28,691. Jumlahnya sudah melebihi 30 hari. Karena itu, untuk menentukan full moon pada bulan Desember, maka argumen pada tabel 3 harus berupa bulan November FM.

Dengan penjelasan sama seperti di atas, akhirnya diperoleh jumlah semuanya = 40,610. Ini artinya, tanggal 40 bulan November (sama dengan tanggal 10 Desember, karena November 30 hari) dan waktunya lebih 0,610 hari = 14 jam 38 menit 24 detik. Ini masih

dalam satuan TD. Jika dikurangi sebesar $\Delta T = 67$ detik untuk tahun 2011, hasilnya tanggal 10 November 2011 pukul 14:37:17 UT atau dibulatkan pukul 14:37 UT.

Tabel	Ket.	Argumen	Angka	A	B	C
1	Abad	2000	5,598	7	560	893
2	Sisa Thn	11	28,691	76	825	344
3	Bulan	Nov FM	6,071	849	253	789
				----- +		
				932	1638	2026
				= 932	= 638	= 26
4	Total A	932	-0,073	A + B = 1570 = 570		
5	Total B	638	0,326	A - B = 294		
6	Total C	26	0,002			
7	A + B	570	0,002			
8	A - B	294	-0,007			
				----- +		
Jumlah =			40,610			

Gambar 5.3. Tabel untuk menghitung fase bulan purnama pada Desember 2011.

Hasil perhitungan dengan menggunakan tabel Meeus ini cukup akurat, hanya berselisih 1 menit dengan algoritma Meeus yang memberikan hasil pukul 14:36:26 UT atau dibulatkan pukul 14:36 UT.

BAB VI

GERHANA

Gerhana bulan dan matahari terjadi sebagai salah satu tanda kebesaran Allah SWT.

إِنَّ الشَّمْسَ وَالْقَمَرَ آيَاتَانِ مِنْ آيَاتِ اللَّهِ لَا يَخْسِفَانِ لِمَوْتِ أَحَدٍ وَلَا لِحَيَاتِهِ فَإِذَا رَأَيْتُمْ ذَلِكَ فَادْعُوا اللَّهَ وَكَبِّرُوا وَصَلُّوا وَتَصَدَّقُوا

Sesungguhnya matahari serta bulan merupakan dua ayat dari ayat-ayat Allah. Gerhana matahari atau bulan bukan karena meninggalnya seseorang atau kelahiran seseorang, jika kalian mendapatkan gerhana, maka berdo'alah kepada Allah, ucapkanlah takbir, laksanakan shalat, dan bersedekahlah. (Hadits riwayat Bukhari)

Gerhana matahari terjadi ketika matahari, bulan dan bumi berada pada suatu garis lurus. Sedangkan gerhana bulan terjadi matahari, bumi dan bulan berada pada suatu garis lurus. Gerhana matahari terjadi pada fase bulan baru (new moon), namun tidak setiap bulan baru akan terjadi gerhana matahari. Sedangkan gerhana bulan terjadi pada fase bulan purnama (full moon), namun tidak setiap bulan purnama akan terjadi gerhana bulan. Hal ini disebabkan bidang orbit bulan mengitari bumi tidak sejajar dengan bidang orbit bumi mengitari matahari (bidang ekliptika), namun miring membentuk sudut sebesar sekitar 5 derajat. Seandainya bidang orbit bulan mengitari tersebut terletak tepat pada bidang ekliptika, maka setiap bulan baru akan selalu terjadi gerhana matahari, dan setiap bulan purnama akan selalu terjadi gerhana bulan.

Untuk suatu tempat di permukaan bumi yang dapat mengamati suatu gerhana matahari, gerhana tersebut dapat berupa gerhana total, parsial atau cincin. Namun jika kita tinjau sebuah gerhana matahari untuk bumi secara umum, sesungguhnya ada 6 tipe gerhana:

- Tipe P : tipe gerhana matahari parsial, dimana hanya ebagian dari kerucut umbra bulan yang mengenai bumi. Pengamat di daerah yang memungkinkan untuk melihat (region of visibility) hanya dapat melihat sebuah gerhana parsial.

- tipe T: tipe gerhana total yaitu gerhana sentral yang mana kerucut umbra mengenai bumi. Pada gerhana sentral, sumbu bayangan bulan mengenai permukaan bumi. Pada jenis gerhana ini, dikenal istilah garis sentral (central line) dimana garis ini menghubungkan pusat cakram bulan ke pusat cakram matahari.
- tipe A : tipe gerhana cincin yaitu gerhana sentral yang mana perpanjangan kerucut umbra mengenai bumi.
- tipe A–T : tipe cincin–total yaitu gerhana sentral dimana sebagian gerhana berupa gerhana total sedang sebagian lainnya berupa gerhana cincin.
- (T) : gerhana non–sentral total, dimana hanya sebagian dari kerucut umbra yang mengenai permukaan bumi (yaitu di daerah kutub), tetapi sumbu kerucut umbra tidak mengenai permukaan bumi, sehingga gerhana ini bukan gerhana sentral.
- (A) : gerhana non–sentral cincin, dimana hanya sebagian dari perpanjangan kerucut umbra yang mengenai (yaitu di daerah kutub), tetapi sumbu kerucut umbra tidak mengenai permukaan bumi.

Tipe gerhana yang paling sering muncul adalah tipe P, T dan A. Ketika sebuah gerhana matahari bukan gerhana sentral, tipe yang paling sering adalah tipe P. Perlu diketahui bahwa gerhana total maupun cincin terlihat sebagai gerhana total atau gerhana cincin hanya dari lintasan yang cukup sempit (lintasan garis sentral) di permukaan bumi. Di sebelah utara maupun selatan lintasan tersebut, sebagian besarnya hanya dapat menyaksikan gerhana parsial.

Sementara itu ada tiga tipe gerhana bulan, yaitu

- t : gerhana total, dimana bulan berada sepenuhnya di dalam kerucut umbra bumi.
- p : gerhana parsial, dimana bulan hanya sebagian berada di dalam kerucut umbra bumi.
- pen : gerhana penumbra, dimana bumi berada di dalam kerucut luar (penumbra) tetapi tidak memasuki kerucut umbra.

Gerhana bulan penumbra hampir–hampir tidak dapat dideteksi secara visual, kecuali jika magnitudenya lebih besar daripada 0,7. Teori dan statistik gerhana tidak akan

lengkap tanpa gerhana bulan penumbra, sehingga jenis gerhana ini perlu dihitung kontribusinya.

6.1. Fakta-fakta tentang gerhana

Disini, yang dimaksud dengan jumlah gerhana, baik gerhana matahari maupun bulan adalah gerhana yang terjadi di bumi secara keseluruhan, bukan hanya pada satu daerah tertentu di bumi. Kemudian yang dimaksud dengan setahun adalah sejak 1 Januari hingga 31 Desember. Namun terkadang kita bisa mendefinisikan 1 tahun untuk konteks disini sebagai 365 hari, dimana tanggal pertama tidak selalu 1 Januari. Bisa saja 1 tahun disini adalah misalnya sejak 30 Juli 1916 hingga 29 Juli 1917.

Dalam satu tahun kalender (1 Januari hingga 31 Desember), bisa terjadi hingga 5 kali gerhana matahari, seperti yang terjadi pada tahun 1805, 1935, dan Insya Allah tahun 2206. Namun demikian dalam rentang 365 hari, bisa terjadi 5 kali gerhana matahari, seperti dalam rentang antara 30 Juli 1916 hingga 29 Juli 1917, yaitu:

- 30 Juli 1916 A
- 24 Desember 1916 P
- 23 Januari 1917 P
- 19 Juni 1917 P
- 19 Juli 1917 P.

Dalam setahun kalender, bisa terjadi hingga 3 kali gerhana bulan total, seperti yang terjadi pada tahun 1982. Sementara itu dalam rentang 365 hari, juga bisa terjadi 3 kali gerhana bulan total, seperti dalam rentang antara 21 Januari 2000 hingga 20 Januari 2001, yaitu:

- 21 Januari 2000
- 16 Juli 2000
- 9 Januari 2001.

Kali ini akan ditinjau jumlah gerhana (bulan dan matahari) yang terjadi dalam setahun kalender. Paling sedikit terdapat empat gerhana, yaitu dua gerhana matahari dan dua

gerhana bulan. Untuk gerhana bulan ini, satu atau kedua gerhana bulan dapat berupa gerhana penumbra. Contohnya pada tahun 1995.

- 15 April p
- 29 April A
- 8 Oktober pen
- 24 Oktober T.

Jumlah maksimum gerhana dalam setahun adalah 7 buah, dan ini terjadi dalam 4 kemungkinan sebagai berikut:

- 5 gerhana matahari + 2 gerhana bulan, seperti pada tahun 1935, 2206.
- 4 gerhana matahari + 3 gerhana bulan, seperti pada tahun 1982, 2094.
- 3 gerhana matahari + 4 gerhana bulan, seperti pada tahun 1973, 2038.
- 2 gerhana matahari + 5 gerhana bulan, seperti pada tahun 1879, 2132.

Sebagai contoh, pada tahun 1982 terjadi 7 buah gerhana yaitu 4 gerhana matahari dan 3 gerhana bulan yang bentuknya sebagai berikut:

- 9 Januari gerhana bulan total
- 25 Januari gerhana matahari parsial
- 21 Juni gerhana matahari parsial
- 6 Juli gerhana bulan total
- 20 Juli gerhana matahari parsial
- 15 Desember gerhana matahari parsial
- 30 Desember gerhana bulan total

Seperti telah ditulis di atas, dalam setahun kalender, maksimum terdapat 5 kali gerhana matahari. Dalam rentang 4000 tahun sejak tahun -600 hingga tahun 3400, secara perhitungan hanya terdapat 14 tahun yang memiliki 5 kali gerhana matahari dalam setahun, yaitu tahun -568, -503, -438, -373, 1255, 1805, 1935, 2206, 2709, 2774, 2839, 2904, 3295 dan 3360. Catat bahwa distribusi tahunnya tidak beraturan: ada tiga kasus dari tahun -568 hingga -438 (rentang 130 tahun) dan tiga kasus dari tahun 2709 hingga 2839 (rentang 130 tahun), tetapi tidak terjadi sejak tahun -373 hingga 1255 (rentang lebih dari 1600 tahun). Untuk keempat belas tahun di atas, empat dari lima

gerhana dalam setahun adalah tipe parsial atau P, sisa tipe gerhana adalah tipe cincin atau A (seperti pada tahun 1935) atau tipe total (seperti pada tahun 2774).

Jumlah gerhana matahari paling sedikit dalam setahun adalah dua kali. Kedua-duanya dapat berupa gerhana matahari parsial, sebagaimana pada tahun 1996 dan 2004.

Jumlah maksimum gerhana bulan dalam setahun kalender adalah lima buah. Dalam rentang 900 tahun antara tahun 1600, ada lima gerhana bulan setahun pada tahun-tahun berikut ini: 1676, 1694, 1749, 1879, 2132, 2262 dan 2400. Pada kasus-kasus di atas, kebanyakan empat dari lima gerhana bulan bertipe penumbra.

Jumlah gerhana bulan paling sedikit dalam setahun adalah dua buah. Keduanya dapat berupa gerhana penumbra, sebagaimana pada tahun 1966 dan 2016.

Seluruh gerhana matahari dalam satu tahun dapat berupa tipe P, sebagai contoh pada tahun 1996 (dua gerhana), tahun 2018 (tiga gerhana) dan tahun 2000 (empat gerhana). Pada tahun-tahun tersebut, tidak ada gerhana total atau cincin.

Dalam setahun, maksimum terdapat dua kali gerhana matahari total. Contohnya, Insha Allah pada tahun 2057. Adalah tidak mungkin terdapat tiga gerhana matahari total dalam setahun, bahkan jika kita masukkan gerhana dengan tipe A-T dan (T).

Sementara itu untuk gerhana matahari cincin, bisa terdapat dua kali dalam setahun, sebagai contoh pada tahun 1951 dan 1973. Jumlah maksimum gerhana matahari cincin yang "murni" dalam setahun adalah dua kali. Yang dimaksud dengan gerhana cincin yang "murni", yaitu jika tipe A-T (cincin-total) tidak dimasukkan.

Namun jika tipe A-T dimasukkan, jumlah maksimum gerhana matahari cincin (yaitu tipe A dan tipe A-T) dalam setahun ada tiga kali. Untuk kasus tiga kali ini, bisa terdapat satu cincin dan dua cincin-total, atau dua cincin dan satu cincin-total. Antara tahun – 2000 hingga tahun 1700, terdapat 10 buah tahun yang berisi tiga gerhana cincin ini

dalam setahun, yaitu tahun -1944, -484, -400, -139, 1144, 1228, 1339, 1405, 1489 dan tahun 1966.

Telah umum diketahui bahwa gerhana matahari dan bulan memiliki keteraturan setelah suatu periode waktu selama 223 lunasi (1 lunasi = rata-rata 1 bulan sinodik = 29 hari 12 jam 44 menit 3 detik) atau sekitar $6585 \frac{1}{3}$ hari, yaitu 18 tahun, 10 atau 11 hari dan 8 jam. Ini dikenal sebagai periode Saros. Adanya tambahan sebesar 8 jam tersebut yang setara dengan bujur 120 derajat menyebabkan daerah visibilitas gerhana matahari setelah satu periode tersebut akan bergeser sebesar kira-kira bujur geografis 120 derajat ke arah barat. Sebagai contoh, peta gerhana matahari total pada tanggal 3 November 1994 serta gerhana total berikutnya setelah satu periode Saros pada tanggal 13 November 2012. Pada gerhana pertama, lintasan total melewati Amerika Selatan, Samudra Atlantik hingga selatan Afrika, sedangkan pada gerhana kedua melewati sebagian Australia dan Samudra Pasifik.

Selain periode Saros, ada pula yang disebut sebagai periode 358 lunasi, atau 29 tahun kurang 20 hari, yang dikenal sebagai periode Inex. Periode Inex ini sama dengan 388,5 revolusi draconic (dari node ke node). Pecahan 0,5 ini memiliki konsekuensi bahwa periode Inex mengambil tempat bergantian, antara satu node dengan node yang lain. Sehingga, sebuah gerhana matahari yang terlihat di belahan bumi utara, maka setelah satu periode Inex, gerhana matahari berikutnya akan terlihat di belahan bumi selatan. Satu Inex berikutnya akan kembali ke belahan bumi utara. Sebagai contoh:

- 6 Mei 1845 gerhana cincin, terlihat di Laut Arktik, titik turun bulan
- 16 April 1874, gerhana total, terlihat di Antartika, titik naik bulan
- 29 Maret 1903, gerhana cincin, terlihat di Siberia, titik turun bulan
- 7 Maret 1932, gerhana cincin, terlihat di Antartika, titik naik bulan
- 15 Februari 1961, gerhana total, terlihat di Rusia, titik turun bulan
- 26 Januari 1990, gerhana cincin, terlihat di Antartika, titik naik bulan, dan seterusnya.

Ada pula periode yang disebut sebagai Semester, yang sama dengan 6 lunasi, sekitar 177 hari atau 0,49 tahun. Mirip seperti Inex, terjadi perubahan titik naik/turun bulan

(node) dari satu gerhana ke gerhana berikutnya. Misalnya sebuah gerhana matahari terjadi di dekat salah satu kutub bumi, gerhana berikutnya setelah satu semester mengambil tempat di belahan bumi lainnya, namun secara umum dekat ke ekuator, begitu seterusnya.

Periode yang lain adalah Tritos yang memiliki periode 135 lunasi atau 11 tahun dikurangi satu bulan. Pergeseran terhadap titik node cukup kecil, hanya sekitar 0,5 derajat setelah satu Tritos. Sebagai contoh siklus Tritos berikut ini:

- 12 September 1931, parsial, belahan bumi utara
- 12 Agustus 1942, parsial, belahan bumi selatan
- 11 Juli 1953, parsial, belahan bumi utara
- 10 Juni 1964, parsial, belahan bumi selatan
- 11 Mei 1975, parsial, belahan bumi utara
- 9 April 1986, parsial, belahan bumi selatan
- 9 Maret 1997, total, belahan bumi utara
- 7 Februari 2008, cincin, belahan bumi selatan
- 6 Juni 2019, parsial, belahan bumi utara
- 5 Desember 2029, parsial, belahan bumi selatan
- 4 November 2040, parsial, belahan bumi utara
- 4 Oktober 2051, parsial, belahan bumi selatan, dan seterusnya.

Siklus lain yang terkenal adalah siklus Meton sebesar 235 lunasi atau 19 tahun. Setelah 19 tahun, fase bulan akan terulang pada tanggal kalender yang hampir sama. Siklus Meton adalah periodisitas yang baik untuk menentukan dengan cepat fase bulan pada masa lalu atau masa depan. Sebagai contoh, 190 tahun (10 siklus Meton) setelah gerhana matahari total pada fase bulan baru (new moon) 11 Juli 1991, maka akan didapatkan pula fase bulan baru pada 11 Juli 2181. Akan tetapi tidak ada gerhana matahari pada tanggal yang disebutkan terakhir ini. Karena itu siklus Meton tidak terlalu berguna untuk memprediksi terjadinya gerhana. Sebagai contoh, siklus Meton berikut ini yang berisi lima gerhana.

- 12 Agustus 1923, tidak ada gerhana
- 12 Agustus 1942, parsial

- 11 Agustus 1961, cincin
- 10 Agustus 1980, cincin
- 11 Agustus 1999, total
- 11 Agustus 2018, parsial
- 11 Agustus 2037, tidak ada gerhana

Ada beberapa fakta menarik tentang gerhana matahari.

1. Tipe gerhana cincin–total atau A–T adalah tipe gerhana sentral, dimana sebagian lintasan adalah total dan sisanya cincin. Lebih tepat, sepanjang garis sentral, gerhana tersebut bermula sebagai cincin, kemudian menjadi total ketika bagian permukaan bumi yang lengkung lebih dekat ke bulan sehingga menjadi total, dan akhirnya kembali menjadi cincin pada akhir lintasan. Namun demikian, gerhana 3 November 2013 bertipe A–T akan menjadi sebuah kasus menarik. Disini, gerhana sentral akan bermula sebagai gerhana cincin, kemudian 15 detik berikutnya berubah menjadi total, dan terus total hingga akhir gerhana.
2. Dua gerhana matahari yang terjadi berturut–turut tidak pernah kedua–duanya berupa fase total. Namun demikian, dimungkinkan terdapat dua gerhana total dalam rentang kurang dari setengah tahun, tetapi salah satunya berupa gerhana bertipe A–T. Contohnya adalah
 - 17 April 1912, tipe A–T
 - 10 Oktober 1912, tipe T

Akan tetapi, dua gerhana sentral yang berturut–turut dapat berupa total kedua–duanya, tetapi dipisahkan oleh gerhana parsial. Sebagai contoh, gerhana total 11 Agustus 1999 dan 21 Juni 2001, dipisahkan oleh empat gerhana parsial pada tahun 2000.
3. Dua gerhana matahari yang terjadi berturut–turut bisa berupa kedua–duanya bertipe A–T, sebagai contoh gerhana 23 Desember 1908 dan 17 Juni 1909, 3 Oktober 1986 dan 29 Maret 1987.
4. Antara tahun –599 hingga tahun 3400 atau rentang 4000 tahun atau 40 abad, terdapat 9439 gerhana matahari, sehingga rata–rata sekitar 237 gerhana per abad. Selama 40 abad tersebut, tipe gerhana adalah sebagai berikut: 3344 gerhana

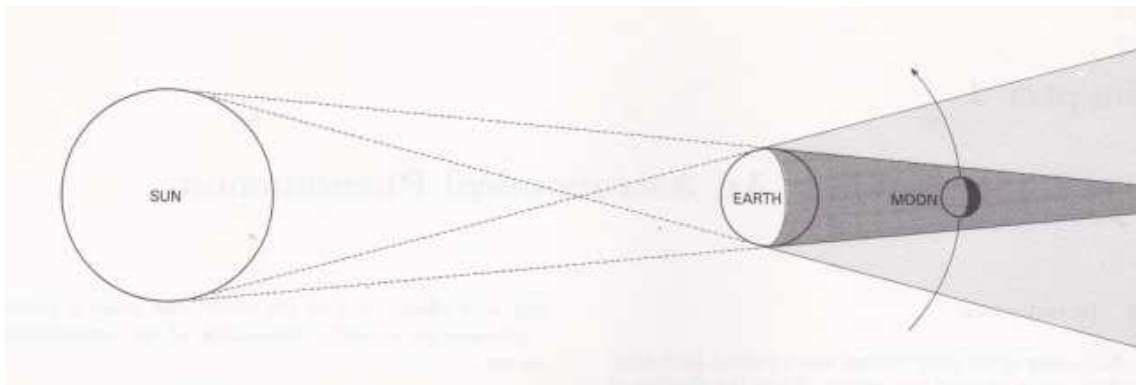
parsial, 3071 gerhana cincin, 2508 gerhana total, 493 gerhana cincin–total, 58 gerhana cincin non–sentral, dan 19 gerhana total non–sentral. Namun demikian, distribusinya setiap abad tidak seragam. Sebagai contoh, antara tahun 1701 – 1800 terdapat 251 gerhana, sedangkan antara tahun 2001 – 2100 hanya terdapat 224 gerhana.

5. Pada dua fase bulan baru yang berturutan dapat terjadi gerhana matahari. Hampir seluruh kasus, kedua gerhana tersebut bertipe parsial, yang nampak dari belahan bumi yang berbeda. Sebagai contoh

- 21 Juni 1982, belahan bumi selatan (selatan Atlantik, Afrika Selatan)
- 20 Juli 1982, belahan bumi utara (Laut Arktik, negara–negara Skandinavia)

Sangat jarang terjadi, satu dari kedua gerhana berturutan pada dua fase bulan baru yang berturutan adalah gerhana parsial. Dalam rentang tahun –599 hingga tahun 3400, hanya terjadi 5 kali.

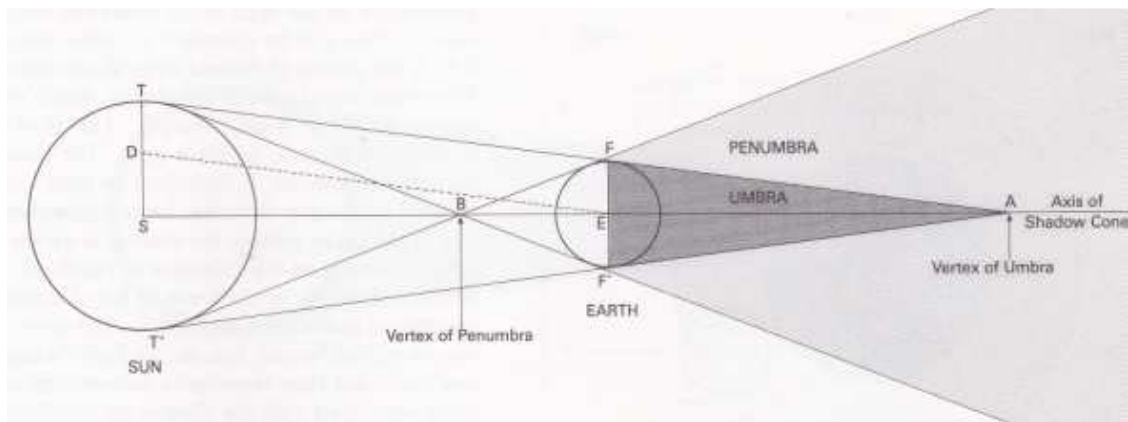
6.2. Gerhana Bulan



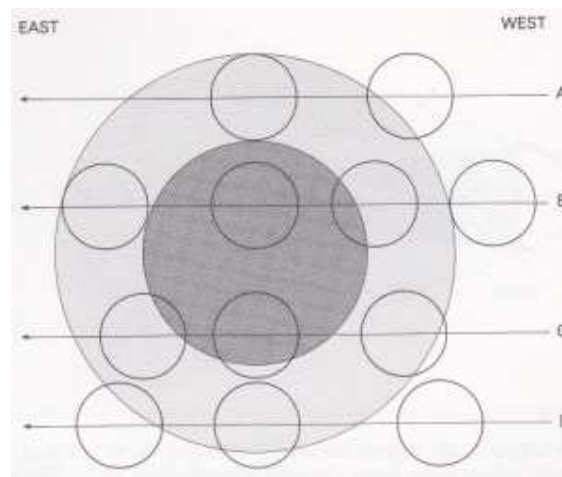
Gambar 6.1. Ilustrasi gerhana bulan

Gerhana bulan terjadi ketika bulan melalui bayangan bumi sehingga bulan tidak lagi tersinari oleh matahari (Gambar 6.1). Struktur bayangan bumi dapat dilihat pada Gambar 6.2. Titik S adalah pusat matahari. E adalah pusat bumi. Garis SE adalah sumbu bayangan. Garis TFA dan T'F'A adalah tangen luar yang membentuk kerucut umbra dengan A adalah titik puncak kerucut umbra. Garis TF' dan T'F adalah tangen dalam yang membentuk kerucut penumbra dengan B adalah titik puncak kerucut

penumbra. Garis DE sejajar dengan TF sehingga segitiga SDE serupa dengan segitiga EFA. Bumi dianggap tidak memiliki atmosfer.



Gambar 6.2. Umbra dan Penumbra bumi

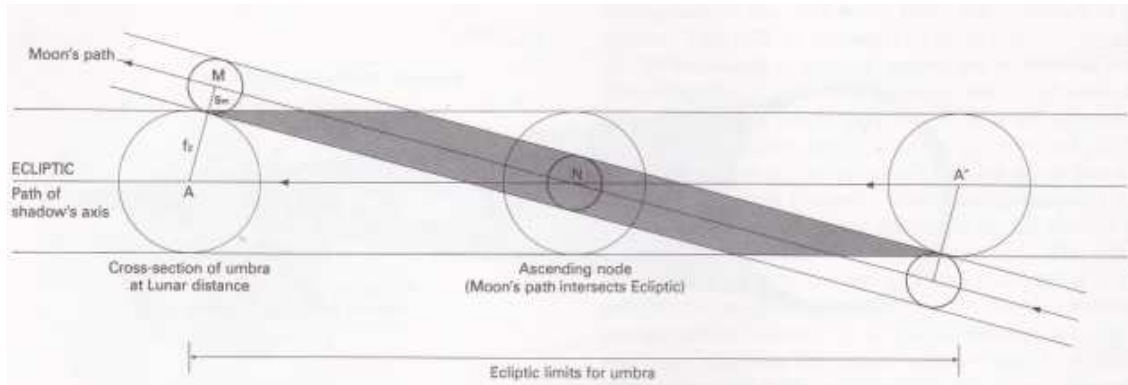


Gambar 6.3. Tipe-tipe gerhana bulan

Beberapa tipe gerhana bulan dilukiskan pada Gambar 6.3. Bayangan umbra bumi berwarna gelap dan bayangan penumbra bumi berwarna abu-abu. Ketika bulan melewati bayangan penumbra dan atau umbra dari barat ke timur, ada empat kemungkinan tipe gerhana, yaitu A total penumbral, B total, C parsial dan D parsial penumbral.

Gerhana bulan hanya dapat terjadi ketika bulan purnama dan dekat dengan salah satu titik naik (*ascending node*) atau titik turun bulan (*descending node*). Pertanyaannya adalah, seberapa dekat? Jika bulan, bumi dan matahari hanya merupakan titik, maka posisi lurus bulan, bumi dan matahari harus benar-benar sempurna. Tetapi karena

ketiganya bukan titik, maka bulan purnama tersebut akan memasuki bayangan bumi dalam rentang tertentu dari titik naik/turun bulan. Batas ini dikenal sebagai batas ekliptika bulan (lunar ecliptic limit). Ilustrasinya dapat dilihat pada Gambar 6.4.



Gambar 6.4 Ilustrasi batas ekliptika untuk umbra

Sebagaimana dilihat dari bumi, bayangan bumi bergerak sepanjang ekliptika dari barat ke timur dengan rata-rata 1 derajat perhari. Orbit bulan miring sekitar 5 derajat terhadap ekliptika dan memotong ekliptika pada dua titik, yang disebut titik naik dan titik turun. Bulan bergerak dari barat ke timur kira-kira 13 derajat perhari dan akan melewati bayangan bumi. Jika bulan dan bayangan bumi berada di dekat salah satu titik tersebut pada waktu yang sama, gerhana akan terjadi jika mereka saling overlap. Pada gambar 6.4 tersebut, jari-jari sudut umbra adalah f_2 , sedangkan jari-jari sudut bumi adalah s_m .

6.3. Data-Data Gerhana Bulan Total 10 Desember 2011 menurut Algoritma Meeus, NASA dan Bao Lin Liu – Alan D. Fiala

6.3.1. Algoritma Jean Meeus

1. Pertama kali kita tentukan perkiraan tahun pada tanggal 10 Desember 2011 tersebut. $\text{Perkiraan tahun} = \text{tahun} + \text{bulan yang lewat} / 12 + \text{tanggal} / 365 = 2011 + 11/12 + 10/365 = 2011,944$.
2. Perkiraan nilai $k = (\text{perkiraan tahun} - 2000) * 12,3685 = (2011,944 - 2000) * 12,3685 = 147,7294$.
3. Menentukan nilai k yang tepat. Nilai k untuk gerhana matahari adalah bilangan bulat, sedangkan untuk gerhana bulan adalah bilangan bulat + 0,5. Kita ambil nilai

k yang terdekat dengan nilai perkiraan k di atas. Karena itu nilai k untuk gerhana bulan ini adalah $k = 147,5$.

4. Menentukan nilai $T = k / 1236,85 = 147,5 / 1236,85$. $T = 0,1192545579$.
5. Menghitung nilai F (argumen lintang bulan). $F = 160,7108 + 390,67050274*k - 0,0016341*T*T = 160,7108 + 390,67050274*147,5 - 0,0016341*0,1192545579*0,1192545579 = 184,6099$ derajat.
6. Menentukan apakah benar akan terjadi gerhana bulan dari nilai F di atas. Syarat terjadinya gerhana adalah selisih antara F dengan kelipatan 180 derajat harus kurang 13,9 derajat. Karena $F - 180 = 4,6099$ derajat maka akan terjadi gerhana bulan. Karena F dekat dengan 180 derajat, maka gerhana terjadi di dekat titik turun bulan (descending node).
7. Menghitung nilai $E = 1 - 0,002516*T - 0,0000074*T*T = 0,99969985$
8. Menghitung Anomali rata-rata matahari (M) = $2,5534 + 29,10535669*k - 0,0000218*T*T = 335,5935$ derajat.
9. Menghitung Anomali rata-rata bulan (M') = $201,5643 + 385,81693528*k + 0,0107438*T*T = 229,5624$ derajat.
10. Menghitung Bujur titik naik bulan Omega = $124,7746 - 1,56375580*k + 0,0020691*T*T = 254,1206$ derajat.
11. Menghitung $F1 = F - 0,02665*\sin(\text{Omega}) = 184,6356$ derajat.
12. Menghitung $A1 = 299,77 + 0,107408*k - 0,009173*T*T = 315,61$ derajat.
13. Menghitung JDE bulan yang belum terkoreksi: $JDE = 2451550,09765 + 29,530588853*k + 0,0001337*T*T = 2455905,859508$ hari.
14. Menghitung koreksi JDE dari rumus $10000*\text{Koreksi JDE} = -4065*\sin(M') + 1727*E*\sin(M) + 161*\sin(2*M') - 97*\sin(2*F1) + 73*E*\sin(M' - M) - 50*E*\sin(M' + M) - 23*\sin(M' - 2*F1) + 21*E*\sin(2*M) + 12*\sin(M' + 2*F1) + 6*E*\sin(2*M' + M) - 4*\sin(3*M') - 3*E*\sin(M + 2*F1) + 3*\sin(A1) - 2*E*\sin(M - 2*F1) - 2*E*\sin(2*M' - M) - 2*\sin(\text{Omega})$. Jadi koreksi JDE = 0,247169 hari.
15. Menghitung JDE terkoreksi saat terjadi gerhana maksimum = JDE belum terkoreksi + koreksi JDE = 2455906,106677 hari.
16. Menghitung JD saat gerhana maksimum = JDE terkoreksi - Delta_T untuk tahun 2011 = 2455906,106677 hari - 68 detik = 2455906,105895 hari. Jika dikonversi

ke tanggal dan waktu menjadi 10 Desember 2011 pukul 14:32:29 UT = 21:32:29 WIB.

17. Menghitung P, dari rumus $10000 \cdot P = 2070 \cdot E \cdot \sin(M) + 24 \cdot E \cdot \sin(2 \cdot M) - 392 \cdot \sin(M') + 116 \cdot \sin(2 \cdot M') - 73 \cdot E \cdot \sin(M' + M) + 67 \cdot E \cdot \sin(M' - M) + 118 \cdot \sin(2 \cdot F1)$, sehingga $P = -0,047459$.
18. Menghitung Q, dari rumus $10000 \cdot Q = 52207 - 48 \cdot E \cdot \cos(M) + 20 \cdot E \cdot \cos(2 \cdot M) - 3299 \cdot \cos(M') - 60 \cdot E \cdot \cos(M' + M) + 41 \cdot E \cdot \cos(M' - M)$, sehingga $Q = 5,435924$.
19. Menghitung $W = \text{ABS}(\text{COS}(F1)) = 0,996729$.
20. Menghitung $\text{Gamma} = (P \cdot \cos(F1) + Q \cdot \sin(F1)) \cdot (1 - 0,0048 \cdot W) = -0,390139$.
21. Menghitung u, dari rumus $10000 \cdot u = 59 + 46 \cdot E \cdot \cos(M) - 182 \cdot \cos(M') + 4 \cdot \cos(2 \cdot M') - 5 \cdot E \cdot \cos(M + M')$, sehingga $u = 0,022282$.
22. Menghitung Radius penumbra $= 1,2848 + u = 1,3071$.
23. Menghitung Radius umbra $= 0,7403 - u = 0,7180$.
24. Menghitung Magnitude gerhana penumbra $= (1,5573 - u - \text{ABS}(\text{Gamma}))/0,545 = 2,1825$.
25. Menghitung Magnitude gerhana umbra $= (1,0128 - u - \text{ABS}(\text{Gamma}))/0,545 = 1,1016$.
26. Menghitung $P_u = 1,0128 - u = 0,9905$.
27. Menghitung $T1 = 0,4678 - u = 0,4455$.
28. Menghitung $H = 1,5573 + u = 1,5796$.
29. Menghitung $n = 0,5458 + 0,0400 \cdot \cos(M') = 0,5199$.
30. Menghitung Semi durasi fase penumbra $= (60/n) \cdot \text{SQRT}(H \cdot H - \text{Gamma} \cdot \text{Gamma}) = 176,66$ menit.
31. Menghitung Semi durasi fase parsial umbra $= (60/n) \cdot \text{SQRT}(P_u \cdot P_u - \text{Gamma} \cdot \text{Gamma}) = 105,08$ menit.
32. Menghitung Semi durasi fase total umbra $= (60/n) \cdot \text{SQRT}(T1 \cdot T1 - \text{Gamma} \cdot \text{Gamma}) = 24,83$ menit.
33. Awal Fase Penumbra ($P1$) $= 21:32:29 \text{ WIB} - 176,66 \text{ menit} = \text{18:35:50 WIB}$.
34. Awal Fase Umbra ($U1$) $= 21:32:29 \text{ WIB} - 105,08 \text{ menit} = \text{19:47:24 WIB}$.
35. Awal Fase Total ($U2$) $= 21:32:29 \text{ WIB} - 24,83 \text{ menit} = \text{21:07:40 WIB}$.
36. Gerhana maksimum $= \text{21:32:29 WIB}$.

37. Akhir Fase Total (U3) = 21:32:29 WIB + 24,83 menit = 21:57:19 WIB.
38. Akhir Fase Umbra (U4) = 21:32:29 WIB + 105,08 menit = 23:17:34 WIB.
39. Akhir Fase Penumbra (P2) = 21:32:29 WIB + 176,66 menit = 24:29:09 WIB.

6.3.2. Data NASA

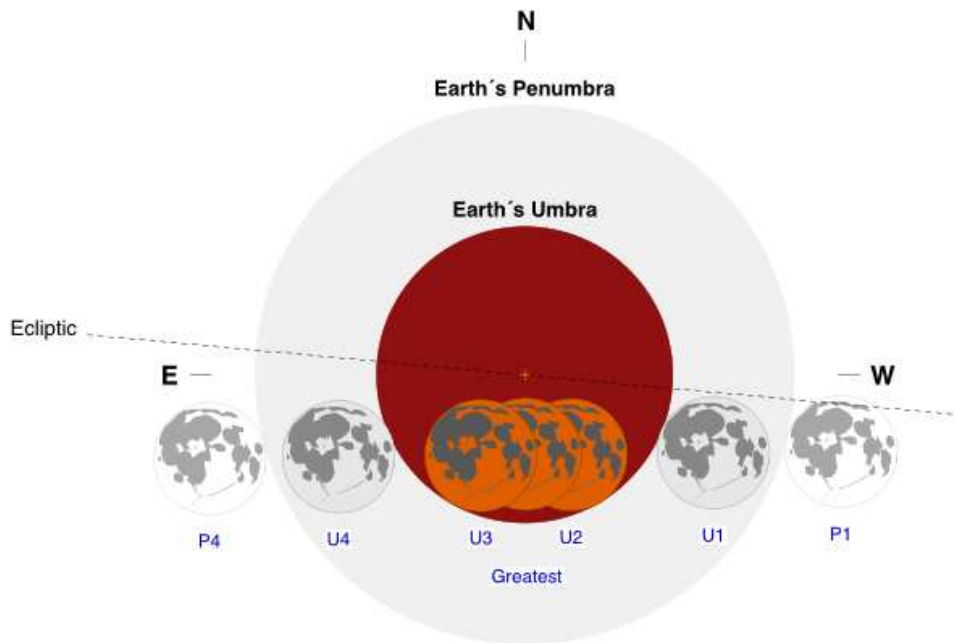
1. Awal Fase Penumbra (P1) = 11:33:32 UT = 18:33:32 WIB.
2. Awal Fase Umbra (U1) = 12:45:42 UT = 19:45:42 WIB.
3. Awal Fase Total (U2) = 14:06:16 UT = 21:06:16 WIB.
4. Gerhana maksimum = 14:31:49 UT = 21:31:49 WIB.
5. Akhir Fase Total (U3) = 14:57:24 UT = 21:57:24 WIB.
6. Akhir Fase Umbra (U4) = 16:17:58 UT = 23:17:58 WIB.
7. Akhir Fase Penumbra (P2) = 17:30:00 UT = 24:30:00 WIB.

6.3.3. Buku Canon of Lunar Eclipse 1500 BC to AD 3000 (Bao Lin Liu dan Alan D. Fiala)

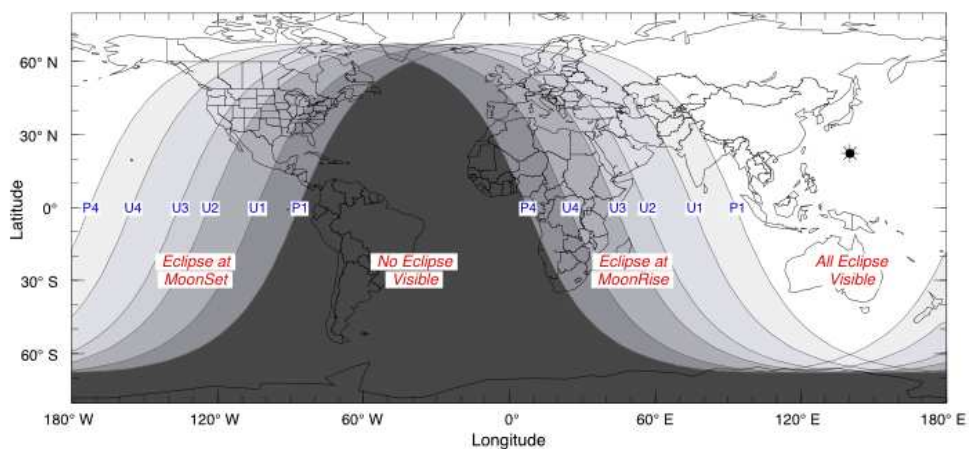
1. Awal Fase Penumbra (P1) = 11:32 UT = 18:32 WIB.
2. Awal Fase Umbra (U1) = 12:45 UT = 19:45 WIB.
3. Awal Fase Total (U2) = 14:05 UT = 21:05 WIB.
4. Gerhana maksimum = 14:31 UT = 21:31 WIB.
5. Akhir Fase Total (U3) = 14:57 UT = 21:57 WIB.
6. Akhir Fase Umbra (U4) = 16:18 UT = 23:18 WIB.
7. Akhir Fase Penumbra (P2) = 17:31 UT = 24:31 WIB.

6.3.4. Ilustrasi NASA Gerhana Bulan Total 10 Desember 2011

Gambar 6.5 dan 6.6 menyajikan ilustrasi gerhana bulan total 10 Desember 2011 oleh NASA. Pada gambar 6.5, gerhana dimulai dengan awal penumbra P1, kemudian awal fase umbra U1, awal total U2, gerhana maksimum, akhir total U3, akhir umbra U4 dan akhir penumbra P2. Pada Gambar 6.6, disajikan daerah visibilitas yang bisa menyaksikan gerhana bulan tersebut. Nampak bahwa seluruh wilayah Indonesia dapat menyaksikan seluruh fase gerhana dari awal penumbra hingga akhir penumbra.



Gambar 6.5 Perjalanan bulan memasuki penumbra dan umbra bumi pada gerhana bulan 10 Desember 2011



Gambar 6.6 Wilayah visibilitas gerhana bulan 10 Desember 2011

6.4. Gerhana matahari 22 Juli 2009

Pada hari Rabu, 22 Juli 2009, terjadi gerhana matahari total (total solar eclipse). Gerhana matahari terjadi ketika matahari–bulan–bumi terletak pada satu garis lurus. Karena itu, gerhana matahari selalu terjadi saat bulan baru (new moon), meskipun tidak

setiap bulan baru akan terjadi gerhana matahari. Gerhana matahari bersifat total jika ada permukaan bumi yang terkena bayangan umbra bulan.

Disini hanya ingin dibahas, bagaimana cara menentukan daerah manakah yang merasakan gerhana total, berapakah koordinat (bujur, lintang geografis) yang bisa menyaksikan gerhana total tersebut, kapankah gerhana total terjadi di tempat itu, berapakah lebar daerah di tempat tersebut yang merasakan gerhana total, berapakah ketinggian (altitude) dan azimuth matahari saat itu dan lain-lain. Untuk dapat menentukan semua pertanyaan di atas, ada satu kata kunci yaitu angka-angka atau elemen Bessel (Besselian elements). Dengan mengetahui angka-angka Bessel pada suatu gerhana matahari, maka kita akan dapat mengetahui detail keadaan gerhana di bumi dari awal hingga akhir.

Sebenarnya, kita dapat merujuk pada prediksi dan perhitungan gerhana matahari 22 Juli 2009 yang dirilis oleh NASA dengan alamat

<http://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEmono/TSE2009/TSE2009.html>

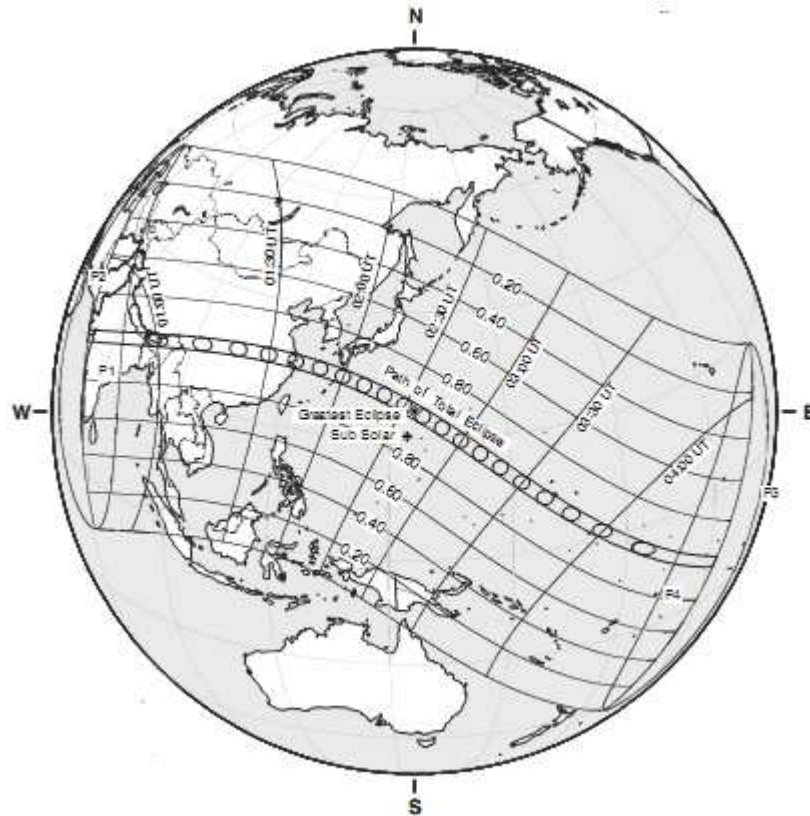
NASA juga mengeluarkan semacam technical publication (TP) untuk gerhana matahari ini yang dapat diunduh di

<http://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEpubs/20090722/TP214169a.pdf>

Berikut ini ringkasan prediksi/perhitungan gerhana yang dikeluarkan oleh Fred Espenak, astronom NASA yang dijuluki Mr. Eclipse. Lintasan bayangan umbra bulan berawal di India dan bergerak melewati Nepal, Bangladesh, Bhutan, Myanmar dan China. Setelah meninggalkan daratan Asia, lintasan tersebut melewati kepulauan Okinawa (Jepang selatan). Lintasannya lalu membelok ke arah tenggara menuju samudera Pasifik.

Sementara itu lintasan bayangan penumbra bulan dapat diamati di sebagian besar Asia (Tengah, Selatan, Timur, Tenggara) dan Samudera Pasifik. Khusus untuk Indonesia, daerah yang dapat mengamati gerhana parsial adalah sebagian Sumatera, Kalimantan dan Sulawesi terutama daerah Utara, serta seluruh Papua.

Lebih detail, lintasan gerhana matahari total pada tanggal 22 Juli 2009 terdapat pada Gambar 6.7.



Gambar 6.7. Lintasan Gerhana Matahari 22 Juli 2009. Dikutip dari NASA.

Hasil perhitungan menurut NASA (Fred Espenak) adalah sebagai berikut (lihat tabel 4 pada technical publication NASA halaman 27). Agar tidak terlampaui banyak hasil yang ditampilkan, disini hanya disajikan hasil dalam rentang 30 menit.

- Permulaan gerhana pukul 0:52:54 UT, lintang 20:21:42 N, bujur 70:31:6 E, altitude matahari 0 derajat, azimuth matahari 68,3 derajat, lebar lintasan 205,5 km, durasi gerhana total 3 menit 9 detik.
- Pukul 1 UT, 27:5:54 N, 91:2:6 E, 21,5 derajat, 77,5 derajat, 225 km, 4 menit 6 detik.
- Pukul 1:30 UT, 30:49 N, 116:16:6 E, 50,2 derajat, 94,9 derajat, 245 km, 5 menit 36 detik.
- Pukul 2 UT, 29:9:42 N, 131:5:54 E, 69,4 derajat, 110,9 derajat, 255 km, 6 menit 24 detik.

- Pukul 2:30 UT, 25:7:24 N, 142:20:24 E, 84,9 derajat, 161 derajat, 258 km, 6 menit 39 detik.
- Pukul 3 UT, 19:20:24 N, 151:58:54 E, 75,5 derajat, 276,3 derajat, 258 km, 6 menit 24 detik.
- Pukul 3:30 UT, 11:46:24 N, 161:46:12 E, 57,5 derajat, 289,4 derajat, 255 km, 5 menit 44 detik.
- Pukul 4 UT, 1:15:24 N, 175:23:6 E, 34,2 derajat, 293,8 derajat, 241 km, 4 menit 37 detik.
- Akhir gerhana total pukul 4:17:48 UT, 12:54:42 S, 157:41:18 W, 0 derajat, 290,8 derajat, 205 km, 3 menit 9 detik.

Setelah dijelaskan hasil perhitungan NASA di atas, selanjutnya ingin dijelaskan disini bagaimana cara menghitung seperti halnya perhitungan NASA di atas. Cara menghitung dimanakah koordinat di bumi yang terkena gerhana matahari total memang lumayan panjang, tetapi tidak sulit karena hanya perhitungan matematik biasa.

6.4.1. Gerhana matahari menggunakan algoritma Meeus

Terlebih dahulu harus diketahui angka–angka Bessel (Besselian elements) untuk gerhana tersebut. Angka–angka Bessel tersebut berasal dari perpaduan algoritma VSOP87 (matahari) dan ELP2000–82 (bulan). Angka–angka tersebut dapat dilihat di buku Elements of Solar Eclipses 1951–2200 karya Jean Meeus, maupun Report yang dikeluarkan oleh NASA untuk gerhana matahari 22 Juli 2009. Angka–angka Bessel untuk setiap gerhana matahari berbeda–beda. Angka Bessel ini digunakan untuk menentukan tempat (bujur, lintang) di bumi yang terkena garis umbra, lebar garis umbra, lama maksimum gerhana di tersebut, ketinggian (altitude) matahari dan azimuth yang diamati dari tempat tersebut dan lain–lain.

Angka–angka Bessel yang berasal dari buku karya Jean Meeus tersebut untuk gerhana matahari 22 Juli 2009 adalah sebagai berikut:

- Waktu referensi (T0) = pukul 3 TD.
- $X0 = 0,239953$. $X1 = 0,5563954$. $X2 = -0,0000576$. $X3 = -0,00000943$.

- $Y_0 = -0,003456$. $Y_1 = -0,1774579$. $Y_2 = -0,0001344$. $Y_3 = 0,00000318$.
- $d_0 = 20,26424$. $d_1 = -0,007874$. $d_2 = -0,000005$.
- $M_0 = 223,38822$. $M_1 = 15,001002$.
- $L_{10} = 0,53042$. $L_{11} = 0,0000063$. $L_{12} = -0,0000128$.
- $L_{20} = -0,015626$. $L_{21} = 0,0000063$. $L_{22} = -0,0000127$.
- $\tan f_1 = 0,0046014$. $\tan f_2 = 0,0045784$.

Perlu diingat, angka Bessel di atas hanya untuk gerhana matahari 22 Juli 2009. Untuk gerhana matahari pada waktu yang lain, angka Besselnya tentu saja berbeda. Selanjutnya, metode untuk menentukan daerah yang mengalami gerhana matahari total pada tanggal 22 Juli 2009 adalah sebagai berikut.

Misalnya kita ingin mengetahui dimanakah tempat yang mengalami gerhana total pada pukul 2:35:19 UT.

- Kita ubah waktu UT (Universal Time atau GMT) tersebut menjadi TD (Dynamical Time), yaitu $TD = UT + \Delta T$.
- Untuk tahun 2009, $\Delta T = 66$ detik, sehingga 2:35:19 UT + 66 detik sama dengan pukul 2:36:25 TD = pukul 2,60694444 TD.
- Karena waktu referensi untuk gerhana ini adalah $T_0 = 3$ TD, maka $t = TD - T_0 = 2,60694444 - 3 = -0,39305556$.

Akhirnya dapat dihitung rumus–rumus sekaligus beserta hasilnya sebagai berikut.

- $X = X_0 + X_1*t + X_2*t*t + X_3*t*t*t = 0,021250371$.
- $Y = Y_0 + Y_1*t + Y_2*t*t + Y_3*t*t*t = 0,066273857$.
- $d = d_0 + d_1*t + d_2*t*t = 20,26733415$ derajat.
- $M = M_0 + M_1*t = 217,4919928$ derajat.
- $L_2 = L_{20} + L_{21}*t + L_{22}*t*t = -0,015630438$.
- $X' = X_1 + 2X_2*t + 3X_3*t*t = 0,556436309$.
- $Y' = Y_1 + 2Y_2*t + 3Y_3*t*t = -0,177350773$.
- $w = 1/\text{SQRT}(1 - 0,006694385*\text{COS}(d)*\text{COS}(d)) = 1,00295863$.
- $p = M_1/57,2957795 = 0,261816876$.
- $b = Y' - p*X*\text{SIN}(d) = -0,179278045$.

- $c = X' + p*Y*\text{SIN}(d) = 0,562446924$.
- $y1 = w*Y = 0,066469936$.
- $b1 = w*\text{SIN}(d) = 0,347425752$.
- $b2 = 0,99664719*w*\text{SIN}(d) = 0,937707499$.
- $B = \text{SQRT}(1 - X*X - y1*y1) = 0,997562113$.

Untuk menentukan koordinat yang terkena bayang-bayang umbra bulan, maka nilai B harus positif. Jika B negatif, maka tidak ada koordinat yang terkena garis umbra/garis sentral pada waktu tersebut.

- $H = \text{ATAN}(X/(B*b2 - y1*b1)) = 1,334318687$ derajat.
- $\text{fai1} = \text{ASIN}(B*b1 + y1*b2) = 24,13626333$ derajat.
- $\text{TAN}(\text{Lintang}) = 1,00336409*\text{TAN}(\text{fai1}) = 0,449588777$.
- $\text{Lintang} = 24,20814868 = 24:12:29$ derajat.
- $\text{Bujur} = H + 0,00417807*\text{Delta_T} - M = -215,8819215$ derajat = $144,1180785$ derajat = $144:7:5$ derajat.

Dalam rumus di atas, Delta_T dinyatakan dalam detik. Bujur harus dalam rentang -180 derajat hingga 180 derajat. Jika bujur lebih kecil dari -180 derajat, tambahkan dengan 360 derajat. Jika lebih besar dari 180 derajat, kurangkan dengan 360 derajat. Bujur negatif menunjukkan sebelah barat Greenwich. Bujur positif berarti sebelah timur Greenwich.

- $L2' = L2 - B*\tan f2 = -0,020197677$.
- $a = c - p*B*\text{COS}(d) = 0,317438788$.
- $n = \text{SQRT}(a*a + b*b) = 0,364565497$.
- $\text{Durasi} = 7200*\text{ABS}(L2')/n = 398,89$ detik = 6 menit 39 detik.

Jenis gerhana matahari ini dapat dilihat dari nilai L2'. Jika L2' negatif maka gerhana total. Jika L2' positif maka gerhana cincin. Karena L2' negatif, maka gerhana matahari ini adalah gerhana total. Untuk mengetahui posisi matahari (altitude) saat itu, maka digunakan rumus

- $\text{SIN}(\text{Altitude}) = \text{SIN}(d)*\text{SIN}(\text{Lintang}) + \text{COS}(d)*\text{COS}(\text{Lintang})*\text{COS}(H) = 0,997403573$.
- $\text{Altitude} = 85,87028886$ derajat = $85:52:13$ derajat.

Dengan menggunakan rumus transformasi koordinat dari ekuator ke horison, azimuth matahari juga dapat dihitung = $197,6579012$ derajat = $197:39:28$ derajat.

- $K = \text{SQRT}(B^2 + ((X*a + Y*b)/n)^2) = 0997661577.$
- Lebar lintasan (path width) = $12756*ABS(L2')/K = 258 \text{ km}.$
- $L1' = L10 + L11*t + L12*t*t - B*\tan f1 = 0,525825364.$
- Sudut radius bulan /sudut radius matahari = $(L1' - L2')/(L1' + L2') = 1,079891498.$

Karena perbandingan sudut radius bulan dengan matahari lebih besar dari satu, maka dalam gerhana ini sudut radius bulan lebih besar daripada sudut radius matahari, sehingga sifat gerhana adalah total.

Hasil perhitungan di atas menunjukkan bahwa pada pukul 2:35:19 UT, daerah yang terkena gerhana total memiliki koordinat lintang 24:12:29 derajat, bujur 144:7:5 derajat, altitude matahari 85:52:13 derajat, azimuth matahari = 197:39:28 derajat, lebar lintasan gerhana total 258 km, lama gerhana total di tempat tersebut 6 menit 39 detik.

Dengan cara yang sama untuk menentukan koordinat yang terkena gerhana total, maka hasilnya disajikan di bawah ini.

- Permulaan gerhana terjadi pada pukul 0:52:51,03 UT, koordinat yang mengalami gerhana total terletak pada lintang 20:21:57 N dan bujur 70:33:42 E, altitude matahari 0,04 derajat, azimuth matahari 68,3 derajat, lebar lintasan gerhana total di koordinat tersebut 205 km, lama gerhana total di tempat tersebut 3 menit 9 detik.
- Pukul 1 UT, 27:5:28 N, 91:2:46 E, 21,47 derajat, 77,46 derajat, 225 km, 4 menit 6 detik.
- Pukul 1:30 UT, 30:48:24 N, 116:16:23 E, 50,20 derajat, 94,89 derajat, 245 km, 5 menit 37 detik.
- Pukul 2 UT, 29:09:04 N, 131:05:59 E, 69,40 derajat, 110,88 derajat, 254 km, 6 menit 25 detik.
- Pukul 2:30 UT, 25:06:45 N, 142:20:19 E, 84,89 derajat, 160,98 derajat, 258 km, 6 menit 40 detik.
- Pukul 3 UT, 19:19:46 N, 151:58:46 E, 75,52 derajat, 276,29 derajat, 258 km, 6 menit 24 detik.

- Pukul 3:30 UT, 11:45:45 N, 161:46:04 E, 57,55 derajat, 289,37 derajat, 254 km, 5 menit 44 detik.
- Pukul 4 UT, 1:14:46 N, 175:23:00 E, 34,18 derajat, 293,82 derajat, 241 km, 4 menit 37 detik.
- Akhir gerhana pukul 4:17:47 UT, 12:52:02 S, 157:50:11 W, 0,15 derajat, 290,84 derajat, 205 km, 3 menit 9 detik.

Dengan membandingkan antara kedua perhitungan di atas, nampak bahwa perhitungan di atas berdasarkan algoritma Meeus memberikan hasil yang praktis sama dengan hasil perhitungan NASA. Perbedaan posisi koordinat antara kedua perhitungan rata-rata kurang dari satu menit busur. Ketinggian dan azimuth matahari dapat dikatakan persis sama, demikian pula lama waktu (durasi) tempat tersebut merasakan gerhana total. Adapun perbedaan lebar lintasan umbra hanya berkisar 1 km saja.

BAB VII

KAPITA SELEKTA

7.1 Kalender tahun 2012

Berikut ini akan dijelaskan beberapa tanggal penting pada tahun 2012 yang ada hubungannya dengan ilmu hisab atau pergerakan matahari dan bulan. Perlu diketahui bahwa tahun 2012 adalah tahun kabisat, karena tahun ini habis dibagi 4. Karena itu bulan Februari 2012 terdiri dari 29 hari sehingga tahun 2012 berisi 366 hari.

Fase–fase bulan

Sebelum membahas hari–hari besar Islam atau non–Islam, terlebih dahulu disebutkan data–data astronomis fase–fase bulan (moon phases) yang meliputi fase bulan baru (new moon) atau konjungsi geosentrik, fase seperempat pertama (first quarter), fase bulan purnama (full moon) dan fase seperempat akhir (last quarter). Berikut ini data fase–fase bulan untuk tahun 2012, dengan waktu dinyatakan dalam WIB (Tanggal/Bulan/Jam:Menit) hingga menit terdekat. Perhitungan berdasarkan algoritma Meeus.

New Moon	First Quarter	Full Moon	Last Quarter
	01/01 13:15	09/01 14:30	16/01 16:08
23/01 14:39	31/01 11:10	08/02 04:54	15/02 00:04
22/02 05:35	01/03 08:22	08/03 16:39	15/03 08:25
22/03 21:37	31/03 02:41	07/04 02:19	13/04 17:50
21/04 14:18	29/04 16:58	06/05 10:35	13/05 04:47
21/05 06:47	29/05 03:16	04/06 18:12	11/06 17:41
19/06 22:02	27/06 10:30	04/07 01:52	11/07 08:48
19/07 11:24	26/07 15:56	02/08 10:27	10/08 01:55
17/08 22:54	24/08 20:54	31/08 20:58	08/09 20:15
16/09 09:11	23/09 02:41	30/09 10:19	08/10 14:33
15/10 19:02	22/10 10:32	30/10 02:49	07/11 07:36

14/11 05:08	20/11 21:31	28/11 21:46	06/12 22:31
13/12 15:42	20/12 12:19	28/12 17:21	

7.1.1. Hari-hari besar dan awal bulan Islam 1433 H dan 1434 H

Di akhir tahun 2011 terdapat awal bulan Shafar 1433 H. Dengan mengambil lokasi di Jakarta, baik untuk hisab kriteria wujudul hilal maupun imkanurrukyat, 1 Shafar 1433 H = Senin, 26 Desember 2011. Sehingga shaum ayyamul bidh pada 3 hari di pertengahan bulan (setiap tanggal 13, 14 dan 15 bulan Islam) jatuh pada Sabtu, Ahad dan Senin, 7, 8 dan 9 Januari 2012.

Untuk selanjutnya, tahun 1433 H maupun tahun 2012 tidak perlu disebutkan lagi, kecuali jika masuk pada tahun 1434 H. Kriteria wujudul hilal disingkat WH, sedangkan kriteria imkanur rukyat disingkat IR. Ada lagi kriteria MABIMS yang merupakan singkatan dari Menteri Agama Brunei, Indonesia, Malaysia dan Singapura.

Di sebagian besar wilayah Indonesia pada tanggal 29 Shafar (Senin, 23 Januari) maghrib waktu setempat, moonset terjadi sebelum sunset meskipun konjungsi sudah terjadi. Hanya di sekitar Aceh dan Sumatra Utara, moonset terjadi setelah sunset, itupun dengan selisih waktu sekitar 2 menit. Dengan demikian secara efektif, baik kriteria WH maupun IR, 1 Rabi'ul Awwal, = Rabu, 25 Januari. Bulan Shafar berumur 30 hari. Tanggal 12 Rabi'ul Awwal yang ditetapkan sebagai Maulid Nabi Muhammad SAW, menurut kedua kriteria = Ahad, 5 Februari. Shaum ayyamul bidh dilaksanakan pada Senin – Rabu, 6 – 8 Februari.

Pada 29 Rabi'ul Awwal (Rabu, 22 Februari) saat maghrib di Jakarta, konjungsi sudah terjadi dengan umur bulan 12 jam 40 menit, moonset terjadi 9 menit setelah sunset, selisih ketinggian bulan dan matahari sekitar 3,1 derajat, selisih azimuth bulan dan matahari sekitar 7,3 derajat dan sudut elongasi sekitar 7,9 derajat. Namun, iluminasi cahaya bulan hanya 0,48%, dan menurut kriteria Odeh, "*Not Visible Even With Optical Aid*". Dengan demikian, menurut kriteria WH dan MABIMS, 1 Rabi'ul Akhir = Kamis, 23 Februari, tetapi menurut kriteria IR, 1 Rabi'ul Akhir = Jumat, 24 Februari. Jadi

menurut WH, Rabi'ul Awwal berumur 29 hari, sedangkan menurut IR 30 hari. Shaum ayyamul bidh di bulan Rabi'ul Akhir menurut kriteria WH dilaksanakan pada Selasa – Kamis, 6 – 8 Maret, sedangkan menurut kriteria IR pada Rabu – Jumat, 7 – 9 Maret.

Menurut kriteria WH, 29 Rabi'ul Akhir terjadi pada hari Kamis, 22 Maret. Pada saat maghrib, bulan sudah terbenam dan konjungsi juga belum terjadi. Jadi menurut WH, Rabi'ul Akhir berumur 30 hari sehingga 1 Jumadil Ula = Sabtu, 24 Maret. Adapun menurut kriteria IR, 1 1 Jumadil Awwal juga = Sabtu, 24 Maret, namun Rabi'ul Akhir berumur 29 hari. Menurut kedua kriteria, shaum ayyamul bidh di bulan Jumadil Awwal dilaksanakan pada Kamis – Sabtu, 5 – 7 April.

Menurut kedua kriteria, bulan Jumadil Awwal berumur 30 hari sehingga 1 Jumadil Akhir jatuh pada tanggal yang sama, yaitu Senin, 23 April. Shaum ayyamul bidh di bulan Jumadil Akhir dilaksanakan pada Sabtu – Senin, 5 – 7 Mei.

Terjadi perbedaan antara kedua kriteria untuk 1 Rajab. Menurut WH, 1 Rajab = Selasa, 22 Mei, sedangkan menurut IR, Rabu, 23 Mei. Puasa pertengahan bulan Rajab menurut WH adalah Ahad – Selasa, 3 – 5 Juni, sedangkan IR adalah Senin – Rabu, 4 – 6 Juni. Isra' Mi'raj 27 Rajab menurut kriteria WH = Ahad, 17 Juni, sedangkan menurut kriteria IR = Senin, 18 Juni.

Tanggal 1 Sya'ban akan jatuh pada tanggal Masehi yang sama menurut kedua kriteria, yaitu Kamis, 21 Juni. Dalam hal ini, Rajab berumur 30 dan 29 hari, berturut-turut menurut kriteria WH dan IR. Puasa tengah bulan Sya'ban = Selasa – Kamis, 3 – 5 Juli.

Awal bulan Ramadhan Insya Allah akan terjadi perbedaan menurut kedua kriteria. Kriteria WH menyatakan bahwa 1 Ramadhan = Jumat, 20 Juli. Ini disebabkan pada Kamis maghrib 28 Juli di Jakarta, konjungsi sudah terjadi sekitar 6,5 jam, moonset terjadi 8 menit setelah sunset, selisih altitude bulan – matahari sekitar 2,8 derajat, selisih azimuth bulan – matahari sekitar 4,5 derajat, sudut elongasi sekitar 5,3 derajat. Akan tetapi kriteria IR menyatakan bahwa 1 Ramadhan = Sabtu, 21 Juli. Iluminasi cahaya bulan hanya sekitar 0,22%, dan kriteria Odeh menyatakan bahwa "*Not Visible Even With Optical Aid*".

Meskipun awal Ramadhan berbeda, tetapi Insya Allah Iedul Fitri akan jatuh pada tanggal Masehi yang sama, yaitu Ahad 19 Agustus. Jadi, menurut kriteria WH, puasa Ramadhan dilaksanakan selama 30 hari, sedangkan menurut IR hanya 29 hari. Hal ini disebabkan, 29 Ramadhan maghrib menurut kriteria WH, yaitu 17 Agustus maghrib di Jakarta, konjungsi belum terjadi, serta moonset sebelum sunset. Adapun pada 29 Ramadhan menurut kriteria IR, yaitu 18 Agustus maghrib di Jakarta, konjungsi sudah terjadi 19 jam yang lalu, moonset terjadi 31 menit setelah sunset, selisih altitude 8,5 derajat, selisih azimuth 7,3 derajat, sudut elongasi 11,1 derajat, sehingga menurut kriteria IR, sudah masuk bulan baru (new month). Selanjutnya, puasa tengah bulan Syawwal dilaksanakan pada Jumat – Ahad, 31 Agustus – 2 September.

Tanggal 1 Dzulqa'dah akan jatuh berbeda, dimana menurut WH = Senin, 17 September, sedangkan menurut IR = Selasa, 18 September. Pada Ahad maghrib tanggal 16 September di Jakarta, konjungsi sudah terjadi 8 jam 39 menit yang lalu, moonset 9 menit setelah sunset, selisih altitude bulan matahari 3,3 derajat, selisih azimuth bulan matahari 5,6 derajat, sudut elongasi 6,5 derajat, namun iluminasi hanya 0,32%. Kriteria Odeh berbunyi "Not Visible Even With Optical Aid". Umur bulan Syawwal menurut WH dan IR berturut-turut adalah 29 dan 30 hari. Puasa tengah bulan Dzulqa'dah terjadi pada Sabtu – Senin, 29 September – 1 Oktober menurut WH, sedangkan menurut IR adalah Ahad – Selasa, 30 September – 2 Oktober.

Tanggal 1 Dzulhijjah Insya Allah akan jatuh pada tanggal Masehi yang sama. Dalam hal ini, umur bulan Dzulqa'dah menurut WH dan IR berturut-turut adalah 30 dan 29 hari. Pada hari Senin, 15 Oktober (29 Dzulqa'dah menurut WH) saat maghrib di Jakarta, konjungsi belum terjadi, serta moonset sebelum sunset. Esok harinya Selasa, 16 Oktober (29 Dzulhijjah menurut IR), posisi bulan sudah cukup tinggi di Jakarta saat maghrib. Ketinggian bulan lebih dari 11 derajat, sudut elongasi lebih dari 13 derajat, iluminasi bulan 1,34%, dan kriteria Odeh menyatakan bahwa "Easily Visible By Naked Eye". Dengan demikian 1 Dzulhijjah akan jatuh pada Rabu, 17 Oktober.

Di Arab Saudi Insya Allah 1 Dzulhijjah juga akan jatuh pada Rabu, 17 Oktober. Di Makkah pada Senin, 15 Oktober saat maghrib, konjungsi sudah terjadi tetapi moonset terjadi sebelum sunset sehingga tidak mungkin dapat dirukyat. Semoga saja tidak terjadi false sighting (salah lihat) dimana ada yang mengaku melihat hilal tetapi sebetulnya yang dilihat tersebut secara astronomis bulan hilal.

Jadi wuquf di Arafah 9 Dzulhijjah akan jatuh pada Kamis, 25 Oktober. Hari Raya Iedul Adha jatuh pada Jumat 26 Oktober, dilanjutkan dengan 3 hari Tasyriq pada Sabtu – Senin, 27 – 29 Oktober. Umur bulan Dzulhijjah sebanyak 29 hari.

Keterangan–keterangan di atas adalah berkenaan dengan tahun 1433 H. Selanjutnya Tahun Baru Hijriyah 1 Muharram 1434 H akan jatuh pada Kamis, 15 November. Puasa 10 Muharram 1434 H = Sabtu, 24 November. Puasa tengah bulan Muharram = Selasa – Kamis, 27 – 29 November.

Terakhir, 1 Shafar 1434 H = Jumat, 14 Desember (menurut WH), atau Sabtu, 15 Desember (menurut IR). Umur bulan Muharram adalah 29 hari (menurut WH) atau 30 hari (menurut IR). Puasa tengah bulan Shafar = Rabu – Jumat, 26 – 28 Desember (menurut WH), atau Kamis – Sabtu, 27 – 29 Desember (menurut IR).

Data–data di atas dapat disusun ke dalam tabel sebagai berikut

Bulan Hijriyah (IR)	Awal (WH)	Awal (IR)	Umur (WH)	Umur
Shafar 1433 H	26 Desember 2011	26 Desember 2011	30 hari	30 hari
Rabi'ul Awwal 1433 H	25 Januari 2012	25 Januari 2012	29 hari	30 hari
Rabi'ul Akhir 1433 H	23 Februari 2012	24 Februari 2012	30 hari	29 hari
Jumadil Awwal 1433 H	24 Maret 2012	24 Maret 2012	30 hari	30 hari
Jumadil Akhir 1433 H	23 April 2012	23 April 2012	29 hari	30 hari
Rajab 1433 H	22 Mei 2012	23 Mei 2012	30 hari	29 hari
Sya'ban 1433 H	21 Juni 2012	21 Juni 2012	29 hari	30 hari
Ramadhan 1433 H	20 Juli 2012	21 Juli 2012	30 hari	29 hari
Syawwal 1433 H	19 Agustus 2012	19 Agustus 2012	29 hari	30 hari
Dzulqa'dah 1433 H	17 September 2012	18 September 2012	30 hari	29 hari
Dzulhijjah 1433 H	17 Oktober 2012	17 Oktober 2012	29 hari	29 hari

Muharram 1434 H	15 November 2012	15 November 2012	29 hari	30 hari
Shafar 1434 H	14 Desember 2012	15 Desember 2012		

(Cara memahami tabel di atas adalah sebagai berikut. Misalnya bulan Rabi'ul Awwal 1433 H. Awal atau tanggal 1 Rabi'ul Awwal 1433 H menurut WH = 25 Januari 2012. Umur bulan Rabi'ul Awwal 1433 H menurut WH = 29 hari, sehingga 1 Rabi'ul Akhir menurut WH adalah 23 Februari 2012.)

7.1.2. Hari-hari besar non-Islam

Ada beberapa hari besar non-Islam yang berkenaan dengan perhitungan astronomis. Adapun hari-hari besar non-Islam yang tidak ada hubungannya dengan perhitungan astronomis (seperti hari Natal setiap 25 Desember) tidak akan dibicarakan disini.

Kalender China berdasarkan atas gabungan kalender bulan dan matahari (lunisolar calendar). Penentuan Tahun Baru China atau Imlek adalah sebagai berikut. Koordinat tempat ditetapkan di Beijing, ibukota China yang memiliki waktu lokal = UT + 8. Awal bulan pada kalender China berdasarkan pada fase bulan baru (new moon). Titik balik musim dingin (winter solstice), atau saat ketika matahari berada pada deklinasi paling negatif di belahan bumi selatan selalu berada pada bulan ke 11 dalam kalender China.

Tahun 2011, winter solstice terjadi pada 22 Desember pukul 05:30 UT atau pukul 13:30 waktu lokal Beijing. Dua buah fase bulan baru setelah winter solstice ini berturut-turut terjadi pada 25 Desember 2011 pukul 02:06 waktu Beijing dan 23 Januari 2012 pukul 15:39 waktu Beijing. Karena itu tanggal 25 Desember 2011 adalah awal bulan ke 12, sehingga 23 Januari 2012 sebagai awal bulan ke 1 dari tahun China berikutnya. Jadi Tahun Baru China terjadi pada 23 Januari 2012.

Hari Paskah (Easter Day) menurut Meeus dalam bukunya *Astronomical Algorithm* dirumuskan sebagai berikut. Hari Paskah adalah hari Minggu pertama setelah fase bulan purnama yang terjadi pada atau setelah ekuinoks Maret. Pada tahun 2012 ekuinoks Maret terjadi pada tanggal 20 Maret pukul 05:14 UT. Kemudian, fase bulan purnama setelah ekuinoks Maret tersebut terjadi pada tanggal 6 April pukul 19:19 UT, sehingga

hari Minggu Paskah jatuh pada tanggal 8 April 2012. Di kalender disebutkan tentang hari libur Jumat Paskah, yang berarti sama dengan tanggal 6 April 2012.

Selanjutnya, hari libur kenaikan Isa Al Masih menurut keyakinan Kristen dirayakan 40 hari setelah hari Paskah, namun selalu diambil hari Kamis. Jika hari libur Paskah yang diambil adalah Jumat, 6 April maka 40 hari berikutnya adalah Rabu, 16 Mei. Hari Kamisnya adalah 17 Mei, dan inilah hari libur kenaikan Isa Al Masih.

Hari Raya Waisak dalam agama Budha bertepatan dengan fase bulan purnama pada bulan Mei. Pada tahun 2012 di bulan Mei, fase bulan purnama terjadi tanggal 6 pukul 10:35 WIB. Karena itu hari libur Waisak jatuh pada Ahad, 6 Mei 2012.

Hari Raya Nyepi pada tahun 2012 jatuh pada Jumat, 23 Maret. Hari Raya ini sama dengan Tahun Baru Saka 1934, dimana angka $1934 = 2012 - 78$. Tahun Saka dimulai sejak tahun 78 Masehi.

7.1.3. Ekuinoks dan Solstice

Seperti diketahui, matahari bergerak semu terhadap garis khatulistiwa bumi, dimana dua kali terletak tepat pada garis khatulistiwa (ekuinoks Maret dan September), satu kali di titik balik Utara (June solstice), dan satu kali terletak pada titik balik Selatan (December solstice). Pada tahun 2012, keempat moment tersebut terjadi pada

- ekuinoks Maret tanggal 20 pukul 05:14 UT
- titik balik Juni tanggal 20 pukul 23:09 UT
- ekuinoks September tanggal 22 pukul 14:49 UT
- titik balik Desember tanggal 21 pukul 11:11 UT.

7.1.4. Gerhana dan transit

Gerhana matahari cincin akan terjadi pada tanggal 20 Mei yang melewati Asia Timur, sebelah Utara Samudra Pasifik, dan bagian Barat Amerika. Gerhana sebagian akan nampak di sebagian besar Asia, Laut pasifik dan Amerika Utara.

Gerhana bulan sebagian akan terjadi pada tanggal 4 Juni. Gerhana ini bisa diamati di Indonesia khususnya Jawa, Sumatra dan Kalimantan. Awal fase Umbra terjadi pada pukul 10 UT atau 17 WIB, dan akhir fase Umbra terjadi pada pukul 12:06 UT atau pukul 19:06 UT. Karena itu gerhana bulan sebagian ini diamati di Indonesia pada saat bulan sedang terbit (moonrise).

Gerhana matahari total akan terjadi pada tanggal 13 November. Daerah-daerah yang merasakan lintasan gerhana total dimulai dari Australia Utara dan melalui Samudra Pasifik.

Gerhana bulan penumbral akan terjadi pada 28 November.

Fenomena transit planet, yaitu ketika planet melewati muka matahari dan terlihat dari bumi hanya terjadi untuk planet Merkurius dan Venus. Pada tanggal 5 atau 6 Juni (bergantung dari dimanakah tempat di bumi yang dapat melihat), akan terjadi transit planet Venus. Transit planet Venus ini, dimulai dari tanggal 5 Juni pukul 22:10 UT (atau 6 Juni pukul 5:10 WIB) dan berakhir tanggal 6 Juni pukul 04:50 UT (atau 6 Juni pukul 11:50 WIB). Dari Indonesia, fenomena transit planet Venus ini akan dapat diamati pada tanggal 6 Juni dimulai dari sekitar matahari terbit hingga menjelang siang hari.

7.1.5. Hari Meluruskan Arah Kiblat

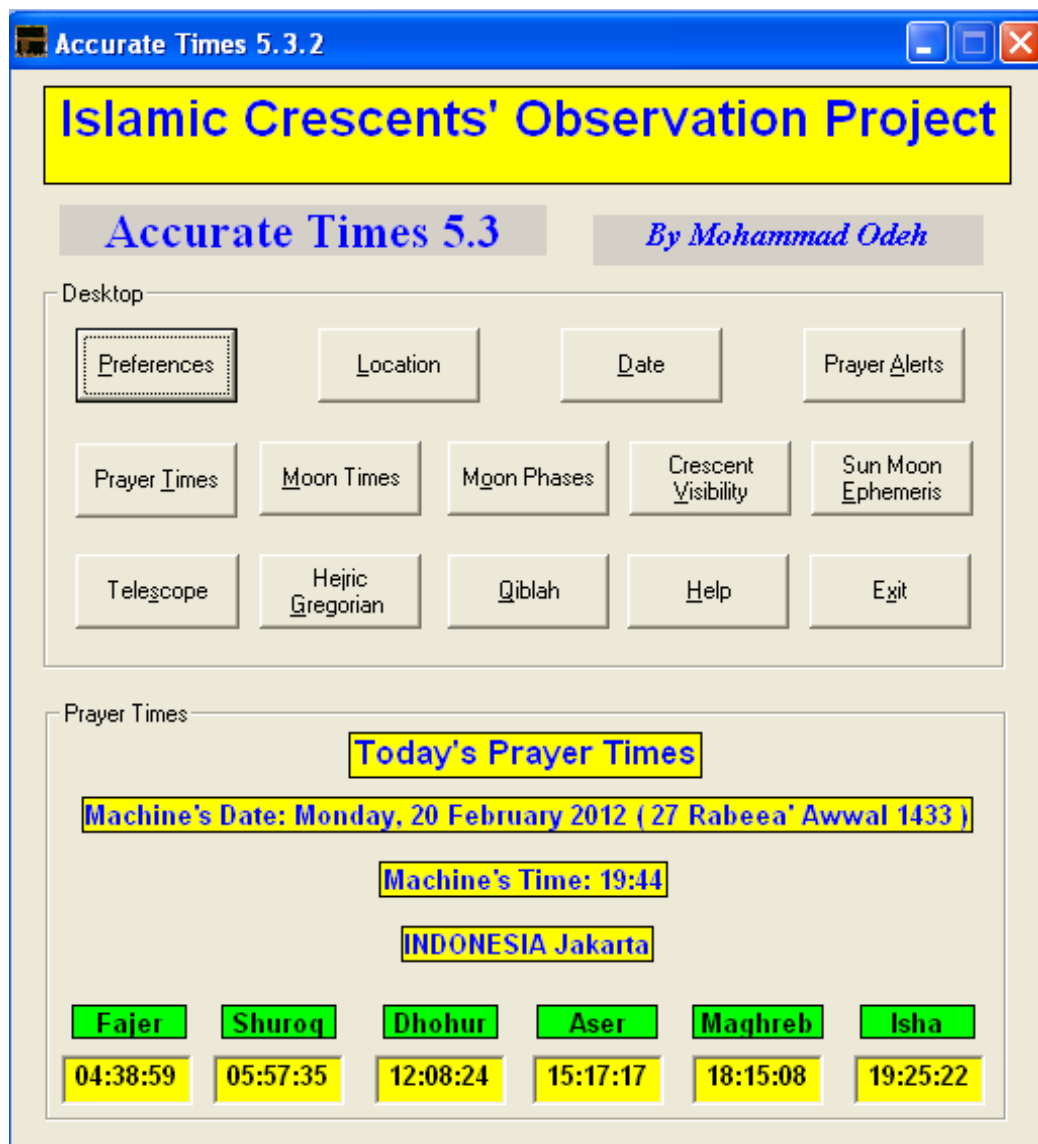
Setiap tahun, matahari berada di atas Ka'bah sebanyak dua kali, sehingga seluruh bayangan benda oleh sinar matahari akan menghadap ke arah Ka'bah. Karena 2012 merupakan tahun kabisat, maka peristiwa itu akan terjadi pada tanggal 27 Mei pukul 12:18 waktu lokal Saudi atau pukul 16:18 WIB, serta pada tanggal 15 Juli pukul 12:27 waktu lokal Saudi atau pukul 16:27 WIB. Pengamatan ini masih bisa dilakukan pada rentang dua hari sebelum dan sesudahnya, serta pada waktu sekitar tiga menit sebelum dan sesudahnya.

7.2. Mengenal software Accurate Times

Software Accurate Times merupakan software yang direkomendasikan untuk dimiliki oleh setiap orang yang bergelut dalam ilmu falak. Accurate Times dirancang oleh Muhammad Odeh (Audah) yang merupakan pendiri organisasi nirlaba Islamic Crescent Observation Project (ICOP) dan berpusat di Yordania. Accurate Times dapat diunduh di URL

<http://www.icoproject.org/accut.html#dow>

Versi Accurate Times terakhir sampai dengan buku ini ditulis adalah versi 5.3.2.



Gambar 7.1. Accurate Times

Ketika diinstall di dalam komputer, maka biasanya dipilih seluruh file tersimpan di dalam folder C:\Program Files\Accurate Times\. Di dalam folder tersebut, terdapat file `accu.exe` yang ketika di-klik akan menjalankan program Accurate Times. Ada beberapa file-file penting lainnya yang perlu diketahui.

- File `elp.ode` paling baik dibuka dengan (Open with) Wordpad. Di dalam file tersebut terdapat 1324 baris suku-suku koreksi dari algoritma ELP untuk menentukan posisi bulan.
- File `mterm.ode` mengandung 183 baris suku-suku untuk menghitung nutasi dan obliquity rotasi bumi.
- File `termfull.ode` mengandung 2425 baris suku-suku koreksi dari algoritma VSOP87 untuk menentukan posisi matahari.
- File `term.ode` mengandung 248 baris suku-suku koreksi dari algoritma Meeus untuk menentukan posisi matahari.
- File `loc.txt` mengandung daftar kota-kota di seluruh dunia, lengkap dengan koordinat bujur dan lintang geografis, zona waktu lokal dan ketinggian tempat.

Setelah diinstall, maka tampilan Accurate Times adalah seperti pada Gambar 7.1.

Preferences

Disini terdapat beberapa pilihan yang berhubungan dengan waktu sholat, seperti

- Twilight yaitu pemilihan sudut altitude untuk twilight atau sudut untuk waktu Fajr (Shubuh) dan Isya. Fajr sendiri disebutkan berarti beginning of twilight, sedang Isya berarti end of twilight. Maksudnya, waktu sebelum Fajr langit tampak gelap, demikian juga waktu setelah Isya. Pilihan yang tersedia adalah Standard, yaitu sudut 18 untuk Fajr dan 18 untuk Isya, yang maksudnya sudut 18 derajat di bawah ufuk atau altitude -18 derajat. Angka 18 ini biasanya angka standar dirujuk dalam referensi astronomi sebagai batas dari astronomical twilight. Pilihan yang lain adalah dari Egyptian General Authority of Survey dengan sudut berturut-turut 19,5 dan 17,5, Islamic Society of North America sebesar 18 dan 18, World Moslem League sebesar 18 dan 17, University of Islamic Sciences, Karachi sebesar 18 dan 18. Selain itu juga ada Custom,

dimana kita bisa memilih sendiri, sebagai contoh sudut 20 untuk Fajr dan 18 untuk Isya, seperti yang biasa digunakan di Indonesia oleh Departemen Agama. Satu hal yang jelas, perbedaan satu derajat saja akan menyebabkan terjadinya perbedaan datangnya waktu sholat hingga beberapa menit lamanya.

- Addition, yaitu penambahan (addition) beberapa menit untuk datangnya waktu sholat Zhuhur, Ashr dan Maghrib, serta pengurangan (subtract) beberapa menit untuk datangnya waktu sholat Fajr. Opsi ini berfungsi sebagai kehati-hatian (ikhtiyath). Yang menarik, jika angka negatif (misalnya -1) dimasukkan pada penambahan, itu berarti mengurangi atau mempercepat datangnya waktu sholat, sedangkan jika angka negatif dimasukkan pada pengurangan maka berarti menambahkan atau mengundurkan datangnya waktu sholat. Sayangnya, tidak ada opsi penambahan untuk datangnya waktu sholat Isya, demikian juga opsi pengurangan untuk datangnya terbit matahari. Disini, khusus untuk waktu Zhuhur perlu diisikan waktu penambahan minimal 2 menit, sebab jika 0 menit, maka itu adalah waktu transit atau waktu ketika titik pusat matahari tepat melewati garis meridian yang membelah langit dari titik utara ke titik selatan. Padahal Zhuhur dimulai sejak matahari tergelincir ke sebelah barat, sebab ada hadits Nabi yang melarang sholat tepat saat tengah hari. Hal ini perlu dituliskan, sebab secara default, dalam Accurate Times ini penambahan Zhuhur adalah 0 menit.
- Summer Time. Untuk kita yang berada di Indonesia, tentu pilihannya adalah No Summer Time. Sedangkan bagi mereka yang tinggal di negara yang menerapkan Daylight Saving Time, maka opsi Consider Summer Time yang harus dipilih, dengan waktu mulai dan berakhirnya disesuaikan dengan negara tempat tinggal.
- Asar Prayer. Yang biasa digunakan adalah Standard atau Jumhur, yaitu datangnya waktu Ashar adalah ketika panjang bayangan saat itu sama dengan satu kali tinggi benda ditambah panjang bayangan saat transit. Sedangkan jika dipilih Hanafi, maka datangnya waktu Ashar adalah ketika panjang bayangan saat itu sama dengan dua kali tinggi benda ditambah panjang bayangan saat transit. Tentu waktu Ashar menurut Hanafi akan lebih mundur datangnya dibandingkan dengan menurut Jumhur.

- Precision. Ada dua opsi, waktu sholat dinyatakan dalam menit atau detik. Jika dalam menit, maka maksudnya adalah pembulatan ke menit terdekat. Sebagai contoh kalau 12:08:18 dibulatkan ke 12:08, sedangkan 15:16:32 dibulatkan ke 15:17. Menurut saya, sebaiknya pembulatan itu ke atas, demi kehati-hatian (12:08:18 dibulatkan ke 12:09).
- Elevation. Opsi “Height above sea level affect rise and set events” (ketinggian di atas permukaan laut akan mempengaruhi waktu peristiwa terbit dan terbenam) harus diberi tanda $\sqrt{}$.
- Opsi High latitude Alternative Prayer Times yaitu Enable Alternative Prayer Time Calculation bisa dipilih, meskipun itu tidak berpengaruh bagi yang tinggal di Indonesia (karena Indonesia bukan high latitude).
- Opsi Language ada dua yaitu Inggris dan Arab.

Location

Accurate Times sudah menyediakan sekitar 2000 tempat di seluruh dunia berikut nama negara dan kota. Sayangnya untuk Indonesia hanya ada 8 kota, yaitu Bandung, Biak, Bogor, Denpasar, Jakarta, Medan, Manado dan Surabaya. Kota-kota besar lainnya harus kita tambahkan sendiri. Untuk menambahkan, ketik nama negara dan kota, kemudian isi bujur (longitude) hingga menit busur atau detik busur dengan E untuk bujur timur dan W untuk bujur barat, kemudian isi lintang (latitude) dengan N untuk lintang utara dan S untuk lintang selatan. Isi pula time zona atau zona waktu lokal yaitu selisih antara waktu lokal dengan Greenwich. Untuk yang berada di timur Greenwich diberi angka positif, sedangkan di barat Greenwich diberi angka negatif. Ketinggian (elevation) tempat di atas permukaan laut juga bisa diisi angka. Jika diisi angka positif, maka semakin besar angkanya, maka Shuroq (terbit matahari) semakin awal, sedang maghrib (terbenam matahari) semakin mundur. Sebaliknya, jika diisi angka negatif, maka terbit matahari semakin mundur sedangkan terbenam matahari semakin awal. Angka negatif itu berarti tempat tersebut berada di bawah permukaan laut. Refraction biasa diisi suhu 10 derajat C dan tekanan 1010 mb (1 atmosfer). Adapun City Setting, jika diisi angka beberapa km maka akan berpengaruh pada awal waktu Fajr dan Shuroq.

Untuk melakukan perubahan pada bujur, lintang, zona waktu atau ketinggian, maka klik Modify, kemudian OK. Sedangkan untuk menambahkan tempat baru, klik Add, kemudian OK.

Date

Ada tiga opsi untuk date setting, yaitu menggunakan waktu pada sistem anda (komputer anda), waktu dipilih untuk satu hari tertentu saja, dan waktu dipilih untuk rentang hari tertentu. Setting ini akan berpengaruh pada perhitungan waktu sholat, waktu-waktu bulan (moon times) saat terbit, transit dan terbenam, serta waktu untuk menentukan arah kiblat (qibleh times) menggunakan bayangan matahari.

Prayer Alert

Ini adalah penanda menjelang datangnya adzan.

Prayer Times

Disini kita akan memperoleh waktu-waktu sholat, dimana tanggalnya sesuai dengan date setting yang kita pilih sebelumnya (ada tiga opsi, silakan lihat tentang Date di atas), demikian juga bergantung pada Preference dan Location.

Moon Times

Disini akan disajikan data kapan bulan terbit (moon rise), bulan transit dan bulan terbenam (moon set). Sayangnya tidak diberikan data di azimuth berapa bulan terbit dan terbenam, serta pada ketinggian dan azimuth berapa bulan mengalami transit. Tanggal sesuai dengan date setting serta bergantung pula pada location.

Moon Phases

Menu ini akan menampilkan pilihan koordinat secara geosentrik atau toposentrik. Juga waktu bisa dipilih local UT maupun Local TDT. Maksud Local UT adalah waktu lokal di suatu tempat (bukan waktu di Greenwich) dengan sudah memperhitungkan nilai Delta T. Sedangkan Local TDT adalah waktu lokal di suatu tempat tetapi belum memperhitungkan Delta T. Seperti diketahui, Waktu UT = Waktu TD - Delta T. Nilai Delta T juga bisa diisi sendiri. Hasilnya akan menampilkan fase-fase bulan dalam

satu tahun tertentu, bergantung dari presisi (menit atau detik) dan ada tidaknya Summer Time di dalam Preferences, serta lokasi.

Crescent Visibility

Menu ini akan menampilkan data visibilitas bulan sabit.

- Dimulai dari menentukan kapan kira-kira terjadi konjungsi. Bisa dipilih menurut tanggal Gregorian, atau menurut bulan dan tahun Hijriyah. Selanjutnya tekan Preview.
- Ada dua opsi bulan sabit, yaitu bulan sabit muda (new crescent) atau bulan sabit tua (old crescent). Jika mengubah salah satunya, kembali tekan Preview.
- Perhitungan juga ada dua opsi, yaitu secara geosentrik atau toposentrik. Jika semula geosentrik lalu ingin diubah ke toposentrik, atau sebaliknya, maka juga tekan Preview.
- Day of Calculation terdiri dari tiga opsi, yaitu tanggal yang sama dengan tanggal terjadinya konjungsi, tanggal sehari setelah tanggal konjungsi, dan tanggal dua hari setelah tanggal konjungsi.
- Selanjutnya, waktu perhitungan (time of calculation) juga bisa dipilih. Jika new crescent, maka pilihan waktu perhitungan adalah apakah pada saat matahari terbenam (sunset), saat bulan terbenam (moonset), saat waktu terbaik (best time) di antara sunset dan moonset, atau pada waktu lokal tertentu. Sedangkan jika old crescent, maka pilihan waktu perhitungan adalah apakah pada saat matahari terbit (sunrise), saat bulan terbit (moonrise), saat waktu terbaik (best time) di antara moonrise dan sunrise, atau pada waktu lokal tertentu.
- Setelah semua dipilih sesuai dengan diinginkan, tekan Calculate.

Hasilnya adalah data-data yang meliputi:

- bulan dan tahun Hijriyah sesuai pilihan, new atau old crescent
- tanggal perhitungan visibilitas bulan sabit tersebut
- waktu perhitungan bulan sabit (apakah sunrise/sunset, moonrise/moonset, best time atau waktu lokal tertentu)
- tipe perhitungan (geosentrik yang ditandai huruf G, atau toposentrik huruf T)
- tempat pengamatan sesuai location

- setting ada tidaknya summer time
- dipilih tidaknya opsi "Height above mean sea-level affects rise and set events" pada Preferences
- setting suhu dan tekanan udara
- nilai Delta T.

Selanjutnya disajikan hasil-hasil sebagai berikut:

- kapan terjadinya konjungsi (secara geosentrik atau toposentrik tergantung pilihan)
- konversi waktu konjungsi tersebut ke Julian Date (Julian Day)
- waktu pada tanggal tersebut kapan matahari dan bulan terbit/terbenam
- moon age (selisih antara waktu saat bulan terbit/terbenam dengan waktu terjadinya konjungsi)
- moon lag time (selisih antara bulan terbit/terbenam dengan matahari terbit/terbenam).

Kemudian ditampilkan data-data secara numerik posisi bulan dan matahari pada saat perhitungan dilakukan (lihat Calculations are done at ...), yang meliputi :

- right ascension
- deklinasi
- bujur ekliptika (longitude)
- lintang ekliptika (latitude)
- ketinggian dari horison (altitude)
- sudut arah mata angin (azimuth)
- ketinggian relatif (relative altitude) yaitu selisih antara altitude bulan dengan altitude matahari
- azimuth relatif (relative azimuth) yaitu selisih antara azimuth bulan dengan azimuth matahari
- sudut elongasi (elongation) yaitu sudut antara bulan, matahari dan bumi
- sudut fase bulan (phase angle)
- lebar bulan sabit (crescent width)

- luasan cakram bulan yang memantulkan cahaya matahari yang menghadap ke bumi (illumination)
- sudut jari-jari bulan (moon semi-diameter), yaitu sudut perbandingan antara jari-jari bulan dengan jarak bumi-bulan
- sudut parallaks bulan (horizontal parallax)
- magnitude cahaya bulan sabit
- jarak bumi-bulan.

Berdasarkan data-data tersebut kemudian disajikan kesimpulan visibilitas bulan sabit (the crescent visibility) berupa satu kesimpulan dari beberapa kemungkinan di bawah ini:

- Easily Visible by Naked Eye
- Could be Seen by Naked Eye
- Need Optical Aid
- Not Possible
- Impossible

Disini ada perbedaan antara Not Possible dengan Impossible. Not Possible berarti secara perhitungan, misalnya pada new crescent, moonset terjadi setelah sunset tetapi selisih waktunya sangat dekat sehingga nilai illumination juga sangat kecil. Sedangkan Impossible, misalnya pada new crescent, maka yang terjadi moonset sebelum sunset, atau pada saat moonset konjungsi belum terjadi.

Kembali ke menu Crescent Visibility, jika yang diklik adalah Crescent Visibility Map, maka akan ditampilkan Crescent Visibility World Map. Jika mouse komputer kita gerakan di atas peta tersebut, maka akan tertera data bujur dan lintang geografis yang ditunjukkan oleh mouse tersebut. Ada tiga kriteria yang ditawarkan di situ, yaitu kriteria Odeh, Yallop dan SAAO. Kemudian ada tiga pilihan tanggal yang bisa dipilih salah satu. Kemudian klik Draw untuk menggambar peta visibilitas bulan sabit di seluruh dunia pada tanggal yang dipilih tersebut. Warna pada peta tersebut menggambarkan visibilitas bulan sabit, misalnya Merah untuk Impossible, Tak ada warna untuk Not Possible, Biru untuk Need Optical Aid, Magenta untuk Could be Seen by Naked Eye,

Hijau untuk Easily Visible by Naked Eye, dan Sian untuk Unknown. Akhirnya setelah seluruh peta selesai digambar, peta visibilitas bulan sabit tersebut dapat disimpan dengan mengklik Save Image.

Sun Moon Ephemeris

Menu ini adalah untuk menentukan posisi matahari dan bulan dalam rentang waktu tertentu

- Pilih obyek: sun atau moon
- Pilih time reference: local (UT1) atau local (TD1). Local UT berarti sudah memperhitungkan nilai Delta T, sedangkan local TDT belum.
- Pilih location reference: geocentric yaitu berbasis di pusat bumi, atau topocentric yaitu berbasis di lokasi tertentu di permukaan bumi
- Pilih Start Local Time dan End Local Time, mulai dari tahun, bulan dan seterusnya hingga detik.
- Pilih Increment (penambahan) berupa angka dengan satuan hari, jam, menit atau detik.
- Summer Time tidak perlu diklik untuk kasus di Indonesia.
- Selanjutnya tekan Calculate

Hasilnya adalah data ephemeris untuk matahari/bulan di tempat lokasi yang sudah ditentukan sebelumnya. Data posisi yang diperoleh antara lain R. A. (Right Ascension), Declination, Altitude, Azimuth, Lintang ekliptika (Latitude), Bujur ekliptika (Longitude), Jarak, Semi Diameter (SD), sudut parallax dan nilai Delta T.

Terdapat pula menu Telescope, tetapi saya belum banyak mengetahui cara kerja menu ini.

Hejric Gregorian

Ini merupakan menu untuk melakukan konversi dari Hijriyah ke Masehi atau sebaliknya. Tanggal Hiriya paling awal adalah 1 Muharram 1 H yang bersesuaian dengan 16 Juli 622 M. Yang menarik, konversi ini sudah memperhitungkan peralihan kalender Julian ke Gregorian, yaitu dari 4 Oktober 1582 M (16 Ramadhan 990 H) ke 15 Oktober 1582 M (17 Ramadhan 990 H). Namun ada yang lucu, konversi itu bisa

digunakan untuk menkonversi tahun yang sangat besar, seperti tanggal 1 Muharram tahun 10000000 H (tahun sepuluh juta Hijriyah) bertepatan dengan Selasa 16 Mei tahun 9702851 M, tetapi sebaliknya tidak bisa karena akan mengakibatkan error.

Perlu dicatat disini, konversi kalender ini tidak menggunakan kriteria visibilitas bulan sabit, sehingga perbedaan satu hari dimungkinkan.

Qiblah

Pada menu kiblat, arah kiblat dapat ditentukan dari suatu lokasi tertentu, yang dinyatakan oleh angka azimuth beserta arahnya. Selanjutnya pada Qiblah Times, ada dua alternatif, yaitu waktu ketika matahari berada pada arah kiblat, dan waktu ketika bayangan matahari berada pada arah kiblat. Untuk memperoleh waktu-waktu tersebut, klik Find Qiblah Times. Sedangkan untuk mengetahui peta kiblat dari seluruh dunia, klik Show Qiblah Map.

Di bagian bawah menu tersebut terdapat jadwal sholat di kota yang kita pilih pada tanggal yang sesuai dengan tanggal di komputer.

Saya merekomendasikan software ini karena software ini sangat akurat dalam menentukan posisi matahari dan bulan, sebab sudah memasukkan suku-suku koreksi algoritma VSOP dan ELP.

REFERENSI

Untuk dapat menulis buku ini, saya telah banyak memperoleh manfaat dari referensi berikut ini.

Buku

- Bao-Lin Liu dan Alan D. Fiala, *Canon of Lunar Eclipses 1500 B.C. – A.D. 3000*, Willmann–Bell, Virginia (1992).
- Hannu Karttunen, et.al., *Fundamental Astronomy*, Springer (2007)
- Jean Meeus, *Astronomical Algorithm*, Willmann–Bell, Virginia (1991).
- Jean Meeus, *Astronomical Tables of the Sun, Moon and Planets*, Willmann–Bell, Virginia (1983).
- Jean Meeus, *Elements of Solar Eclipses 1551–2200*, Willmann–Bell, Virginia (1989).
- Jean Meeus, *Mathematical Astronomy Morsel*, Willmann–Bell, Virginia (1997).
- Jean Meeus, *More Mathematical Astronomy Morsel*, Willmann–Bell, Virginia (2002).
- Kenneth Seidelmann dkk, *Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac*, University Science Books, California (2006).
- Michelle Chapront-Touze dan Jean Chapront: *Lunar Table and Programs from 4000 B.C. to A.D. 8000*, Willmann–Bell, Virginia (1991).
- Mohammad Ilyas: *Astronomy of Islamic Times for the Twenty-first Century*, A.S. Noordeen, Kuala Lumpur (1999).
- Nachum Dershowitz dan Edward M. Reingold: *Calendrical Calculation*, Cambridge University Press (2008).
- Nur Ahmad SS: *Risalatul Falak Nurul Anwar*, Kudus (1986).
- Oliver Montenbruck, *Practical Ephemeris Calculation*, Springer–Verlag, Berlin (1989).
- Peter D. Smith: *Practical Astronomy with Your Calculator*, Cambridge University Press (1995).
- William M. Smart, *Textbook on Spherical Astronomy*, Cambridge University Press (1931).

Artikel

- Kamal Abdali, The Correct Qibla (1997).
- NASA, Five Millennium Catalog of Solar Eclipses.
- T. Vincenty: *Direct and Inverse Solutions of Geodesics on the Ellipsoid with application of nested equations*, Survey Review, vol XXII no 176 (1975).

Software

- Accurate Times v. 5.3.2.
- Google Earth v.5

Lampiran 1

Suku–suku periodik untuk menentukan bujur ekliptika bumi, lintang ekliptika bumi dan jarak bumi – matahari menurut algoritma Meeus

Bujur ekliptika (L0)

A	B	C
175347046	0	0
3341656	4.6692568	6283.07585
34894	4.6261	12566.1517
3497	2.7441	5753.3849
3418	2.8289	3.5231
3136	3.6277	77713.7715
2676	4.4181	7860.4194
2343	6.1352	3930.2097
1324	0.7425	11506.7698
1273	2.0371	529.691
1199	1.1096	1577.3435
990	5.233	5884.927
902	2.045	26.298
857	3.508	398.149
780	1.179	5223.694
753	2.533	5507.553
505	4.583	18849.228
492	4.205	775.523
357	2.92	0.067
317	5.849	11790.629
284	1.899	796.298
271	0.315	10977.079
243	0.345	5486.778
206	4.806	2544.314
205	1.869	5573.143
202	2.458	6069.777
156	0.833	213.299
132	3.411	2942.463
126	1.083	20.775
115	0.645	0.98
103	0.636	4694.003
102	0.976	15720.839
102	4.267	7.114
99	6.21	2146.17
98	0.68	155.42
86	5.98	161000.69
85	1.3	6275.96
85	3.67	71430.7

80	1.81	17260.15
79	3.04	12036.46
75	1.76	5088.63
74	3.5	3154.69
74	4.68	801.82
70	0.83	9437.76
62	3.98	8827.39
61	1.82	7084.9
57	2.78	6286.6
56	4.39	14143.5
56	3.47	6279.55
52	0.19	12139.55
52	1.33	1748.02
51	0.28	5856.48
49	0.49	1194.45
41	5.37	8429.24
41	2.4	19651.05
39	6.17	10447.39
37	6.04	10213.29
37	2.57	1059.38
36	1.71	2352.87
36	1.78	6812.77
33	0.59	17789.85
30	0.44	83996.85
30	2.74	1349.87
25	3.16	4690.48

Bujur ekliptika (L1)

A	B	C
628331966747	0	0
206059	2.678235	6283.07585
4303	2.6351	12566.1517
425	1.59	3.523
119	5.796	26.298
109	2.966	1577.344
93	2.59	18849.23
72	1.14	529.69
68	1.87	398.15
67	4.41	5507.55
59	2.89	5223.69
56	2.17	155.42
45	0.4	796.3
36	0.47	775.52
29	2.65	7.11
21	5.34	0.98
19	1.85	5486.78

19	4.97	213.3
17	2.99	6275.96
16	0.03	2544.31
16	1.43	2146.17
15	1.21	10977.08
12	2.83	1748.02
12	3.26	5088.63
12	5.27	1194.45
12	2.08	4694
11	0.77	553.57
10	1.3	6286.6
10	4.24	1349.87
9	2.7	242.73
9	5.64	951.72
8	5.3	2352.87
6	2.65	9437.76
6	4.67	4690.48

Bujur ekliptika (L2)

A	B	C
52919	0	0
8720	1.0721	6283.0758
309	0.867	12566.152
27	0.05	3.52
16	5.19	26.3
16	3.68	155.42
10	0.76	18849.23
9	2.06	77713.77
7	0.83	775.52
5	4.66	1577.34
4	1.03	7.11
4	3.44	5573.14
3	5.14	796.3
3	6.05	5507.55
3	1.19	242.73
3	6.12	529.69
3	0.31	398.15
3	2.28	553.57
2	4.38	5223.69
2	3.75	0.98

Bujur ekliptika (L3)

A	B	C
289	5.844	6283.076

35	0	0
17	5.49	12566.15
3	5.2	155.42
1	4.72	3.52
1	5.3	18849.23
1	5.97	242.73

Bujur ekliptika (L4)

A	B	C
114	3.142	0
8	4.13	6283.08
1	3.84	12566.15

Bujur ekliptika (L5)

A	B	C
1	3.14	0

Lintang ekliptika (B0)

A	B	C
280	3.199	84334.662
102	5.422	5507.553
80	3.88	5223.69
44	3.7	2352.87
32	4	1577.34

Lintang ekliptika (B1)

A	B	C
9	3.9	5507.55
6	1.73	5223.69

Jarak bumi–matahari (R0)

A	B	C
100013989	0	0
1670700	3.0984635	6283.07585

13956	3.05525	12566.1517
3084	5.1985	77713.7715
1628	1.1739	5753.3849
1576	2.8469	7860.4194
925	5.453	11506.77
542	4.564	3930.21
472	3.661	5884.927
346	0.964	5507.553
329	5.9	5223.694
307	0.299	5573.143
243	4.273	11790.629
212	5.847	1577.344
186	5.022	10977.079
175	3.012	18849.228
110	5.055	5486.778
98	0.89	6069.78
86	5.69	15720.84
86	1.27	161000.69
65	0.27	17260.15
63	0.92	529.69
57	2.01	83996.85
56	5.24	71430.7
49	3.25	2544.31
47	2.58	775.52
45	5.54	9437.76
43	6.01	6275.96
39	5.36	4694
38	2.39	8827.39
37	0.83	19651.05
37	4.9	12139.55
36	1.67	12036.46
35	1.84	2942.46
33	0.24	7084.9
32	0.18	5088.63
32	1.78	398.15
28	1.21	6286.6
28	1.9	6279.55
26	4.59	10447.39

Jarak bumi–matahari (R1)

A	B	C
103019	1.10749	6283.07585
1721	1.0644	12566.1517
702	3.142	0
32	1.02	18849.23
31	2.84	5507.55

25	1.32	5223.69
18	1.42	1577.34
10	5.91	10977.08
9	1.42	6275.96
9	0.27	5486.78

Jarak bumi–matahari (R2)

A	B	C
4359	5.7846	6283.0758
124	5.579	12566.152
12	3.14	0
9	3.63	77713.77
6	1.87	5573.14
3	5.47	18849.23

Jarak bumi–matahari (R3)

A	B	C
145	4.273	6283.076
7	3.92	12566.15

Jarak bumi–matahari (R4)

A	B	C
4	2.56	6283.08

Lampiran 2

Suku–suku periodik untuk menentukan bujur ekliptika bulan, lintang ekliptika bulan dan jarak bumi – bulan menurut algoritma Meeus

Koreksi suku periodik untuk bujur ekliptika bulan (sinus)

D	M	M'	F	koefisien (sepersejuta derajat)
0	0	1	0	6288774
2	0	–1	0	1274027
2	0	0	0	658314
0	0	2	0	213618
0	1	0	0	–185116
0	0	0	2	–114332
2	0	–2	0	58793
2	–1	–1	0	57066
2	0	1	0	53322
2	–1	0	0	45758
0	1	–1	0	–40923
1	0	0	0	–34720
0	1	1	0	–30383
2	0	0	–2	15327
0	0	1	2	–12528
0	0	1	–2	10980
4	0	–1	0	10675
0	0	3	0	10034
4	0	–2	0	8548
2	1	–1	0	–7888
2	1	0	0	–6766
1	0	–1	0	–5163
1	1	0	0	4987
2	–1	1	0	4036
2	0	2	0	3994
4	0	0	0	3861
2	0	–3	0	3665
0	1	–2	0	–2689
2	0	–1	2	–2602
2	–1	–2	0	2390
1	0	1	0	–2348
2	–2	0	0	2236
0	1	2	0	–2120
0	2	0	0	–2069
2	–2	–1	0	2048
2	0	1	–2	–1773
2	0	0	2	–1595
4	–1	–1	0	1215
0	0	2	2	–1110

3	0	-1	0	-892
2	1	1	0	-810
4	-1	-2	0	759
0	2	-1	0	-713
2	2	-1	0	-700
2	1	-2	0	691
2	-1	0	-2	596
4	0	1	0	549
0	0	4	0	537
4	-1	0	0	520
1	0	-2	0	-487
2	1	0	-2	-399
0	0	2	-2	-381
1	1	1	0	351
3	0	-2	0	-340
4	0	-3	0	330
2	-1	2	0	327
0	2	1	0	-323
1	1	-1	0	299
2	0	3	0	294

Koreksi suku periodik untuk lintang ekliptika bulan (sinus)

D	M	M'	F	koefisien (sepersejuta derajat)
0	0	0	1	5128122
0	0	1	1	280602
0	0	1	-1	277693
2	0	0	-1	173237
2	0	-1	1	55413
2	0	-1	-1	46271
2	0	0	1	32573
0	0	2	1	17198
2	0	1	-1	9266
0	0	2	-1	8822
2	-1	0	-1	8216
2	0	-2	-1	4324
2	0	1	1	4200
2	1	0	-1	-3359
2	-1	-1	1	2463
2	-1	0	1	2211
2	-1	-1	-1	2065
0	1	-1	-1	-1870
4	0	-1	-1	1828
0	1	0	1	-1794
0	0	0	3	-1749

0	1	-1	1	-1565
1	0	0	1	-1491
0	1	1	1	-1475
0	1	1	-1	-1410
0	1	0	-1	-1344
1	0	0	-1	-1335
0	0	3	1	1107
4	0	0	-1	1021
4	0	-1	1	833
0	0	1	-3	777
4	0	-2	1	671
2	0	0	-3	607
2	0	2	-1	596
2	-1	1	-1	491
2	0	-2	1	-451
0	0	3	-1	439
2	0	2	1	422
2	0	-3	-1	421
2	1	-1	1	-366
2	1	0	1	-351
4	0	0	1	331
2	-1	1	1	315
2	-2	0	-1	302
0	0	1	3	-283
2	1	1	-1	-229
1	1	0	-1	223
1	1	0	1	223
0	1	-2	-1	-220
2	1	-1	-1	-220
1	0	1	1	-185
2	-1	-2	-1	181
0	1	2	1	-177
4	0	-2	-1	176
4	-1	-1	-1	166
1	0	1	-1	-164
4	0	1	-1	132
1	0	-1	-1	-119
4	-1	0	-1	115
2	-2	0	1	107

Koreksi suku periodik untuk jarak bumi-bulan (cosinus)

D	M	M'	F	koefisien (m)
0	0	1	0	-20905355
2	0	-1	0	-3699111

2	0	0	0	-2955968
0	0	2	0	-569925
2	0	-2	0	246158
2	-1	0	0	-204586
2	0	1	0	-170733
2	-1	-1	0	-152138
0	1	-1	0	-129620
1	0	0	0	108743
0	1	1	0	104755
0	0	1	-2	79661
0	1	0	0	48888
4	0	-1	0	-34782
2	1	0	0	30824
2	1	-1	0	24208
0	0	3	0	-23210
4	0	-2	0	-21636
1	1	0	0	-16675
2	0	-3	0	14403
2	-1	1	0	-12831
4	0	0	0	-11650
2	0	2	0	-10445
2	0	0	-2	10321
2	-1	-2	0	10056
2	-2	0	0	-9884
2	0	-1	-2	8752
1	0	-1	0	-8379
0	1	-2	0	-7003
1	0	1	0	6322
0	1	2	0	5751
2	-2	-1	0	-4950
0	0	2	-2	-4421
2	0	1	-2	4130
4	-1	-1	0	-3958
3	0	-1	0	3258
0	0	0	2	-3149
2	1	1	0	2616
2	2	-1	0	2354
0	2	-1	0	-2117
4	-1	-2	0	-1897
1	0	-2	0	-1739
4	-1	0	0	-1571
4	0	1	0	-1423
0	2	1	0	1165
0	0	4	0	-1117

Lampiran 3

Daftar Fase–fase bulan menurut perhitungan NASA menggunakan algoritma Meeus selama 50 tahun antara tahun 2001 – 2050.

Tipe Gerhana Matahari (Solar Eclipse):

T = Total

A = Annular (Cincin)

H = Hybrid (Gabungan Cincin dan Total)

P = Parsial

Tipe Gerhana Bulan (Lunar Eclipse):

t = Total (Umbral)

p = Parsial (Umbral)

n = Penumbral

Gerhana Matahari terjadi pada fase New Moon.

Gerhana Bulan terjadi pada fase Full Moon.

Tahun	New Moon			First Quarter			Full Moon			Last Quarter		
2001				Jan	2	22:31	Jan	9	20:24 t	Jan	16	12:35
	Jan	24	13:07	Feb	1	14:02	Feb	8	7:12	Feb	15	3:24
	Feb	23	8:21	Mar	3	2:03	Mar	9	17:23	Mar	16	20:45
	Mar	25	1:21	Apr	1	10:49	Apr	8	3:22	Apr	15	15:31
	Apr	23	15:26	Apr	30	17:08	Mei	7	13:53	Mei	15	10:11
	Mei	23	2:46	Mei	29	22:09	Jun	6	1:39	Jun	14	3:28
	Jun	21	11:58 T	Jun	28	3:20	Jul	5	15:04 p	Jul	13	18:45
	Jul	20	19:44	Jul	27	10:08	Agt	4	5:56	Agt	12	7:53
	Agt	19	2:55	Agt	25	19:55	Sep	2	21:43	Sep	10	19:00
	Sep	17	10:27	Sep	24	9:31	Okt	2	13:49	Okt	10	4:20
	Okt	16	19:23	Okt	24	2:58	Nov	1	5:41	Nov	8	12:21
	Nov	15	6:40	Nov	22	23:21	Nov	30	20:49	Des	7	19:52
	Des	14	20:48 A	Des	22	20:56	Des	30	10:41 n			
2002										Jan	6	3:55
	Jan	13	13:29	Jan	21	17:47	Jan	28	22:50	Feb	4	13:33
	Feb	12	7:41	Feb	20	12:02	Feb	27	9:17	Mar	6	1:25
	Mar	14	2:03	Mar	22	2:28	Mar	28	18:25	Apr	4	15:29
	Apr	12	19:21	Apr	20	12:48	Apr	27	3:00	Mei	4	7:16
	Mei	12	10:45	Mei	19	19:42	Mei	26	11:51 n	Jun	3	0:05
	Jun	10	23:47 A	Jun	18	0:29	Jun	24	21:42 n	Jul	2	17:19
	Jul	10	10:26	Jul	17	4:47	Jul	24	9:07	Agt	1	10:22
	Agt	8	19:15	Agt	15	10:12	Agt	22	22:29	Agt	31	2:31
	Sep	7	3:10	Sep	13	18:08	Sep	21	13:59	Sep	29	17:03
	Okt	6	11:17	Okt	13	5:33	Okt	21	7:20	Okt	29	5:28

2003	Nov	4	20:34	Nov	11	20:52	Nov	20	01:34 n	Nov	27	15:46
	Des	4	07:34 T	Des	11	15:49	Des	19	19:10	Des	27	0:31
	Jan	2	20:23	Jan	10	13:15	Jan	18	10:48	Jan	25	8:33
	Feb	1	10:48	Feb	9	11:11	Feb	16	23:51	Feb	23	16:46
	Mar	3	2:35	Mar	11	7:15	Mar	18	10:34	Mar	25	1:51
	Apr	1	19:19	Apr	9	23:40	Apr	16	19:36	Apr	23	12:18
	Mei	1	12:15	Mei	9	11:53	Mei	16	03:36 t	Mei	23	0:31
	Mei	31	4:20 A	Jun	7	20:28	Jun	14	11:16	Jun	21	14:45
	Jun	29	18:39	Jul	7	2:32	Jul	13	19:21	Jul	21	7:01
	Jul	29	6:53	Agt	5	7:28	Agt	12	4:48	Agt	20	0:48
	Agt	27	17:26	Sep	3	12:34	Sep	10	16:36	Sep	18	19:03
	Sep	26	3:09	Okt	2	19:09	Okt	10	7:27	Okt	18	12:31
	Okt	25	12:50	Nov	1	4:25	Nov	9	01:14 t	Nov	17	4:15
	Nov	23	22:59 T	Nov	30	17:16	Des	8	20:37	Des	16	17:42
	Des	23	9:43	Des	30	10:03						
2004							Jan	7	15:40	Jan	15	4:46
	Jan	21	21:05	Jan	29	6:03	Feb	6	8:47	Feb	13	13:40
	Feb	20	9:18	Feb	28	3:24	Mar	6	23:14	Mar	13	21:01
	Mar	20	22:41	Mar	28	23:48	Apr	5	11:03	Apr	12	3:46
	Apr	19	13:21 P	Apr	27	17:32	Mei	4	20:33 t	Mei	11	11:04
	Mei	19	4:52	Mei	27	7:57	Jun	3	4:20	Jun	9	20:02
	Jun	17	20:27	Jun	25	19:08	Jul	2	11:09	Jul	9	7:34
	Jul	17	11:24	Jul	25	3:37	Jul	31	18:05	Agt	7	22:01
	Agt	16	1:24	Agt	23	10:12	Agt	30	2:22	Sep	6	15:11
	Sep	14	14:29	Sep	21	15:54	Sep	28	13:09	Okt	6	10:12
	Okt	14	2:48 P	Okt	20	21:59	Okt	28	03:07 t	Nov	5	5:53
	Nov	12	14:27	Nov	19	5:50	Nov	26	20:07	Des	5	0:53
	Des	12	1:29	Des	18	16:40	Des	26	15:06			
2005										Jan	3	17:46
	Jan	10	12:03	Jan	17	6:58	Jan	25	10:32	Feb	2	7:27
	Feb	8	22:28	Feb	16	0:16	Feb	24	4:54	Mar	3	17:36
	Mar	10	9:10	Mar	17	19:19	Mar	25	20:58	Apr	2	0:50
	Apr	8	20:32 H	Apr	16	14:37	Apr	24	10:06 n	Mei	1	6:24
	Mei	8	8:45	Mei	16	8:56	Mei	23	20:18	Mei	30	11:47
	Jun	6	21:55	Jun	15	1:22	Jun	22	4:14	Jun	28	18:23
	Jul	6	12:03	Jul	14	15:20	Jul	21	11:00	Jul	28	3:19
	Agt	5	3:05	Agt	13	2:39	Agt	19	17:53	Agt	26	15:18
	Sep	3	18:45	Sep	11	11:37	Sep	18	2:01	Sep	25	6:41
	Okt	3	10:28 A	Okt	10	19:01	Okt	17	12:14 p	Okt	25	1:17
	Nov	2	1:25	Nov	9	1:57	Nov	16	0:58	Nov	23	22:11
	Des	1	15:01	Des	8	9:36	Des	15	16:16	Des	23	19:36
	Des	31	3:12									

2006				Jan	6	18:57	Jan	14	9:48	Jan	22	15:14
	Jan	29	14:15	Feb	5	6:29	Feb	13	4:44	Feb	21	7:17
	Feb	28	0:31	Mar	6	20:16	Mar	14	23:35 n	Mar	22	19:10
	Mar	29	10:15 T	Apr	5	12:01	Apr	13	16:40	Apr	21	3:28
	Apr	27	19:44	Mei	5	5:13	Mei	13	6:51	Mei	20	9:21
	Mei	27	5:26	Jun	3	23:06	Jun	11	18:03	Jun	18	14:08
	Jun	25	16:05	Jul	3	16:37	Jul	11	3:02	Jul	17	19:13
	Jul	25	4:31	Agt	2	8:46	Agt	9	10:54	Agt	16	1:51
	Agt	23	19:10	Agt	31	22:56	Sep	7	18:42 p	Sep	14	11:15
	Sep	22	11:45 A	Sep	30	11:04	Okt	7	3:13	Okt	14	0:25
	Okt	22	5:14	Okt	29	21:25	Nov	5	12:58	Nov	12	17:45
	Nov	20	22:18	Nov	28	6:29	Des	5	0:25	Des	12	14:32
	Des	20	14:01	Des	27	14:48						
2007							Jan	3	13:57	Jan	11	12:45
	Jan	19	4:01	Jan	25	23:02	Feb	2	5:45	Feb	10	9:51
	Feb	17	16:14	Feb	24	7:56	Mar	3	23:17 t	Mar	12	3:54
	Mar	19	2:43 P	Mar	25	18:16	Apr	2	17:15	Apr	10	18:04
	Apr	17	11:36	Apr	24	6:36	Mei	2	10:09	Mei	10	4:27
	Mei	16	19:27	Mei	23	21:03	Jun	1	1:04	Jun	8	11:43
	Jun	15	3:13	Jun	22	13:15	Jun	30	13:49	Jul	7	16:54
	Jul	14	12:04	Jul	22	6:29	Jul	30	0:48	Agt	5	21:20
	Agt	12	23:03	Agt	20	23:54	Agt	28	10:35 t	Sep	4	2:33
	Sep	11	12:44 P	Sep	19	16:48	Sep	26	19:45	Okt	3	10:06
	Okt	11	5:01	Okt	19	8:33	Okt	26	4:52	Nov	1	21:18
	Nov	9	23:03	Nov	17	22:32	Nov	24	14:30	Des	1	12:44
	Des	9	17:40	Des	17	10:17	Des	24	1:16	Des	31	7:51
2008				Jan	15	19:46	Jan	22	13:35	Jan	30	5:03
	Feb	7	3:44 A	Feb	14	3:34	Feb	21	03:31 t	Feb	29	2:18
	Mar	7	17:14	Mar	14	10:46	Mar	21	18:40	Mar	29	21:47
	Apr	6	3:55	Apr	12	18:32	Apr	20	10:25	Apr	28	14:12
	Mei	5	12:18	Mei	12	3:47	Mei	20	2:11	Mei	28	2:57
	Jun	3	19:23	Jun	10	15:04	Jun	18	17:30	Jun	26	12:10
	Jul	3	2:19	Jul	10	4:35	Jul	18	7:59	Jul	25	18:42
	Agt	1	10:13 T	Agt	8	20:20	Agt	16	21:16 p	Agt	23	23:50
	Agt	30	19:58	Sep	7	14:04	Sep	15	9:13	Sep	22	5:04
	Sep	29	8:12	Okt	7	9:04	Okt	14	20:03	Okt	21	11:55
	Okt	28	23:14	Nov	6	4:04	Nov	13	6:17	Nov	19	21:31
	Nov	27	16:55	Des	5	21:26	Des	12	16:37	Des	19	10:29
	Des	27	12:23									
2009				Jan	4	11:56	Jan	11	3:27	Jan	18	2:46
	Jan	26	7:55 A	Feb	2	23:13	Feb	9	14:49 n	Feb	16	21:37
	Feb	25	1:35	Mar	4	7:46	Mar	11	2:38	Mar	18	17:47

	Mar	26	16:06		Apr	2	14:34		Apr	9	14:56		Apr	17	13:36
	Apr	25	3:23		Mei	1	20:44		Mei	9	4:01		Mei	17	7:26
	Mei	24	12:11		Mei	31	3:22		Jun	7	18:12		Jun	15	22:15
	Jun	22	19:35		Jun	29	11:28		Jul	7	09:21 n		Jul	15	9:53
	Jul	22	02:35 T		Jul	28	22:00		Agt	6	00:55 n		Agt	13	18:55
	Agt	20	10:01		Agt	27	11:42		Sep	4	16:03		Sep	12	2:16
	Sep	18	18:44		Sep	26	4:50		Okt	4	6:10		Okt	11	8:56
	Okt	18	5:33		Okt	26	0:42		Nov	2	19:14		Nov	9	15:56
	Nov	16	19:14		Nov	24	21:39		Des	2	7:30		Des	9	0:13
	Des	16	12:02		Des	24	17:36		Des	31	19:13 p				
2010													Jan	7	10:40
	Jan	15	7:11 A		Jan	23	10:53		Jan	30	6:18		Feb	5	23:49
	Feb	14	2:51		Feb	22	0:42		Feb	28	16:38		Mar	7	15:42
	Mar	15	21:01		Mar	23	11:00		Mar	30	2:25		Apr	6	9:37
	Apr	14	12:29		Apr	21	18:20		Apr	28	12:18		Mei	6	4:15
	Mei	14	1:04		Mei	20	23:43		Mei	27	23:07		Jun	4	22:13
	Jun	12	11:15		Jun	19	4:30		Jun	26	11:30 p		Jul	4	14:35
	Jul	11	19:40 T		Jul	18	10:11		Jul	26	1:37		Agt	3	4:59
	Agt	10	3:08		Agt	16	18:14		Agt	24	17:05		Sep	1	17:22
	Sep	8	10:30		Sep	15	5:50		Sep	23	9:17		Okt	1	3:52
	Okt	7	18:44		Okt	14	21:27		Okt	23	1:36		Okt	30	12:46
	Nov	6	4:52		Nov	13	16:39		Nov	21	17:27		Nov	28	20:36
	Des	5	17:36		Des	13	13:59		Des	21	08:13 t		Des	28	4:18
2011	Jan	4	9:03 P		Jan	12	11:31		Jan	19	21:21		Jan	26	12:57
	Feb	3	2:31		Feb	11	7:18		Feb	18	8:36		Feb	24	23:26
	Mar	4	20:46		Mar	12	23:45		Mar	19	18:10		Mar	26	12:07
	Apr	3	14:32		Apr	11	12:05		Apr	18	2:44		Apr	25	2:47
	Mei	3	6:51		Mei	10	20:33		Mei	17	11:09		Mei	24	18:52
	Jun	1	21:03 P		Jun	9	2:11		Jun	15	20:13 t		Jun	23	11:48
	Jul	1	8:54 P		Jul	8	6:29		Jul	15	6:40		Jul	23	5:02
	Jul	30	18:40		Agt	6	11:08		Agt	13	18:58		Agt	21	21:55
	Agt	29	3:04		Sep	4	17:39		Sep	12	9:27		Sep	20	13:39
	Sep	27	11:09		Okt	4	3:15		Okt	12	2:06		Okt	20	3:30
	Okt	26	19:56		Nov	2	16:38		Nov	10	20:16		Nov	18	15:09
	Nov	25	6:10 P		Des	2	9:52		Des	10	14:36 t		Des	18	0:48
	Des	24	18:06												
2012					Jan	1	6:15		Jan	9	7:30		Jan	16	9:08
	Jan	23	7:39		Jan	31	4:10		Feb	7	21:54		Feb	14	17:04
	Feb	21	22:35		Mar	1	1:22		Mar	8	9:40		Mar	15	1:25
	Mar	22	14:37		Mar	30	19:41		Apr	6	19:19		Apr	13	10:50
	Apr	21	7:18		Apr	29	9:58		Mei	6	3:35		Mei	12	21:47
	Mei	20	23:47 A		Mei	28	20:16		Jun	4	11:12 p		Jun	11	10:41

	Jun	19	15:02	Jun	27	3:30	Jul	3	18:52	Jul	11	1:48
	Jul	19	4:24	Jul	26	8:56	Agt	2	3:27	Agt	9	18:55
	Agt	17	15:54	Agt	24	13:54	Agt	31	13:58	Sep	8	13:15
	Sep	16	2:11	Sep	22	19:41	Sep	30	3:19	Okt	8	7:33
	Okt	15	12:02	Okt	22	3:32	Okt	29	19:50	Nov	7	0:36
	Nov	13	22:08 T	Nov	20	14:31	Nov	28	14:46 n	Des	6	15:32
	Des	13	8:42	Des	20	5:19	Des	28	10:21			
2013										Jan	5	3:58
	Jan	11	19:44	Jan	18	23:45	Jan	27	4:38	Feb	3	13:56
	Feb	10	7:20	Feb	17	20:31	Feb	25	20:26	Mar	4	21:53
	Mar	11	19:51	Mar	19	17:27	Mar	27	9:27	Apr	3	4:37
	Apr	10	9:35	Apr	18	12:31	Apr	25	19:57 p	Mei	2	11:14
	Mei	10	12:29 A	Mei	18	4:35	Mei	25	04:25 n	Mei	31	18:58
	Jun	8	15:56	Jun	16	17:24	Jun	23	11:32	Jun	30	4:54
	Jul	8	7:14	Jul	16	3:18	Jul	22	18:15	Jul	29	17:43
	Agt	6	21:51	Agt	14	10:56	Agt	21	1:45	Agt	28	9:35
	Sep	5	11:36	Sep	12	17:08	Sep	19	11:13	Sep	27	3:56
	Okt	5	0:35	Okt	11	23:02	Okt	18	23:38 n	Okt	26	23:41
	Nov	3	12:50 H	Nov	10	5:57	Nov	17	15:16	Nov	25	19:28
	Des	3	0:22	Des	9	15:12	Des	17	9:28	Des	25	13:48
2014	Jan	1	11:14	Jan	8	3:39	Jan	16	4:52	Jan	24	5:19
	Jan	30	21:39	Feb	6	19:22	Feb	14	23:53	Feb	22	17:15
	Mar	1	8:00	Mar	8	13:27	Mar	16	17:09	Mar	24	1:46
	Mar	30	18:45	Apr	7	8:31	Apr	15	07:42 t	Apr	22	7:52
	Apr	29	6:14 A	Mei	7	3:15	Mei	14	19:16	Mei	21	12:59
	Mei	28	18:40	Jun	5	20:39	Jun	13	4:11	Jun	19	18:39
	Jun	27	8:09	Jul	5	11:59	Jul	12	11:25	Jul	19	2:08
	Jul	26	22:42	Agt	4	0:50	Agt	10	18:09	Agt	17	12:26
	Agt	25	14:13	Sep	2	11:11	Sep	9	1:38	Sep	16	2:05
	Sep	24	6:14	Okt	1	19:33	Okt	8	10:51 t	Okt	15	19:12
	Okt	23	21:57 P	Okt	31	2:48	Nov	6	22:23	Nov	14	15:16
	Nov	22	12:32	Nov	29	10:06	Des	6	12:27	Des	14	12:51
	Des	22	1:36	Des	28	18:31						
2015							Jan	5	4:53	Jan	13	9:47
	Jan	20	13:14	Jan	27	4:48	Feb	3	23:09	Feb	12	3:50
	Feb	18	23:47	Feb	25	17:14	Mar	5	18:06	Mar	13	17:48
	Mar	20	09:36 T	Mar	27	7:43	Apr	4	12:06 p	Apr	12	3:44
	Apr	18	18:57	Apr	25	23:55	Mei	4	3:42	Mei	11	10:36
	Mei	18	4:13	Mei	25	17:19	Jun	2	16:19	Jun	9	15:42
	Jun	16	14:05	Jun	24	11:03	Jul	2	2:20	Jul	8	20:24
	Jul	16	1:24	Jul	24	4:04	Jul	31	10:43	Agt	7	2:03
	Agt	14	14:54	Agt	22	19:31	Agt	29	18:35	Sep	5	9:54

	Sep	13	6:41 P	Sep	21	8:59	Sep	28	02:50 t	Okt	4	21:06
	Okt	13	0:06	Okt	20	20:31	Okt	27	12:05	Nov	3	12:24
	Nov	11	17:47	Nov	19	6:27	Nov	25	22:44	Des	3	7:40
	Des	11	10:29	Des	18	15:14	Des	25	11:11			
2016										Jan	2	5:30
	Jan	10	1:30	Jan	16	23:26	Jan	24	1:46	Feb	1	3:28
	Feb	8	14:39	Feb	15	7:46	Feb	22	18:20	Mar	1	23:11
	Mar	9	01:54 T	Mar	15	17:03	Mar	23	12:01 n	Mar	31	15:17
	Apr	7	11:24	Apr	14	3:59	Apr	22	5:24	Apr	30	3:29
	Mei	6	19:30	Mei	13	17:02	Mei	21	21:15	Mei	29	12:12
	Jun	5	3:00	Jun	12	8:10	Jun	20	11:02	Jun	27	18:19
	Jul	4	11:01	Jul	12	0:52	Jul	19	22:57	Jul	26	23:00
	Agt	2	20:45	Agt	10	18:21	Agt	18	9:27	Agt	25	3:41
	Sep	1	9:03 A	Sep	9	11:49	Sep	16	19:05 n	Sep	23	9:56
	Okt	1	0:12	Okt	9	4:33	Okt	16	4:23	Okt	22	19:14
	Okt	30	17:38	Nov	7	19:51	Nov	14	13:52	Nov	21	8:33
	Nov	29	12:18	Des	7	9:03	Des	14	0:06	Des	21	1:56
	Des	29	6:53									
2017				Jan	5	19:47	Jan	12	11:34	Jan	19	22:14
	Jan	28	0:07	Feb	4	4:19	Feb	11	00:33 n	Feb	18	19:33
	Feb	26	14:58 A	Mar	5	11:32	Mar	12	14:54	Mar	20	15:58
	Mar	28	2:57	Apr	3	18:39	Apr	11	6:08	Apr	19	9:57
	Apr	26	12:16	Mei	3	2:47	Mei	10	21:43	Mei	19	0:33
	Mei	25	19:44	Jun	1	12:42	Jun	9	13:10	Jun	17	11:33
	Jun	24	2:31	Jul	1	0:51	Jul	9	4:07	Jul	16	19:26
	Jul	23	9:46	Jul	30	15:23	Agt	7	18:11 p	Agt	15	1:15
	Agt	21	18:30 T	Agt	29	8:13	Sep	6	7:03	Sep	13	6:25
	Sep	20	5:30	Sep	28	2:54	Okt	5	18:40	Okt	12	12:25
	Okt	19	19:12	Okt	27	22:22	Nov	4	5:23	Nov	10	20:37
	Nov	18	11:42	Nov	26	17:03	Des	3	15:47	Des	10	7:51
	Des	18	6:31	Des	26	9:20						
2018							Jan	2	2:24	Jan	8	22:25
	Jan	17	2:17	Jan	24	22:20	Jan	31	13:27 t	Feb	7	15:54
	Feb	15	21:05 P	Feb	23	8:09	Mar	2	0:51	Mar	9	11:20
	Mar	17	13:12	Mar	24	15:35	Mar	31	12:37	Apr	8	7:18
	Apr	16	1:57	Apr	22	21:46	Apr	30	0:58	Mei	8	2:09
	Mei	15	11:48	Mei	22	3:49	Mei	29	14:20	Jun	6	18:32
	Jun	13	19:43	Jun	20	10:51	Jun	28	4:53	Jul	6	7:51
	Jul	13	2:48 P	Jul	19	19:52	Jul	27	20:20 t	Agt	4	18:18
	Agt	11	9:58 P	Agt	18	7:49	Agt	26	11:56	Sep	3	2:37
	Sep	9	18:01	Sep	16	23:15	Sep	25	2:53	Okt	2	9:45
	Okt	9	3:47	Okt	16	18:02	Okt	24	16:45	Okt	31	16:40

	Nov	7	16:02	Nov	15	14:54	Nov	23	5:39	Nov	30	0:19
	Des	7	7:20	Des	15	11:49	Des	22	17:49	Des	29	9:34
2019	Jan	6	1:28 P	Jan	14	6:45	Jan	21	05:16 t	Jan	27	21:10
	Feb	4	21:04	Feb	12	22:26	Feb	19	15:53	Feb	26	11:28
	Mar	6	16:04	Mar	14	10:27	Mar	21	1:43	Mar	28	4:10
	Apr	5	8:50	Apr	12	19:06	Apr	19	11:12	Apr	26	22:18
	Mei	4	22:45	Mei	12	1:12	Mei	18	21:11	Mei	26	16:33
	Jun	3	10:02	Jun	10	5:59	Jun	17	8:31	Jun	25	9:46
	Jul	2	19:16 T	Jul	9	10:55	Jul	16	21:38 p	Jul	25	1:18
	Agt	1	3:12	Agt	7	17:31	Agt	15	12:29	Agt	23	14:56
	Agt	30	10:37	Sep	6	3:10	Sep	14	4:33	Sep	22	2:41
	Sep	28	18:26	Okt	5	16:47	Okt	13	21:08	Okt	21	12:39
	Okt	28	3:38	Nov	4	10:23	Nov	12	13:34	Nov	19	21:11
	Nov	26	15:06	Des	4	6:58	Des	12	5:12	Des	19	4:57
	Des	26	5:13 A									
2020				Jan	3	4:45	Jan	10	19:21 n	Jan	17	12:58
	Jan	24	21:42	Feb	2	1:42	Feb	9	7:33	Feb	15	22:17
	Feb	23	15:32	Mar	2	19:57	Mar	9	17:48	Mar	16	9:34
	Mar	24	9:28	Apr	1	10:21	Apr	8	2:35	Apr	14	22:56
	Apr	23	2:26	Apr	30	20:38	Mei	7	10:45	Mei	14	14:03
	Mei	22	17:39	Mei	30	3:30	Jun	5	19:12 n	Jun	13	6:24
	Jun	21	6:41 A	Jun	28	8:16	Jul	5	04:44 n	Jul	12	23:29
	Jul	20	17:33	Jul	27	12:32	Agt	3	15:59	Agt	11	16:45
	Agt	19	2:41	Agt	25	17:58	Sep	2	5:22	Sep	10	9:26
	Sep	17	11:00	Sep	24	1:55	Okt	1	21:05	Okt	10	0:39
	Okt	16	19:31	Okt	23	13:23	Okt	31	14:49	Nov	8	13:46
	Nov	15	5:07	Nov	22	4:45	Nov	30	09:30 n	Des	8	0:37
	Des	14	16:17 T	Des	21	23:41	Des	30	3:28			
2021										Jan	6	9:37
	Jan	13	5:00	Jan	20	21:02	Jan	28	19:16	Feb	4	17:37
	Feb	11	19:06	Feb	19	18:47	Feb	27	8:17	Mar	6	1:30
	Mar	13	10:21	Mar	21	14:40	Mar	28	18:48	Apr	4	10:02
	Apr	12	2:31	Apr	20	6:59	Apr	27	3:31	Mei	3	19:50
	Mei	11	19:00	Mei	19	19:13	Mei	26	11:14 t	Jun	2	7:24
	Jun	10	10:53 A	Jun	18	3:54	Jun	24	18:40	Jul	1	21:11
	Jul	10	1:17	Jul	17	10:11	Jul	24	2:37	Jul	31	13:16
	Agt	8	13:50	Agt	15	15:20	Agt	22	12:02	Agt	30	7:13
	Sep	7	0:52	Sep	13	20:39	Sep	20	23:55	Sep	29	1:57
	Okt	6	11:05	Okt	13	3:25	Okt	20	14:57	Okt	28	20:05
	Nov	4	21:15	Nov	11	12:46	Nov	19	8:58 p	Nov	27	12:28
	Des	4	07:43 T	Des	11	1:36	Des	19	4:36	Des	27	2:24
2022	Jan	2	18:33	Jan	9	18:11	Jan	17	23:49	Jan	25	13:41

	Feb	1	5:46	Feb	8	13:50	Feb	16	16:57	Feb	23	22:32
	Mar	2	17:35	Mar	10	10:45	Mar	18	7:17	Mar	25	5:37
	Apr	1	6:24	Apr	9	6:47	Apr	16	18:55	Apr	23	11:56
	Apr	30	20:28 P	Mei	9	0:21	Mei	16	04:14 t	Mei	22	18:43
	Mei	30	11:30	Jun	7	14:48	Jun	14	11:52	Jun	21	3:11
	Jun	29	2:52	Jul	7	2:14	Jul	13	18:37	Jul	20	14:18
	Jul	28	17:55	Agt	5	11:06	Agt	12	1:36	Agt	19	4:36
	Agt	27	8:17	Sep	3	18:08	Sep	10	9:59	Sep	17	21:52
	Sep	25	21:54	Okt	3	0:14	Okt	9	20:55	Okt	17	17:15
	Okt	25	10:49 P	Nov	1	6:37	Nov	8	11:02 t	Nov	16	13:27
	Nov	23	22:57	Nov	30	14:36	Des	8	4:08	Des	16	8:56
	Des	23	10:17	Des	30	1:21						
2023							Jan	6	23:08	Jan	15	2:10
	Jan	21	20:53	Jan	28	15:19	Feb	5	18:29	Feb	13	16:01
	Feb	20	7:06	Feb	27	8:06	Mar	7	12:40	Mar	15	2:08
	Mar	21	17:23	Mar	29	2:32	Apr	6	4:35	Apr	13	9:11
	Apr	20	04:12 H	Apr	27	21:20	Mei	5	17:34 n	Mei	12	14:28
	Mei	19	15:53	Mei	27	15:22	Jun	4	3:42	Jun	10	19:31
	Jun	18	4:37	Jun	26	7:50	Jul	3	11:39	Jul	10	1:48
	Jul	17	18:32	Jul	25	22:07	Agt	1	18:31	Agt	8	10:28
	Agt	16	9:38	Agt	24	9:57	Agt	31	1:35	Sep	6	22:21
	Sep	15	1:40	Sep	22	19:32	Sep	29	9:57	Okt	6	13:48
	Okt	14	17:55 A	Okt	22	3:29	Okt	28	20:24 p	Nov	5	8:37
	Nov	13	9:27	Nov	20	10:50	Nov	27	9:16	Des	5	5:49
	Des	12	23:32	Des	19	18:39	Des	27	0:33			
2024										Jan	4	3:30
	Jan	11	11:57	Jan	18	3:53	Jan	25	17:54	Feb	2	23:18
	Feb	9	22:59	Feb	16	15:01	Feb	24	12:30	Mar	3	15:24
	Mar	10	9:00	Mar	17	4:11	Mar	25	07:00 n	Apr	2	3:15
	Apr	8	18:21 T	Apr	15	19:13	Apr	23	23:49	Mei	1	11:27
	Mei	8	3:22	Mei	15	11:48	Mei	23	13:53	Mei	30	17:13
	Jun	6	12:38	Jun	14	5:18	Jun	22	1:08	Jun	28	21:53
	Jul	5	22:57	Jul	13	22:49	Jul	21	10:17	Jul	28	2:51
	Agt	4	11:13	Agt	12	15:19	Agt	19	18:26	Agt	26	9:26
	Sep	3	1:55	Sep	11	6:06	Sep	18	2:34 p	Sep	24	18:50
	Okt	2	18:49 A	Okt	10	18:55	Okt	17	11:26	Okt	24	8:03
	Nov	1	12:47	Nov	9	5:56	Nov	15	21:29	Nov	23	1:28
	Des	1	6:21	Des	8	15:27	Des	15	9:02	Des	22	22:18
	Des	30	22:27									
2025				Jan	6	23:56	Jan	13	22:27	Jan	21	20:31
	Jan	29	12:36	Feb	5	8:02	Feb	12	13:53	Feb	20	17:33
	Feb	28	0:45	Mar	6	16:32	Mar	14	06:55 t	Mar	22	11:30

	Mar	29	10:58 P	Apr	5	2:15	Apr	13	0:22	Apr	21	1:36
	Apr	27	19:31	Mei	4	13:52	Mei	12	16:56	Mei	20	11:59
	Mei	27	3:02	Jun	3	3:41	Jun	11	7:44	Jun	18	19:19
	Jun	25	10:31	Jul	2	19:30	Jul	10	20:37	Jul	18	0:38
	Jul	24	19:11	Agt	1	12:41	Agt	9	7:55	Agt	16	5:12
	Agt	23	6:06	Agt	31	6:25	Sep	7	18:09 t	Sep	14	10:33
	Sep	21	19:54 P	Sep	29	23:54	Okt	7	3:47	Okt	13	18:13
	Okt	21	12:25	Okt	29	16:21	Nov	5	13:19	Nov	12	5:28
	Nov	20	6:47	Nov	28	6:59	Des	4	23:14	Des	11	20:52
	Des	20	1:43	Des	27	19:10						
2026							Jan	3	10:03	Jan	10	15:48
	Jan	18	19:52	Jan	26	4:47	Feb	1	22:09	Feb	9	12:43
	Feb	17	12:01 A	Feb	24	12:28	Mar	3	11:38 t	Mar	11	9:39
	Mar	19	1:23	Mar	25	19:18	Apr	2	2:12	Apr	10	4:52
	Apr	17	11:52	Apr	24	2:32	Mei	1	17:23	Mei	9	21:10
	Mei	16	20:01	Mei	23	11:11	Mei	31	8:45	Jun	8	10:00
	Jun	15	2:54	Jun	21	21:55	Jun	29	23:57	Jul	7	19:29
	Jul	14	9:43	Jul	21	11:06	Jul	29	14:36	Agt	6	2:21
	Agt	12	17:37 T	Agt	20	2:46	Agt	28	4:18 p	Sep	4	7:51
	Sep	11	3:27	Sep	18	20:44	Sep	26	16:49	Okt	3	13:25
	Okt	10	15:50	Okt	18	16:13	Okt	26	4:12	Nov	1	20:28
	Nov	9	7:02	Nov	17	11:48	Nov	24	14:53	Des	1	6:09
	Des	9	0:52	Des	17	5:43	Des	24	1:28	Des	30	18:59
2027	Jan	7	20:24	Jan	15	20:34	Jan	22	12:17	Jan	29	10:55
	Feb	6	15:56 A	Feb	14	7:58	Feb	20	23:23 n	Feb	28	5:16
	Mar	8	9:29	Mar	15	16:25	Mar	22	10:44	Mar	30	0:54
	Apr	6	23:51	Apr	13	22:57	Apr	20	22:27	Apr	28	20:18
	Mei	6	10:58	Mei	13	4:44	Mei	20	10:59	Mei	28	13:58
	Jun	4	19:40	Jun	11	10:56	Jun	19	0:44	Jun	27	4:54
	Jul	4	3:02	Jul	10	18:39	Jul	18	15:45	Jul	26	16:55
	Agt	2	10:05 T	Agt	9	4:54	Agt	17	07:29 n	Agt	25	2:27
	Agt	31	17:41	Sep	7	18:31	Sep	15	23:04	Sep	23	10:20
	Sep	30	2:36	Okt	7	11:47	Okt	15	13:47	Okt	22	17:29
	Okt	29	13:36	Nov	6	8:00	Nov	14	3:26	Nov	21	0:48
	Nov	28	3:24	Des	6	5:22	Des	13	16:09	Des	20	9:11
	Des	27	20:12									
2028				Jan	5	1:40	Jan	12	4:03 p	Jan	18	19:26
	Jan	26	15:12 A	Feb	3	19:10	Feb	10	15:04	Feb	17	8:08
	Feb	25	10:37	Mar	4	9:02	Mar	11	1:06	Mar	17	23:23
	Mar	26	4:31	Apr	2	19:15	Apr	9	10:27	Apr	16	16:37
	Apr	24	19:47	Mei	2	2:26	Mei	8	19:49	Mei	16	10:43
	Mei	24	8:16	Mei	31	7:37	Jun	7	6:09	Jun	15	4:27

	Jun	22	18:27	Jun	29	12:10	Jul	6	18:11 p	Jul	14	20:57
	Jul	22	03:02 T	Jul	28	17:40	Agt	5	8:10	Agt	13	11:45
	Agt	20	10:44	Agt	27	1:36	Sep	3	23:48	Sep	12	0:46
	Sep	18	18:24	Sep	25	13:10	Okt	3	16:25	Okt	11	11:57
	Okt	18	2:57	Okt	25	4:53	Nov	2	9:17	Nov	9	21:26
	Nov	16	13:18	Nov	24	0:15	Des	2	1:40	Des	9	5:39
	Des	16	2:06	Des	23	21:45	Des	31	16:48 t			
2029										Jan	7	13:26
	Jan	14	17:24 P	Jan	22	19:23	Jan	30	6:03	Feb	5	21:52
	Feb	13	10:31	Feb	21	15:10	Feb	28	17:10	Mar	7	7:52
	Mar	15	4:19	Mar	23	7:33	Mar	30	2:26	Apr	5	19:51
	Apr	13	21:40	Apr	21	19:50	Apr	28	10:37	Mei	5	9:48
	Mei	13	13:42	Mei	21	4:16	Mei	27	18:37	Jun	4	1:19
	Jun	12	3:51 P	Jun	19	9:54	Jun	26	03:22 t	Jul	3	17:58
	Jul	11	15:51 P	Jul	18	14:14	Jul	25	13:36	Agt	2	11:15
	Agt	10	1:56	Agt	16	18:55	Agt	24	1:51	Sep	1	4:33
	Sep	8	10:44	Sep	15	1:29	Sep	22	16:29	Sep	30	20:57
	Okt	7	19:14	Okt	14	11:09	Okt	22	9:28	Okt	30	11:32
	Nov	6	4:24	Nov	13	0:35	Nov	21	4:03	Nov	28	23:48
	Des	5	14:52 P	Des	12	17:49	Des	20	22:46 t	Des	28	9:49
2030	Jan	4	2:49	Jan	11	14:06	Jan	19	15:54	Jan	26	18:14
	Feb	2	16:07	Feb	10	11:49	Feb	18	6:20	Feb	25	1:58
	Mar	4	6:35	Mar	12	8:48	Mar	19	17:56	Mar	26	9:51
	Apr	2	22:02	Apr	11	2:57	Apr	18	3:20	Apr	24	18:39
	Mei	2	14:12	Mei	10	17:11	Mei	17	11:19	Mei	24	4:57
	Jun	1	6:21 A	Jun	9	3:36	Jun	15	18:41 p	Jun	22	17:19
	Jun	30	21:34	Jul	8	11:02	Jul	15	2:12	Jul	22	8:07
	Jul	30	11:11	Agt	6	16:43	Agt	13	10:44	Agt	21	1:15
	Agt	28	23:07	Sep	4	21:55	Sep	11	21:18	Sep	19	19:56
	Sep	27	9:55	Okt	4	3:56	Okt	11	10:47	Okt	19	14:50
	Okt	26	20:17	Nov	2	11:56	Nov	10	3:30	Nov	18	8:32
	Nov	25	06:46 T	Des	1	22:57	Des	9	22:40 n	Des	18	0:01
	Des	24	17:32	Des	31	13:36						
2031							Jan	8	18:26	Jan	16	12:47
	Jan	23	4:31	Jan	30	7:43	Feb	7	12:46	Feb	14	22:50
	Feb	21	15:49	Mar	1	4:02	Mar	9	4:30	Mar	16	6:36
	Mar	23	3:49	Mar	31	0:32	Apr	7	17:21	Apr	14	12:58
	Apr	21	16:57	Apr	29	19:19	Mei	7	03:40 n	Mei	13	19:07
	Mei	21	7:17 A	Mei	29	11:20	Jun	5	11:58 n	Jun	12	2:20
	Jun	19	22:25	Jun	28	0:19	Jul	4	19:01	Jul	11	11:50
	Jul	19	13:40	Jul	27	10:35	Agt	3	1:45	Agt	10	0:24
	Agt	18	4:32	Agt	25	18:40	Sep	1	9:20	Sep	8	16:14

	Sep	16	18:47	Sep	24	1:20	Sep	30	18:58	Okt	8	10:50
	Okt	16	8:21	Okt	23	7:36	Okt	30	07:33 n	Nov	7	7:02
	Nov	14	21:10 H	Nov	21	14:45	Nov	28	23:18	Des	7	3:20
	Des	14	9:06	Des	21	0:00	Des	28	17:33			
2032										Jan	5	22:04
	Jan	12	20:07	Jan	19	12:14	Jan	27	12:52	Feb	4	13:49
	Feb	11	6:24	Feb	18	3:29	Feb	26	7:43	Mar	5	1:47
	Mar	11	16:25	Mar	18	20:56	Mar	27	0:46	Apr	3	10:10
	Apr	10	2:39	Apr	17	15:24	Apr	25	15:10 t	Mei	2	16:02
	Mei	9	13:36 A	Mei	17	9:43	Mei	25	2:37	Mei	31	20:51
	Jun	8	1:32	Jun	16	3:00	Jun	23	11:32	Jun	30	2:12
	Jul	7	14:41	Jul	15	18:32	Jul	22	18:51	Jul	29	9:25
	Agt	6	5:11	Agt	14	7:51	Agt	21	1:47	Agt	27	19:33
	Sep	4	20:57	Sep	12	18:49	Sep	19	9:30	Sep	26	9:12
	Okt	4	13:26	Okt	12	3:48	Okt	18	18:58 t	Okt	26	2:29
	Nov	3	5:45 P	Nov	10	11:33	Nov	17	6:42	Nov	24	22:48
	Des	2	20:53	Des	9	19:09	Des	16	20:49	Des	24	20:39
2033	Jan	1	10:17	Jan	8	3:34	Jan	15	13:07	Jan	23	17:46
	Jan	30	22:00	Feb	6	13:34	Feb	14	7:04	Feb	22	11:53
	Mar	1	8:23	Mar	8	1:27	Mar	16	1:37	Mar	24	1:50
	Mar	30	17:52 T	Apr	6	15:14	Apr	14	19:17 t	Apr	22	11:42
	Apr	29	2:46	Mei	6	6:45	Mei	14	10:43	Mei	21	18:29
	Mei	28	11:36	Jun	4	23:39	Jun	12	23:19	Jun	19	23:29
	Jun	26	21:07	Jul	4	17:12	Jul	12	9:29	Jul	19	4:07
	Jul	26	8:12	Agt	3	10:26	Agt	10	18:08	Agt	17	9:43
	Agt	24	21:40	Sep	2	2:24	Sep	9	2:20	Sep	15	17:34
	Sep	23	13:40 P	Okt	1	16:33	Okt	8	10:58 t	Okt	15	4:47
	Okt	23	7:28	Okt	31	4:46	Nov	6	20:32	Nov	13	20:09
	Nov	22	1:39	Nov	29	15:15	Des	6	7:22	Des	13	15:28
	Des	21	18:47	Des	29	0:20						
2034							Jan	4	19:47	Jan	12	13:17
	Jan	20	10:02	Jan	27	8:32	Feb	3	10:05	Feb	11	11:09
	Feb	18	23:10	Feb	25	16:34	Mar	5	2:10	Mar	13	6:45
	Mar	20	10:14 T	Mar	27	1:18	Apr	3	19:19 n	Apr	11	22:45
	Apr	18	19:26	Apr	25	11:35	Mei	3	12:16	Mei	11	10:56
	Mei	18	3:12	Mei	24	23:57	Jun	2	3:54	Jun	9	19:44
	Jun	16	10:26	Jun	23	14:35	Jul	1	17:44	Jul	9	1:59
	Jul	15	18:15	Jul	23	7:05	Jul	31	5:54	Agt	7	6:50
	Agt	14	3:53	Agt	22	0:43	Agt	29	16:49	Sep	5	11:41
	Sep	12	16:14 A	Sep	20	18:39	Sep	28	2:57 p	Okt	4	18:05
	Okt	12	7:33	Okt	20	12:03	Okt	27	12:42	Nov	3	3:27
	Nov	11	1:16	Nov	19	4:01	Nov	25	22:32	Des	2	16:46

	Des	10	20:14	Des	18	17:45	Des	25	8:54			
2035										Jan	1	10:01
	Jan	9	15:03	Jan	17	4:45	Jan	23	20:16	Jan	31	6:02
	Feb	8	8:22	Feb	15	13:17	Feb	22	08:54 n	Mar	2	3:01
	Mar	9	23:09 A	Mar	16	20:15	Mar	23	22:42	Mar	31	23:06
	Apr	8	10:58	Apr	15	2:55	Apr	22	13:21	Apr	30	16:54
	Mei	7	20:04	Mei	14	10:28	Mei	22	4:26	Mei	30	7:31
	Jun	6	3:21	Jun	12	19:50	Jun	20	19:37	Jun	28	18:43
	Jul	5	9:59	Jul	12	7:33	Jul	20	10:37	Jul	28	2:55
	Agt	3	17:12	Agt	10	21:52	Agt	19	1:00 p	Agt	26	9:08
	Sep	2	01:59 T	Sep	9	14:47	Sep	17	14:23	Sep	24	14:39
	Okt	1	13:07	Okt	9	9:49	Okt	17	2:35	Okt	23	20:57
	Okt	31	2:59	Nov	8	5:50	Nov	15	13:49	Nov	22	5:16
	Nov	29	19:38	Des	8	1:05	Des	15	0:33	Des	21	16:29
	Des	29	14:31									
2036				Jan	6	17:48	Jan	13	11:16	Jan	20	6:46
	Jan	28	10:17	Feb	5	7:01	Feb	11	22:09 t	Feb	18	23:47
	Feb	27	4:59 P	Mar	5	16:49	Mar	12	9:09	Mar	19	18:39
	Mar	27	20:57	Apr	4	0:03	Apr	10	20:22	Apr	18	14:06
	Apr	26	9:33	Mei	3	5:54	Mei	10	8:09	Mei	18	8:39
	Mei	25	19:17	Jun	1	11:34	Jun	8	21:02	Jun	17	1:03
	Jun	24	3:09	Jun	30	18:13	Jul	8	11:19	Jul	16	14:39
	Jul	23	10:17 P	Jul	30	2:56	Agt	7	02:49 t	Agt	15	1:36
	Agt	21	17:35 P	Agt	28	14:43	Sep	5	18:45	Sep	13	10:29
	Sep	20	1:51	Sep	27	6:12	Okt	5	10:15	Okt	12	18:09
	Okt	19	11:50	Okt	27	1:14	Nov	4	0:44	Nov	11	1:28
	Nov	18	0:14	Nov	25	22:28	Des	3	14:08	Des	10	9:18
	Des	17	15:34	Des	25	19:44						
2037							Jan	2	2:35	Jan	8	18:29
	Jan	16	9:34 P	Jan	24	14:55	Jan	31	14:04 t	Feb	7	5:43
	Feb	15	4:54	Feb	23	6:41	Mar	2	0:28	Mar	8	19:25
	Mar	16	23:36	Mar	24	18:39	Mar	31	9:53	Apr	7	11:25
	Apr	15	16:08	Apr	23	3:11	Apr	29	18:54	Mei	7	4:56
	Mei	15	5:54	Mei	22	9:08	Mei	29	4:24	Jun	5	22:49
	Jun	13	17:10	Jun	20	13:45	Jun	27	15:20	Jul	5	16:00
	Jul	13	02:32 T	Jul	19	18:31	Jul	27	4:15 p	Agt	4	7:51
	Agt	11	10:41	Agt	18	1:00	Agt	25	19:09	Sep	2	22:03
	Sep	9	18:25	Sep	16	10:36	Sep	24	11:32	Okt	2	10:29
	Okt	9	2:34	Okt	16	0:15	Okt	24	4:36	Okt	31	21:06
	Nov	7	12:03	Nov	14	17:59	Nov	22	21:35	Nov	30	6:06
	Des	6	23:38	Des	14	14:42	Des	22	13:38	Des	29	14:05
2038	Jan	5	13:41 A	Jan	13	12:34	Jan	21	04:00 n	Jan	27	22:00

	Feb	4	5:52		Feb	12	9:30		Feb	19	16:09		Feb	26	6:56
	Mar	5	23:15		Mar	14	3:42		Mar	21	2:09		Mar	27	17:36
	Apr	4	16:43		Apr	12	18:02		Apr	19	10:36		Apr	26	6:15
	Mei	4	9:19		Mei	12	4:18		Mei	18	18:23		Mei	25	20:43
	Jun	3	0:24		Jun	10	11:11		Jun	17	02:30 n		Jun	24	12:39
	Jul	2	13:32 A		Jul	9	16:00		Jul	16	11:48 n		Jul	24	5:40
	Agt	1	0:40		Agt	7	20:21		Agt	14	22:57		Agt	22	23:12
	Agt	30	10:13		Sep	6	1:51		Sep	13	12:24		Sep	21	16:27
	Sep	28	18:57		Okt	5	9:52		Okt	13	4:22		Okt	21	8:23
	Okt	28	3:53		Nov	3	21:24		Nov	11	22:27		Nov	19	22:10
	Nov	26	13:47		Des	3	12:46		Des	11	17:30 n		Des	19	9:29
	Des	26	01:02 T												
2039					Jan	2	7:37		Jan	10	11:45		Jan	17	18:42
	Jan	24	13:36		Feb	1	4:45		Feb	9	3:39		Feb	16	2:36
	Feb	23	3:18		Mar	3	2:15		Mar	10	16:35		Mar	17	10:08
	Mar	24	17:59		Apr	1	21:55		Apr	9	2:53		Apr	15	18:07
	Apr	23	9:35		Mei	1	14:07		Mei	8	11:20		Mei	15	3:17
	Mei	23	1:38		Mei	31	2:24		Jun	6	18:48 p		Jun	13	14:16
	Jun	21	17:21 A		Jun	29	11:17		Jul	6	2:03		Jul	13	3:38
	Jul	21	7:54		Jul	28	17:50		Agt	4	9:56		Agt	11	19:36
	Agt	19	20:50		Agt	26	23:16		Sep	2	19:23		Sep	10	13:45
	Sep	18	8:23		Sep	25	4:53		Okt	2	7:23		Okt	10	8:59
	Okt	17	19:09		Okt	24	11:50		Okt	31	22:36		Nov	9	3:46
	Nov	16	5:46		Nov	22	21:17		Nov	30	16:49 p		Des	8	20:44
	Des	15	16:32 T		Des	22	10:01		Des	30	12:37				
2040													Jan	7	11:05
	Jan	14	3:25		Jan	21	2:21		Jan	29	7:54		Feb	5	22:32
	Feb	12	14:24		Feb	19	21:33		Feb	28	0:59		Mar	6	7:19
	Mar	13	1:46		Mar	20	17:59		Mar	28	15:11		Apr	4	14:06
	Apr	11	14:00		Apr	19	13:37		Apr	27	2:38		Mei	3	20:00
	Mei	11	3:28 P		Mei	19	7:00		Mei	26	11:47 t		Jun	2	2:17
	Jun	9	18:03		Jun	17	21:32		Jun	24	19:19		Jul	1	10:18
	Jul	9	9:15		Jul	17	9:16		Jul	24	2:05		Jul	30	21:06
	Agt	8	0:26		Agt	15	18:36		Agt	22	9:09		Agt	29	11:16
	Sep	6	15:13		Sep	14	2:07		Sep	20	17:43		Sep	28	4:41
	Okt	6	5:26		Okt	13	8:41		Okt	20	4:50		Okt	28	0:27
	Nov	4	18:56 P		Nov	11	15:23		Nov	18	19:06 t		Nov	26	21:07
	Des	4	7:33		Des	10	23:30		Des	18	12:16		Des	26	17:02
2041	Jan	2	19:08		Jan	9	10:06		Jan	17	7:11		Jan	25	10:33
	Feb	1	5:43		Feb	7	23:40		Feb	16	2:21		Feb	24	0:29
	Mar	2	15:39		Mar	9	15:51		Mar	17	20:19		Mar	25	10:32
	Apr	1	1:29		Apr	8	9:38		Apr	16	12:00		Apr	23	17:24

	Apr	30	11:46 T	Mei	8	3:54	Mei	16	12:52 p	Mei	22	22:26
	Mei	29	22:56	Jun	6	21:40	Jun	14	10:59	Jun	21	3:12
	Jun	28	11:17	Jul	6	14:12	Jul	13	19:01	Jul	20	9:13
	Jul	28	1:02	Agt	5	4:53	Agt	12	2:04	Agt	18	17:43
	Agt	26	16:16	Sep	3	17:19	Sep	10	9:24	Sep	17	5:33
	Sep	25	8:41	Okt	3	3:33	Okt	9	18:03	Okt	16	21:05
	Okt	25	1:30 A	Nov	1	12:05	Nov	8	4:43 p	Nov	15	16:06
	Nov	23	17:36	Nov	30	19:49	Des	7	17:42	Des	15	13:32
	Des	23	8:06	Des	30	3:46						
2042							Jan	6	8:54	Jan	14	11:24
	Jan	21	20:42	Jan	28	12:48	Feb	5	1:58	Feb	13	7:16
	Feb	20	7:39	Feb	26	23:29	Mar	6	20:10	Mar	14	23:21
	Mar	21	17:23	Mar	28	12:00	Apr	5	14:16 n	Apr	13	11:09
	Apr	20	02:19 T	Apr	27	2:19	Mei	5	6:48	Mei	12	19:18
	Mei	19	10:55	Mei	26	18:18	Jun	3	20:48	Jun	11	1:00
	Jun	17	19:48	Jun	25	11:29	Jul	3	8:09	Jul	10	5:38
	Jul	17	5:52	Jul	25	5:01	Agt	1	17:33	Agt	8	10:35
	Agt	15	18:01	Agt	23	21:55	Agt	31	2:02	Sep	6	17:09
	Sep	14	8:50	Sep	22	13:20	Sep	29	10:34 n	Okt	6	2:35
	Okt	14	2:03 A	Okt	22	2:53	Okt	28	19:48	Nov	4	15:51
	Nov	12	20:28	Nov	20	14:31	Nov	27	6:06	Des	4	9:19
	Des	12	14:29	Des	20	0:28	Des	26	17:43			
2043										Jan	3	6:08
	Jan	11	6:53	Jan	18	9:05	Jan	25	6:56	Feb	2	4:14
	Feb	9	21:07	Feb	16	17:00	Feb	23	21:58	Mar	4	1:07
	Mar	11	9:09	Mar	18	1:03	Mar	25	14:26 t	Apr	2	18:56
	Apr	9	19:06 T	Apr	16	10:09	Apr	24	7:23	Mei	2	8:59
	Mei	9	3:21	Mei	15	21:05	Mei	23	23:37	Mei	31	19:25
	Jun	7	10:35	Jun	14	10:19	Jun	22	14:20	Jun	30	2:53
	Jul	6	17:51	Jul	14	1:47	Jul	22	3:24	Jul	29	8:23
	Agt	5	2:23	Agt	12	18:57	Agt	20	15:04	Agt	27	13:09
	Sep	3	13:17	Sep	11	13:01	Sep	19	01:47 t	Sep	25	18:40
	Okt	3	3:12 A	Okt	11	7:05	Okt	18	11:56	Okt	25	2:27
	Nov	1	19:57	Nov	10	0:13	Nov	16	21:52	Nov	23	13:46
	Des	1	14:37	Des	9	15:27	Des	16	8:02	Des	23	5:04
	Des	31	9:48									
2044				Jan	8	4:02	Jan	14	18:51	Jan	21	23:47
	Jan	30	4:04	Feb	6	13:46	Feb	13	6:42	Feb	20	20:20
	Feb	28	20:12 A	Mar	6	21:17	Mar	13	19:41 t	Mar	21	16:52
	Mar	29	9:26	Apr	5	3:45	Apr	12	9:39	Apr	20	11:48
	Apr	27	19:42	Mei	4	10:28	Mei	12	0:16	Mei	20	4:02
	Mei	27	3:39	Jun	2	18:33	Jun	10	15:16	Jun	18	17:00

	Jun	25	10:24	Jul	2	4:48	Jul	10	6:22	Jul	18	2:47
	Jul	24	17:10	Jul	31	17:40	Agt	8	21:14	Agt	16	10:03
	Agt	23	01:06 T	Agt	30	9:18	Sep	7	11:24 t	Sep	14	15:58
	Sep	21	11:03	Sep	29	3:30	Okt	7	0:30	Okt	13	21:52
	Okt	20	23:36	Okt	28	23:28	Nov	5	12:27	Nov	12	5:09
	Nov	19	14:58	Nov	27	19:36	Des	4	23:34	Des	11	14:52
	Des	19	8:53	Des	27	14:00						
2045							Jan	3	10:20	Jan	10	3:32
	Jan	18	4:25	Jan	26	5:09	Feb	1	21:05	Feb	8	19:03
	Feb	16	23:51 A	Feb	24	16:37	Mar	3	07:52 n	Mar	10	12:50
	Mar	18	17:15	Mar	26	0:56	Apr	1	18:43	Apr	9	7:52
	Apr	17	7:27	Apr	24	7:12	Mei	1	5:52	Mei	9	2:51
	Mei	16	18:26	Mei	23	12:38	Mei	30	17:52	Jun	7	20:23
	Jun	15	3:05	Jun	21	18:28	Jun	29	7:16	Jul	7	11:31
	Jul	14	10:28	Jul	21	1:52	Jul	28	22:11	Agt	5	23:57
	Agt	12	17:39 T	Agt	19	11:55	Agt	27	14:08 n	Sep	4	10:03
	Sep	11	1:27	Sep	18	1:30	Sep	26	6:11	Okt	3	18:31
	Okt	10	10:37	Okt	17	18:55	Okt	25	21:31	Nov	2	2:09
	Nov	8	21:49	Nov	16	15:26	Nov	24	11:43	Des	1	9:46
	Des	8	11:41	Des	16	13:08	Des	24	0:49	Des	30	18:11
2046	Jan	7	4:24	Jan	15	9:42	Jan	22	12:51 p	Jan	29	4:11
	Feb	5	23:10 A	Feb	14	3:20	Feb	20	23:44	Feb	27	16:23
	Mar	7	18:15	Mar	15	17:13	Mar	22	9:27	Mar	29	6:57
	Apr	6	11:52	Apr	14	3:21	Apr	20	18:21	Apr	27	23:30
	Mei	6	2:56	Mei	13	10:25	Mei	20	3:15	Mei	27	17:06
	Jun	4	15:22	Jun	11	15:27	Jun	18	13:10	Jun	26	10:40
	Jul	4	1:39	Jul	10	19:53	Jul	18	12:55 p	Jul	26	3:19
	Agt	2	10:25 T	Agt	9	1:15	Agt	16	14:50	Agt	24	18:36
	Agt	31	18:25	Sep	7	9:07	Sep	15	6:39	Sep	23	8:16
	Sep	30	2:25	Okt	6	20:41	Okt	14	23:41	Okt	22	20:07
	Okt	29	11:17	Nov	5	12:28	Nov	13	17:04	Nov	21	6:10
	Nov	27	21:50	Des	5	7:56	Des	13	9:55	Des	20	14:43
	Des	27	10:39									
2047				Jan	4	5:31	Jan	12	01:21 t	Jan	18	22:32
	Jan	26	1:44 P	Feb	3	3:09	Feb	10	14:40	Feb	17	6:42
	Feb	24	18:26	Mar	4	22:52	Mar	12	1:37	Mar	18	16:11
	Mar	26	11:44	Apr	3	15:11	Apr	10	10:35	Apr	17	3:30
	Apr	25	4:40	Mei	3	3:26	Mei	9	18:24	Mei	16	16:46
	Mei	24	20:27	Jun	1	11:54	Jun	8	2:05	Jun	15	7:45
	Jun	23	10:36 P	Jun	30	17:37	Jul	7	10:33 t	Jul	15	0:09
	Jul	22	22:49 P	Jul	29	22:03	Agt	5	20:38	Agt	13	17:34
	Agt	21	9:16	Agt	28	2:49	Sep	4	8:54	Sep	12	11:18

	Sep	19	18:31	Sep	26	9:29	Okt	3	23:42	Okt	12	4:22
	Okt	19	3:28	Okt	25	19:13	Nov	2	16:58	Nov	10	19:39
	Nov	17	12:59	Nov	24	8:41	Des	2	11:55	Des	10	8:29
	Des	16	23:38 P	Des	24	1:51						
2048							Jan	1	06:57 t	Jan	8	18:49
	Jan	15	11:32	Jan	22	21:56	Jan	31	0:14	Feb	7	3:16
	Feb	14	0:31	Feb	21	19:22	Feb	29	14:38	Mar	7	10:45
	Mar	14	14:28	Mar	22	16:03	Mar	30	2:04	Apr	5	18:10
	Apr	13	5:20	Apr	21	10:02	Apr	28	11:13	Mei	5	2:22
	Mei	12	20:58	Mei	21	0:16	Mei	27	18:57	Jun	3	12:05
	Jun	11	12:50 A	Jun	19	10:49	Jun	26	2:08 p	Jul	2	23:58
	Jul	11	4:04	Jul	18	18:31	Jul	25	9:34	Agt	1	14:30
	Agt	9	17:59	Agt	17	0:32	Agt	23	18:07	Agt	31	7:42
	Sep	8	6:24	Sep	15	6:04	Sep	22	4:46	Sep	30	2:45
	Okt	7	17:45	Okt	14	12:20	Okt	21	18:25	Okt	29	22:15
	Nov	6	4:38	Nov	12	20:29	Nov	20	11:20	Nov	28	16:34
	Des	5	15:30 T	Des	12	7:29	Des	20	06:39 n	Des	28	8:31
2049	Jan	4	2:24	Jan	10	21:56	Jan	19	2:29	Jan	26	21:33
	Feb	2	13:16	Feb	9	15:38	Feb	17	20:47	Feb	25	7:36
	Mar	4	0:11	Mar	11	11:26	Mar	19	12:23	Mar	26	15:10
	Apr	2	11:39	Apr	10	7:27	Apr	18	1:04	Apr	24	21:11
	Mei	2	0:11	Mei	10	1:57	Mei	17	11:13 n	Mei	24	2:54
	Mei	31	14:00 A	Jun	8	17:56	Jun	15	19:26 n	Jun	22	9:41
	Jun	30	4:50	Jul	8	7:10	Jul	15	2:29	Jul	21	18:48
	Jul	29	20:07	Agt	6	17:52	Agt	13	9:19	Agt	20	7:10
	Agt	28	11:18	Sep	5	2:28	Sep	11	17:04	Sep	18	23:03
	Sep	27	2:05	Okt	4	9:39	Okt	11	2:53	Okt	18	17:55
	Okt	26	16:15	Nov	2	16:19	Nov	9	15:38 n	Nov	17	14:32
	Nov	25	05:35 H	Des	1	23:39	Des	9	7:28	Des	17	11:15
	Des	24	17:51	Des	31	8:53						
2050							Jan	8	1:39	Jan	16	6:17
	Jan	23	4:57	Jan	29	20:48	Feb	6	20:47	Feb	14	22:10
	Feb	21	15:03	Feb	28	11:29	Mar	8	15:23	Mar	16	10:08
	Mar	23	0:41	Mar	30	4:17	Apr	7	8:12	Apr	14	18:24
	Apr	21	10:25	Apr	28	22:08	Mei	6	22:26 t	Mei	14	0:04
	Mei	20	20:51 H	Mei	28	16:04	Jun	5	9:51	Jun	12	4:39
	Jun	19	8:22	Jun	27	9:17	Jul	4	18:51	Jul	11	9:46
	Jul	18	21:17	Jul	27	1:05	Agt	3	2:20	Agt	9	16:48
	Agt	17	11:47	Agt	25	14:56	Sep	1	9:30	Sep	8	2:51
	Sep	16	3:49	Sep	24	2:34	Sep	30	17:31	Okt	7	16:32
	Okt	15	20:48	Okt	23	12:10	Okt	30	03:16 t	Nov	6	9:57
	Nov	14	13:41 P	Nov	21	20:25	Nov	28	15:09	Des	6	6:27

Des 14 5:18

Des 21 4:15

Des 28 5:15

Lampiran 4

Tabel-tabel Meeus untuk menentukan fase-fase bulan

<i>Julian Calendar</i>					<i>Gregorian Calendar</i>				
<i>Year</i>	<i>Time</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>Year</i>	<i>Time</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
-1500	18.082	169	179	797	1500	10.439	42	83	190
-1400	22.412	178	887	572	1600	14.776	51	793	965
-1300	26.742	188	595	347	1700	20.114	60	502	740
-1200	1.542	116	232	951	1800	25.452	69	212	514
-1100	5.873	125	940	727	1900	1.259	998	850	118
-1000	10.204	134	648	502	2000	5.598	7	560	893
-900	14.535	144	356	277	2100	10.936	16	270	667
-800	18.867	153	64	52	2200	16.275	26	980	442
-700	23.198	162	773	827	2300	21.614	35	690	216
-600	27.530	171	481	602	2400	25.954	44	400	991
-500	2.332	100	118	206	2500	1.763	972	38	595
-400	6.665	109	826	981	2600	7.103	982	749	369
-300	10.997	118	535	756	2700	12.443	991	459	144
-200	15.330	127	243	531	2800	16.783	0	169	918
-100	19.664	137	952	306	2900	22.123	9	880	692
0	23.997	146	661	81					
+ 100	28.331	155	369	855					
200	3.134	83	7	460					
300	7.469	93	715	235					
400	11.803	102	424	10					
500	16.138	111	133	784					
600	20.473	120	842	559					
700	24.809	130	552	334					
800	29.144	139	261	109					
900	3.949	67	898	713					
1000	8.285	76	607	488					
1100	12.622	86	317	262					
1200	16.958	95	26	37					
1300	21.295	104	736	812					
1400	25.632	113	445	586					
1500	0.439	42	83	190					

Tabel 1. Nilai untuk awal abad

Year	Time	A	B	C
0 B?	0.000	0	0	0
1	18.898	51	932	215
2	8.265	21	793	260
3	27.162	72	725	475
4 B	15.529	42	586	520
5	4.896	13	446	564
6	23.794	64	379	779
7	13.161	34	239	824
8 B	1.528	4	100	869
9	20.426	55	32	84
10	9.793	25	892	129
11	28.691	76	825	344
12 B	17.058	46	685	388
13	6.425	17	546	433
14	25.322	68	478	648
15	14.689	38	339	693
16 B	3.057	8	199	738
17	21.954	59	132	953
18	11.321	29	992	997
19	0.688	999	853	42
20 B	18.586	50	785	257
21	7.953	21	646	302
22	26.851	72	578	517
23	16.218	42	438	562
24 B	4.585	12	299	606
25	23.482	63	231	821
26	12.850	33	92	866
27	2.217	3	952	911
28 B	20.114	54	885	126
29	9.481	25	745	171
30	28.379	76	677	386
31	17.746	46	538	430
32 B	6.113	16	399	475
33	25.011	67	331	690
34	14.378	37	191	735
35	3.745	7	52	780
36 B	21.643	58	984	995
37	11.010	28	845	39
38	0.377	999	705	84
39	19.274	50	638	299
40 B	7.641	20	498	344
41	26.539	71	431	559
42	15.906	41	291	604
43	5.273	11	152	648
44 B	23.171	62	84	863
45	12.538	32	945	908
46	1.905	3	805	953
47	20.803	54	737	168
48 B	9.170	24	598	213
49	28.067	75	530	428
50	17.434	45	391	472
51	6.801	15	251	517
52 B	24.699	66	184	732
53	14.066	36	44	777
54	3.433	7	905	822
55	22.331	58	837	37
56 B	10.698	28	698	81
57	0.065	998	558	126
58	18.963	49	490	341
59	8.330	19	351	386
60 B	26.227	70	283	601
61	15.594	40	144	646
62	4.962	11	4	690
63	23.859	62	937	906
64 B	12.226	32	797	950
65	1.593	2	658	995
66	20.491	53	590	210
67	9.858	23	451	255
68 B	27.756	74	383	470
69	17.123	44	243	515
70	6.490	15	104	559
71	25.387	66	36	774
72 B	13.755	36	897	819
73	3.122	6	757	864
74	22.019	57	690	79
75	11.386	27	550	123
76 B	29.284	78	483	339
77	18.651	48	343	383
78	8.018	19	204	428
79	26.916	70	136	643
80 B	15.283	40	997	688
81	4.650	10	857	732
82	23.548	61	789	948
83	12.915	31	650	992
84 B	1.282	1	510	37
85	20.179	52	443	252
86	9.546	22	303	297
87	28.444	74	236	512
88 B	16.811	44	96	557
89	6.178	14	957	601
90	25.076	65	889	816
91	14.443	35	750	861
92 B	2.810	5	610	906
93	21.708	56	542	121
94	11.075	26	403	166
95	0.442	997	264	210
96 B	18.339	48	196	425
97	7.706	18	56	470
98	26.604	69	989	685
99	15.971	39	849	730

B = Leap (Bissextile) Year

All the century years are bissextile, except 1700, 1800, 1900, 2100, 2200, 2300, 2500, etc., which are common years.

Tabel 2. Nilai untuk tambahan tahun

Lunar Phase	Month	Time	A	B	C
NM	Jan.	0.000	0	0	0
NM	Jan. (B)	1.000	0	0	0
FQ	Jan.	7.383	20	268	543
FQ	Jan. (B)	8.383	20	268	543
FM	Jan.	14.765	40	536	85
FM	Jan. (B)	15.765	40	536	85
LQ	Jan.	22.148	61	804	628
LQ	Jan. (B)	23.148	61	804	628
NM	Jan.	29.531	81	72	170
NM	Jan. (B)	30.531	81	72	170
FQ	Feb.	5.913	101	340	713
FQ	Feb. (B)	6.913	101	340	713
FM	Feb.	13.296	121	608	256
FM	Feb. (B)	14.296	121	608	256
LQ	Feb.	20.679	141	875	798
LQ	Feb. (B)	21.679	141	875	798
NM	March	0.061	162	143	341
FQ	March	7.444	182	411	883
FM	March	14.826	202	679	426
LQ	March	22.209	222	947	969
NM	March	29.592	243	215	511
FQ	April	5.974	263	483	54
FM	April	13.357	283	751	596
LQ	April	20.740	303	19	139
NM	April	28.122	323	287	682
FQ	May	5.505	344	555	224
FM	May	12.888	364	823	767
LQ	May	20.270	384	91	309

(B) = Leap (Bissextile) Year

Lunar Phase	Month	Time	A	B	C
NM	May	27.653	404	359	852
FQ	June	4.036	424	626	395
FM	June	11.418	445	894	937
LQ	June	18.801	465	162	480
NM	June	26.184	485	430	22
FQ	July	3.566	505	698	565
FM	July	10.949	526	966	108
LQ	July	18.331	546	234	650
NM	July	25.714	566	502	193
FQ	Aug.	2.097	586	770	735
FM	Aug.	9.479	606	38	278
LQ	Aug.	16.862	627	306	821
NM	Aug.	24.245	647	574	363
FQ	Sept.	0.627	667	842	906
FM	Sept.	8.010	687	110	448
LQ	Sept.	15.393	707	377	991
NM	Sept.	22.775	728	645	534
FQ	Oct.	0.158	748	913	76
FM	Oct.	7.541	768	181	619
LQ	Oct.	14.923	788	449	161
NM	Oct.	22.306	808	717	704
FQ	Oct.	29.689	829	985	247
FM	Nov.	6.071	849	253	789
LQ	Nov.	13.454	869	521	332
NM	Nov.	20.836	889	789	874
FQ	Nov.	28.219	910	57	417
FM	Dec.	5.602	930	325	960
LQ	Dec.	12.984	950	593	502
NM	Dec.	20.367	970	861	45
FQ	Dec.	27.750	990	128	587
FM	Dec.	35.132	11	396	130

NM = New Moon

FQ = First Quarter

FM = Full Moon

LQ = Last Quarter

Tabel 3. Nilai untuk tanggal pada suatu tahun

FIRST CORRECTION

A	Year -1500	Year 0	Year 1500	Year 3000
0	0.000	0.000	0.000	0.000
10	+0.012	+0.012	+0.011	+0.011
20	+0.024	+0.023	+0.022	+0.022
30	+0.036	+0.035	+0.033	+0.032
40	+0.047	+0.046	+0.044	+0.043
50	+0.059	+0.057	+0.055	+0.053
60	+0.070	+0.068	+0.066	+0.063
70	+0.081	+0.078	+0.076	+0.073
80	+0.091	+0.089	+0.086	+0.083
90	+0.102	+0.098	+0.095	+0.092
100	+0.111	+0.108	+0.104	+0.101
110	+0.121	+0.117	+0.113	+0.109
120	+0.130	+0.125	+0.121	+0.117
130	+0.138	+0.134	+0.129	+0.125
140	+0.146	+0.141	+0.136	+0.132
150	+0.153	+0.148	+0.143	+0.138
160	+0.159	+0.154	+0.149	+0.144
170	+0.165	+0.160	+0.155	+0.149
180	+0.170	+0.165	+0.159	+0.154
190	+0.175	+0.169	+0.164	+0.158
200	+0.178	+0.173	+0.167	+0.161
210	+0.181	+0.176	+0.170	+0.164
220	+0.184	+0.178	+0.172	+0.166
230	+0.185	+0.179	+0.174	+0.168
240	+0.186	+0.180	+0.174	+0.168
250	+0.186	+0.180	+0.174	+0.168
260	+0.186	+0.180	+0.174	+0.168
270	+0.184	+0.178	+0.172	+0.167
280	+0.182	+0.176	+0.171	+0.165
290	+0.179	+0.174	+0.168	+0.162
300	+0.176	+0.170	+0.165	+0.159
310	+0.172	+0.166	+0.161	+0.155
320	+0.167	+0.161	+0.156	+0.151
330	+0.161	+0.156	+0.151	+0.146
340	+0.155	+0.150	+0.145	+0.140
350	+0.149	+0.144	+0.139	+0.134
360	+0.141	+0.137	+0.132	+0.128
370	+0.134	+0.129	+0.125	+0.121
380	+0.125	+0.121	+0.117	+0.113
390	+0.117	+0.113	+0.109	+0.105
400	+0.107	+0.104	+0.100	+0.097
410	+0.098	+0.095	+0.092	+0.088
420	+0.088	+0.085	+0.082	+0.079
430	+0.078	+0.075	+0.073	+0.070
440	+0.067	+0.065	+0.063	+0.061
450	+0.056	+0.054	+0.053	+0.051
460	+0.045	+0.044	+0.042	+0.041
470	+0.034	+0.033	+0.032	+0.031
480	+0.023	+0.022	+0.021	+0.021
490	+0.011	+0.011	+0.011	+0.010
500	0.000	0.000	0.000	0.000

A	Year -1500	Year 0	Year 1500	Year 3000
500	0.000	0.000	0.000	0.000
510	-0.011	-0.011	-0.011	-0.010
520	-0.023	-0.022	-0.021	-0.021
530	-0.034	-0.033	-0.032	-0.031
540	-0.045	-0.044	-0.042	-0.041
550	-0.056	-0.054	-0.053	-0.051
560	-0.067	-0.065	-0.063	-0.061
570	-0.078	-0.075	-0.073	-0.070
580	-0.088	-0.085	-0.082	-0.079
590	-0.098	-0.095	-0.092	-0.088
600	-0.107	-0.104	-0.100	-0.097
610	-0.117	-0.113	-0.109	-0.105
620	-0.125	-0.121	-0.117	-0.113
630	-0.134	-0.129	-0.125	-0.121
640	-0.141	-0.137	-0.132	-0.128
650	-0.149	-0.144	-0.139	-0.134
660	-0.155	-0.150	-0.145	-0.140
670	-0.161	-0.156	-0.151	-0.146
680	-0.167	-0.161	-0.156	-0.151
690	-0.172	-0.166	-0.161	-0.155
700	-0.176	-0.170	-0.165	-0.159
710	-0.179	-0.174	-0.168	-0.162
720	-0.182	-0.176	-0.171	-0.165
730	-0.184	-0.178	-0.172	-0.167
740	-0.186	-0.180	-0.174	-0.168
750	-0.186	-0.180	-0.174	-0.168
760	-0.186	-0.180	-0.174	-0.168
770	-0.185	-0.179	-0.174	-0.168
780	-0.184	-0.178	-0.172	-0.166
790	-0.181	-0.176	-0.170	-0.164
800	-0.178	-0.173	-0.167	-0.161
810	-0.175	-0.169	-0.164	-0.158
820	-0.170	-0.165	-0.159	-0.154
830	-0.165	-0.160	-0.155	-0.149
840	-0.159	-0.154	-0.149	-0.144
850	-0.153	-0.148	-0.143	-0.138
860	-0.146	-0.141	-0.136	-0.132
870	-0.138	-0.134	-0.129	-0.125
880	-0.130	-0.125	-0.121	-0.117
890	-0.121	-0.117	-0.113	-0.109
900	-0.111	-0.108	-0.104	-0.101
910	-0.102	-0.098	-0.095	-0.092
920	-0.091	-0.089	-0.086	-0.083
930	-0.081	-0.078	-0.076	-0.073
940	-0.070	-0.068	-0.066	-0.063
950	-0.059	-0.057	-0.055	-0.053
960	-0.047	-0.046	-0.044	-0.043
970	-0.036	-0.035	-0.033	-0.032
980	-0.024	-0.023	-0.022	-0.022
990	-0.012	-0.012	-0.011	-0.011
1000	0.000	0.000	0.000	0.000

Tabel 4. Koreksi pertama

SECOND CORRECTION

B	NM/FM	FQ/LQ	B	NM/FM	FQ/LQ
0	0.000	0.000	500	0.000	0.000
10	-0.024	-0.038	510	+0.028	+0.041
20	-0.047	-0.077	520	+0.055	+0.081
30	-0.071	-0.115	530	+0.082	+0.121
40	-0.094	-0.152	540	+0.109	+0.161
50	-0.117	-0.189	550	+0.135	+0.200
60	-0.139	-0.225	560	+0.161	+0.238
70	-0.161	-0.261	570	+0.186	+0.275
80	-0.183	-0.295	580	+0.210	+0.310
90	-0.204	-0.329	590	+0.233	+0.345
100	-0.224	-0.361	600	+0.255	+0.378
110	-0.244	-0.392	610	+0.275	+0.409
120	-0.263	-0.421	620	+0.295	+0.439
130	-0.281	-0.449	630	+0.313	+0.467
140	-0.298	-0.475	640	+0.329	+0.493
150	-0.314	-0.500	650	+0.345	+0.517
160	-0.329	-0.522	660	+0.358	+0.538
170	-0.343	-0.543	670	+0.370	+0.558
180	-0.356	-0.561	680	+0.380	+0.575
190	-0.367	-0.578	690	+0.389	+0.590
200	-0.377	-0.592	700	+0.396	+0.602
210	-0.386	-0.604	710	+0.401	+0.612
220	-0.393	-0.613	720	+0.405	+0.620
230	-0.399	-0.620	730	+0.407	+0.625
240	-0.404	-0.625	740	+0.408	+0.627
250	-0.406	-0.628	750	+0.406	+0.628
260	-0.408	-0.627	760	+0.404	+0.625
270	-0.407	-0.625	770	+0.399	+0.620
280	-0.405	-0.620	780	+0.393	+0.613
290	-0.401	-0.612	790	+0.386	+0.604
300	-0.396	-0.602	800	+0.377	+0.592
310	-0.389	-0.590	810	+0.367	+0.578
320	-0.380	-0.575	820	+0.356	+0.561
330	-0.370	-0.558	830	+0.343	+0.543
340	-0.358	-0.538	840	+0.329	+0.522
350	-0.345	-0.517	850	+0.314	+0.500
360	-0.329	-0.493	860	+0.298	+0.475
370	-0.313	-0.467	870	+0.281	+0.449
380	-0.295	-0.439	880	+0.263	+0.421
390	-0.275	-0.409	890	+0.244	+0.392
400	-0.255	-0.378	900	+0.224	+0.361
410	-0.233	-0.345	910	+0.204	+0.329
420	-0.210	-0.310	920	+0.183	+0.295
430	-0.186	-0.275	930	+0.161	+0.261
440	-0.161	-0.238	940	+0.139	+0.225
450	-0.135	-0.200	950	+0.117	+0.189
460	-0.109	-0.161	960	+0.094	+0.152
470	-0.082	-0.121	970	+0.071	+0.115
480	-0.055	-0.081	980	+0.047	+0.077
490	-0.028	-0.041	990	+0.024	+0.038
500	0.000	0.000	1000	0.000	0.000

Tabel 5. Koreksi kedua

C	NM/FM	FQ/LQ
0	0.000	0.000
20	+0.001	+0.001
40	+0.003	+0.002
60	+0.004	+0.003
80	+0.005	+0.004
100	+0.006	+0.005
120	+0.007	+0.005
140	+0.008	+0.006
160	+0.009	+0.007
180	+0.009	+0.007
200	+0.010	+0.008
220	+0.010	+0.008
240	+0.010	+0.008
260	+0.010	+0.008
280	+0.010	+0.008
300	+0.010	+0.008
320	+0.009	+0.007
340	+0.009	+0.007
360	+0.008	+0.006
380	+0.007	+0.005
400	+0.006	+0.005
420	+0.005	+0.004
440	+0.004	+0.003
460	+0.003	+0.002
480	+0.001	+0.001
500	0.000	0.000
520	-0.001	-0.001
540	-0.003	-0.002
560	-0.004	-0.003
580	-0.005	-0.004
600	-0.006	-0.005
620	-0.007	-0.005
640	-0.008	-0.006
660	-0.009	-0.007
680	-0.009	-0.007
700	-0.010	-0.008
720	-0.010	-0.008
740	-0.010	-0.008
760	-0.010	-0.008
780	-0.010	-0.008
800	-0.010	-0.008
820	-0.009	-0.007
840	-0.009	-0.007
860	-0.008	-0.006
880	-0.007	-0.005
900	-0.006	-0.005
920	-0.005	-0.004
940	-0.004	-0.003
960	-0.003	-0.002
980	-0.001	-0.001
1000	0.000	0.000

Tabel 6.

Koreksi ketiga

A + B	NM/FM	FQ	LQ
0	0.000	+0.003	-0.003
20	-0.001	+0.001	-0.004
40	-0.001	-0.000	-0.006
60	-0.002	-0.002	-0.007
80	-0.002	-0.003	-0.009
100	-0.003	-0.004	-0.010
120	-0.003	-0.005	-0.011
140	-0.004	-0.006	-0.012
160	-0.004	-0.007	-0.013
180	-0.005	-0.008	-0.014
200	-0.005	-0.009	-0.014
220	-0.005	-0.009	-0.014
240	-0.005	-0.009	-0.015
260	-0.005	-0.009	-0.015
280	-0.005	-0.009	-0.014
300	-0.005	-0.009	-0.014
320	-0.005	-0.008	-0.014
340	-0.004	-0.007	-0.013
360	-0.004	-0.006	-0.012
380	-0.003	-0.005	-0.011
400	-0.003	-0.004	-0.010
420	-0.002	-0.003	-0.009
440	-0.002	-0.002	-0.007
460	-0.001	-0.000	-0.006
480	-0.001	+0.001	-0.004
500	0.000	+0.003	-0.003
520	+0.001	+0.004	-0.001
540	+0.001	+0.006	+0.000
560	+0.002	+0.007	+0.002
580	+0.002	+0.009	+0.003
600	+0.003	+0.010	+0.004
620	+0.003	+0.011	+0.005
640	+0.004	+0.012	+0.006
660	+0.004	+0.013	+0.007
680	+0.005	+0.014	+0.008
700	+0.005	+0.014	+0.009
720	+0.005	+0.014	+0.009
740	+0.005	+0.015	+0.009
760	+0.005	+0.015	+0.009
780	+0.005	+0.014	+0.009
800	+0.005	+0.014	+0.009
820	+0.005	+0.014	+0.008
840	+0.004	+0.013	+0.007
860	+0.004	+0.012	+0.006
880	+0.003	+0.011	+0.005
900	+0.003	+0.010	+0.004
920	+0.002	+0.009	+0.003
940	+0.002	+0.007	+0.002
960	+0.001	+0.006	+0.000
980	+0.001	+0.004	-0.001
1000	0.000	+0.003	-0.003

Tabel 7.

Koreksi keempat

A - B	NM/FM	FQ/LQ
0	0.000	0.000
20	-0.001	-0.001
40	-0.002	-0.001
60	-0.003	-0.002
80	-0.004	-0.002
100	-0.004	-0.003
120	-0.005	-0.003
140	-0.006	-0.004
160	-0.006	-0.004
180	-0.007	-0.004
200	-0.007	-0.004
220	-0.007	-0.005
240	-0.007	-0.005
260	-0.007	-0.005
280	-0.007	-0.005
300	-0.007	-0.004
320	-0.007	-0.004
340	-0.006	-0.004
360	-0.006	-0.004
380	-0.005	-0.003
400	-0.004	-0.003
420	-0.004	-0.002
440	-0.003	-0.002
460	-0.002	-0.001
480	-0.001	-0.001
500	0.000	0.000
520	+0.001	+0.001
540	+0.002	+0.001
560	+0.003	+0.002
580	+0.004	+0.002
600	+0.004	+0.003
620	+0.005	+0.003
640	+0.006	+0.004
660	+0.006	+0.004
680	+0.007	+0.004
700	+0.007	+0.004
720	+0.007	+0.005
740	+0.007	+0.005
760	+0.007	+0.005
780	+0.007	+0.005
800	+0.007	+0.004
820	+0.007	+0.004
840	+0.006	+0.004
860	+0.006	+0.004
880	+0.005	+0.003
900	+0.004	+0.003
920	+0.004	+0.002
940	+0.003	+0.002
960	+0.002	+0.001
980	+0.001	+0.001
1000	0.000	0.000

Tabel 8.

Koreksi kelima

BIODATA



Nama saya Dr. Eng. Rinto Anugraha NQZ. Lahir di Jakarta, 27 September 1974, anak pertama dari tiga bersaudara. Menempuh pendidikan di SDN Klender 15, SMPN 6, SMAN 59, semuanya di Jakarta Timur. Kuliah S1 Fisika UGM 1992 – 1997, dengan tugas akhir tentang General Relativity and Cosmology di bawah bimbingan (Alm) Prof. Dr. Muslim dan Dr. Arief Hermanto. Kuliah S2 Fisika UGM 1997 – 2001 dengan tugas akhir tentang Renormalization and Dimensional Regularization in Quantum Field Theory di bawah bimbingan (Alm) Prof. Dr. Muslim dan Dr. Pramudita Anggraita. Menempuh studi doktoral pada tahun 2005 – 2008 dengan sponsor dari Monbukagakusho dalam bidang Nonlinear Physics di Applied Physics Laboratory, Kyushu University, di bawah supervisor Prof. Dr. Shoichi KAI dan Dr. Yoshiki HIDAKA dengan topik riset tentang Turbulence in Liquid Crystals (soft-mode turbulence). Menjadi researcher postdoctoral di tempat yang sama pada tahun 2008 – 2010 dengan sponsor dari JSPS. Ada sekitar 9 paper di jurnal Internasional Fisika yang ternama yang ditulis oleh saya, baik sebagai penulis pertama atau bukan sebagai penulis pertama, seperti jurnal Physical Review Letters, Physical Review E, Journal of Physical Society of Japan, Physica D, dan lain-lain.

Saya bekerja sebagai Dosen Fisika Fakultas MIPA Universitas Gadjah Mada Yogyakarta sejak tahun 1998. Menjabat sebagai Kepala Laboratorium Fisika Material dan Instrumentasi Jurusan Fisika FMIPA UGM periode 2011 – 2013. Saya mengajar beberapa matakuliah di S1 dan S2 Fisika UGM dan di jurusan lainnya seperti Fisika Dasar, Matematika Fisika, Elektrodinamika, Mekanika Klasik, Teori Relativitas, Fisika Kuantum, Mekanika Benda Langit, Kapita Selekta Fisika Material dan sebagainya.

Saya tinggal di Krangkungan, Condong Catur Depok Sleman Yogyakarta, bersama seorang istri dan empat orang anak.

Saya menekuni ilmu hisab secara otodidak ketika sedang studi di Jepang. Buku referensi pertama yang saya baca dan sangat berpengaruh bagi pengetahuan saya di bidang ilmu hisab adalah Astronomical Algorithm karya Jean Meeus.

Sebelumnya pernah menerbitkan 4 buku, masing-masing tentang TOEFL, Tes Potensi Akademik dan Olimpiade Fisika yang diterbitkan oleh Penerbit Gava Media, serta Teori Relativitas dan Kosmologi yang diterbitkan oleh Gadjah Mada University Press. Berpengalaman menangani pelatihan Olimpiade Fisika SMP dan SMU. Bidang kompetensi saya adalah fisika (relativitas umum dan kosmologi, fisika matematik, elektromagnetika, liquid crystal, simulasi spin magnetik, chaos), ilmu hisab (teori dan komputasi). Menguasai software ImageJ (untuk image processing), bahasa Basic, HTML dan sedikit pemrograman Java. Suka membaca buku Islam berbahasa Indonesia dan Arab terutama Tafsir dan Fiqh Da'wah. Lancar berbahasa Inggris. Sedikit menguasai bahasa Jepang. Suka mengupdate perkembangan sepakbola Eropa.

Saya dapat dihubungi di:

Email rinto@ugm.ac.id atau rinto74@yahoo.com

Web <http://rinto.staff.ugm.ac.id> atau <http://www.facebook.com/rinto.anugraha>