



## Implementasi Algoritma Jean Meeus dalam Penentuan Gerhana Bulan dan Matahari

Baiq Anggi Andini<sup>a,1</sup>, Siti Rabi'atul Adawiyah<sup>b</sup>, Arino Bem Sado<sup>c</sup>

<sup>a,b,c</sup>Program Studi Ilmu Falak Fakultas Syariah Universitas Islam Negeri Mataram

<sup>1</sup>adwysr@gmail.com

**Abstract:** This study aims to determine the implementation and accuracy of the Jean Meeus Algorithm in determining lunar and solar eclipses. This research is a qualitative research with a literature approach. The primary data source for this research is a book entitled *Astronomical Algorithm* by Jean Meeus. Meanwhile, secondary data is all information related to the Jean Meeus algorithm in determining eclipses obtained from various literature such as books, websites, encyclopedias, dictionaries, scientific articles, and other sources of information. The results of this study indicate that determining the eclipse time using the Jean Meeus algorithm involves seven stages of calculation namely; starting with determining the year the eclipse occurred, then determining the gamma value, JDE (Julian Day Ephemeris), the payoff value (k), the saros series, the reference time ( $T_0$ ) and the Bessel Element value. The calculation of the Jean Meeus Algorithm is included in the tahkiki essential reckoning method because the calculation process involves astronomical data with very precise corrections for the motion of the Moon and the Sun, this method is also based on the heliocentric flow. In addition, the level of accuracy of Jean Meeus' calculations has a good match with NASA as a comparison, namely with results that are only 1 to 3 minutes apart and the average difference is only in seconds.

**Keywords :** Lunar Eclipse, Solar Eclipse, Jean Meeus Algorithm.

**Abstract:** Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui implementasi dan tingkat akurasi Algoritma Jean Meeus dalam penentuan Gerhana Bulan dan Matahari. Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif dengan pendekatan kepustakaan. Sumber data primer penelitian ini yakni buku yang berjudul *Astronomical Algorithm* karya Jean Meeus. Sementara, data sekunder berupa segala informasi terkait dengan algoritma Jean Meeus dalam penentuan gerhana yang diperoleh dari berbagai literatur seperti buku, website, ensiklopedi, kamus, artikel ilmiah, dan sumber informasi lainnya. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penentuan waktu gerhana menggunakan algoritma Jean Meeus melibatkan tujuh tahap perhitungan yakni; dimulai dengan menentukan tahun terjadinya gerhana, kemudian menentukan nilai gamma, JDE (Julian Day Ephemeris), nilai lunasi (k), seri saros, waktu referensi ( $T_0$ ) dan nilai Elemen Besselnya. Perhitungan Algoritma Jean Meeus ini termasuk ke dalam metode hisab hakiki tahkiki karena proses perhitungannya melibatkan data astronomis dengan koreksi-koreksi gerak Bulan maupun Matahari yang sangat teliti, metode ini juga berpangkal pada aliran heliosentris. Selain itu, tingkat keakurasian perhitungan Jean Meeus tersebut memiliki kecocokan yang baik dengan NASA sebagai pembanding, yaitu dengan hasil yang terpaut 1 sampai 3 menit saja dan rata-rata hanya berselisih pada detiknya saja.

**Kata Kunci :** Gerhan Bulan, Gerhana Matahari, Algoritma Jean Meeus.

### A. Pendahuluan

Gerhana sejatinya memang merupakan salah satu bukti kekuasaan Allah yang meletakkan benda-benda langit seperti matahari, bulan maupun bumi

berada pada garis edarnya masing-masing dan bergerak berdasarkan perhitungan yang teratur tanpa saling mendahului dan saling bertabrakan. Durasi atau lama peredaran benda-benda langit ini, seperti lama rotasi dan revolusi bulan dan bumi digunakan sebagai patokan penentuan waktu di dunia dan dapat diprediksi secara eksak oleh manusia.

Umat islam tidak bisa hanya mengandalkan teknik rukyat saja untuk mengetahui kapan terjadinya gerhana. Mengingat peristiwa tersebut berlangsung sangat singkat. Oleh karena itu, perlu adanya suatu perhitungan yang mampu memprediksi terjadinya gerhana secara tepat, agar umat islam dapat mengetahui kapan harus dilaksanakannya shalat gerhana. Dengan demikian, diperlukan peralatan dan perhitungan yang dapat digunakan untuk membantu memprediksi terjadinya gerhana tersebut.

Seiring berjalannya waktu, fenomena alam gerhana ini mulai dijadikan ajang observasi (penelitian) oleh masyarakat. Menurut kebanyakan orang, fenomena gerhana ini merupakan sesuatu yang menarik untuk diamati. Namun yang menjadi kendala adalah masih sedikit masyarakat yang belum dapat melakukannya karena tidak banyak orang yang mengetahui tentang perhitungan atau prediksi fenomena alam gerhana tersebut.

Mengingat fenomena gerhana yang tidak terjadi setiap tahun, maka diperlukan kecermatan dalam perhitungannya. Biasanya untuk menghitung atau memprediksi gerhana, kebanyakan orang masih menggunakan kitab-kitab klasik, seperti *Fath al-Rauf al-Mannan*, *Khulasah al-Wafiyah*, *Nurul Anwar* dan lain sebagainya. Selain mengacu pada kitab-kitab klasik biasanya orang-orang juga sering menggunakan *Microsoft Excel*, atau software *Visual Basic* untuk membantu perhitungan mereka.<sup>1</sup>

Salah satu metode perhitungan gerhana yang mudah digunakan dan memiliki tingkat keakurasian yang tinggi yaitu perhitungan Algoritma Jean Meeus. Metode perhitungan ini tidak hanya untuk menghitung gerhana saja namun dapat juga digunakan untuk menentukan jarak antar planet, perhitungan waktu sholat, ketinggian matahari dan perhitungan-perhitungan astronomi lainnya.

Algoritma Jean Meeus merupakan algoritma hasil reduksi dari VSOP87 (*Variation Seculaires des Orbites Planetaires*) yaitu perhitungan yang didasarkan pada pergerakan planet-planet dalam mengelilingi matahari, dimana perhitungannya memiliki tingkat akurasi tinggi dari ribuan suku koreksi, untuk menentukan posisi benda-benda langit seperti matahari

---

<sup>1</sup> Miftach Rizcha Afifi, *Akurasi Perhitungan Gerhana Bulan menurut Jean Meeus menggunakan Software Matlab* (Surabaya: Digital Library Uin Sunan Ampel, 2019), hlm,6.

dan bulan. Algoritma VSOP versi-87 ini diketahui memberikan peningkatan akurasi dari VSOP versi sebelumnya yaitu VSOP82, perhitungan dalam algoritma VSOP87 ini menghitung posisi planet-planet secara langsung serta elemen-elemen orbit setiap saat.<sup>2</sup> Selain digunakan untuk menentukan posisi matahari, metode perhitungan Jean Meeus ini juga digunakan untuk menentukan kapan terjadinya gerhana matahari, bulan baru, posisi bulan, jarak antar planet, magnitudo bintang, serta waktu shalat.

Algoritma Jean Meeus ini memperhitungkan sekitar ratusan suku-suku yang besar dan penting, sementara suku-suku yang kecil tidak diperhitungkan.<sup>3</sup> Namun, hal ini tidak memengaruhi keakurasian dari perhitungan algoritma Jean Meeus itu sendiri. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa tingkat keakurasian dari perhitungan gerhana dengan metode perhitungan algoritma Jean Meeus ini sangatlah tinggi. Oleh karena itu, peneliti tertarik untuk mengetahui dan menganalisa lebih mendalam bagaimana tahapan perhitungan gerhana Algoritma Jean Meeus ini, sekaligus membandingkan akurasinya dengan data NASA.

## **B. Metode Penelitian**

Jenis penelitian ini adalah penelitian kualitatif dengan pendekatan kepustakaan (*library research*) karena dilakukan dengan menelaah bahan-bahan pustaka dengan kajian penerapan algoritma gerhana dalam buku *Astronomical Algorithm* karya Jean Meeus sebagai sumber data primer penelitian ini. Dengan demikian, teknik pengambilan data yang digunakan berupa penelaahan buku/literatur dan dokumentasi.

## **C. Hasil dan Pembahasan**

### **1. Implementasi Perhitungan Gerhana Menggunakan Algoritma Jean Meeus**

Ilmu hisab dari masa ke masa terus mengalami perkembangan sejalan dengan perkembangan ilmu sains dan ilmu pengetahuan. Hal ini juga dipengaruhi oleh semakin canggihnya teknologi. Ilmu hisab juga akan terus mengalami perubahan data karena mengetahui sifat alam semesta yang tidak tetap, atau dengan kata lain alam semesta ini terus berkembang (dinamis). Semua benda langit termasuk Bumi terus bergerak dan berputar pada poros dan orbitnya dalam sistem tata surya. Setiap pergerakan Bulan, Bumi, Matahari atau benda-benda langit lainnya terus menjadi bahan pengamatan

---

<sup>2</sup> Khazin Alfani, *telaah Perhitungan Waktu Shalat dengan Algoritma VSOP87*. Tesis Magister Hukum Islam, Semarang:, 2011, hlm 56.

<sup>3</sup> Isnaeni,dkk, *Implementasi Algoritma Meeus* (Jakarta: Studi Informatika;Jurnal Sistem Informasi, Vol 8 (1), hlm 1-10.

manusia di Bumi sebagai dasar pijakan dalam mengetahui waktu dan kalender sehingga waktu terjadinya awal bulan dan fenomena-fenomena langit lainnya termasuk gerhana dapat diprediksi.<sup>4</sup>

Penentuan dan perhitungan terjadinya gerhana, baik gerhana bulan maupun gerhana matahari memiliki banyak versi dalam perhitungannya. Selain itu, penerapan ilmu hisab dalam penentuan terjadinya gerhana harus memiliki tingkat keakurasian yang tinggi agar waktu terjadinya fenomena gerhana tersebut diketahui dengan tepat. Saat ini ilmu hisab dalam penentuan gerhana yang sering digunakan diantaranya yaitu metode hisab *Algoritma Jean Meeus*, *Algoritma NASA*, dan hisab *Ephemeris*.

Algoritma Jean Meeus yaitu algoritma yang perhitungannya didasarkan pada pergerakan planet-planet dalam mengelilingi matahari. Beberapa sumber menyebutkan bahwa algoritma ini memiliki tingkat akurasi yang tinggi karena melibatkan ribuan suku koreksi. Selain digunakan untuk menentukan posisi matahari dan terjadinya gerhana, algoritma Jean Meeus ini juga dapat digunakan untuk menentukan jarak antar planet, magnitudo bintang, serta waktu shalat.

Metode perhitungan Jean Meeus ini mengambil acuan dalam buku *Astronomical Algorithm* karya Jean Meeus, sedangkan khususnya dalam perhitungan gerhana bulan dan matahari perhitungan algoritma Jean Meeus ini mengacu pada data dari elemen Bessel. Algoritma Jean Meeus ini merujuk pada teori Heliosentris, yaitu teori yang menyatakan Matahari menjadi pusat dari sistem peredaran benda-benda langit yang dikemukakan oleh ilmuwan astronomi berkebangsaan Polandia yang bernama Nicolas Copernicus.<sup>5</sup>

Teori tersebut bisa kita lihat dalam elemen Bessel yang menjadi acuan dalam Algoritma Jean Meeus yang digunakan dalam perhitungan gerhana Matahari ataupun gerhana Bulan. Algoritma Jean Meeus ini merupakan metode hisab yang termasuk dalam golongan hisab *hakiki tahkiki*, dan berpangkal pada aliran heliosentris karena data yang digunakan adalah data mutakhir seperti elemen Bessel dan VSOP87. Metode hisab Algoritma Jean Meeus ini termasuk kedalam hisab *Hakiki tahkiki* karena proses perhitungannya berdasarkan data astronomis yang diolah dengan *Spherical Trigonometry* (ilmu ukur segitiga bola) dengan koreksi-koreksi gerak Bulan maupun Matahari yang sangat teliti.

---

<sup>4</sup> Slamet Hambali, *Pengantar Ilmu Falak Menyimak Proses Pembentukan Alam Semesta* (Banyuwangi: Bismillah Publisher, cet. Ke-1, th. 2012), hlm. 223

<sup>5</sup> Slamet Hambali, *Pengantar Ilmu Falak Menyimak Proses Pembentukan Alam Semesta*, (Banyuwangi: Bismillah Publisher, cet. Ke-1, th. 2012), hlm. 182.

Data yang digunakan dalam metode hisab Algoritma Jean Meeus ini menggunakan Elemen Bessel (*Besselian Element*). Tabel data elemen Bessel ini terdapat dalam buku *Elements of Solar Eclipses* karya Jean Meeus. Elemen Bessel tersebut disertai dengan tanggal dan tahun terjadinya gerhana, serta jenis gerhana, nilai gamma, tahun JDE (*Julian Day Ephemeris*), nilai k (lunasi), seri saros gerhana, waktu referensi ( $T_0$ ) dan nilai elemen Bessel itu sendiri.<sup>6</sup> Berikut adalah beberapa data yang disajikan dalam tabel data elemen Bessel dan digunakan dalam proses penentuan terjadinya gerhana Bulan dan Matahari:

- a. Waktu terjadinya gerhana, yaitu dimaksudkan sebagai tanggal dan tahun terjadinya gerhana, misalnya untuk gerhana Bulan tahun 2021 terjadi pada tanggal 26 Mei 2021 dan 19 November 2021, begitupun untuk gerhana Matahari tahun 2021 terjadi pada 10 Juni 2021 dan 4 Desember 2021.
- b. Nilai Gamma merupakan jarak minimum dari sumbu bayangan kerucut umbra Bulan ke pusat Bumi, dilihat dari radius ekuator Bumi. Jarak ini bisa “positif” atau “negatif” tergantung sumbu bayangan kerucut umbra melewati utara atau selatan dari pusat Bumi. Menurut Jean Meeus jika nilai gamma antara +0.997 dan -0.997 berarti terjadi gerhana sentral atau total.<sup>7</sup>
- c. JDE (*Julian Day Ephemeris*) 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 (–) 4713.
  - JD 0 = 1 Januari – 4713 pukul 12:00:00 UT = 1,5  
Januari – 4713 (karena pukul 12 menunjukkan 0,5 hari)
  - JD 0,5 = 2 Januari – 4713 pukul 00:00:00 UT
  - JD 1 = 2,5 Januari – 4713 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 *Ephemeris Day* (JDE, bukan JED). Contoh sebagai berikut;<sup>8</sup>

---

<sup>6</sup> Jean Meeus, *Elements of Solar Eclipses* 1950 -2200, Virginia : Willmann-Bell Inc., th. 1989, hlm. 61.

<sup>7</sup> *Ibid*, hlm. 5.

<sup>8</sup> Jafar Shodiq, *Studi Analisis Hisab Gerhana Matahari menurut Rinto Anugraha dalam buku Mekanika Benda Langit*, Skripsi Fakultas Syariah Prodi Ilmu Falak UIN Walisongo Semarang 2016, hlm. 77.

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

Pemahaman terhadap *Julian Day* sangat penting, karena *Julian Day* menjadi syarat untuk menghitung posisi Bulan, Matahari dan planet-planet yang selanjutnya dipakai untuk menentukan Bulan baru, waktu salat, dan lain-lain. *Julian Day* juga menjadi dasar untuk menentukan fenomena alam seperti menentukan kemiringan orbit rotasi Bumi, kapan terjadinya ekuinoks dan solstice, dan sebagainya.<sup>9</sup> Sementara untuk gerhana Matahari JDE berhubungan dengan waktu dari gerhana maksimum yani ketika sumbu kerucut bayangan umbra Bulan berada paling dekat dengan pusat Bumi.<sup>10</sup>

- Nilai **K**, yaitu *lunation* atau lunasi dimana 1 lunasi sama dengan rata-rata 1 Bulan sinodik = 29 hari 12 jam 44 menit 3 detik. Lunasi 0 sama dengan Bulan baru (*new moon*) tanggal 6 januari 2000.<sup>11</sup>
- Seri saros gerhana, yaitu satu periode dari 223 lunasi atau 6585,3 hari atau 18 tahun 11 hari. Setelah satu periode tersebut gerhana baik gerhana Matahari ataupun gerhana Bulan akan terulang lagi dengan kondisi yang sama.
- Waktu referensi (To) yaitu merupakan waktu *Dynamical Time* (TD) terdekat dari gerhana maksimum yang sudah di-integer-kan.
- Elemen Bessel  
Data selanjutnya yang digunakan adalah data dari elemen Bessel, dimana untuk setiap gerhana Matahari ataupun gerhana Bulan maka elemen Bessel-nya akan berubah. Elemen Bessel sendiri telah dihitung dengan menggunakan basis data dari teori VSOP87 untuk menghitung koordinat Matahari. Penggunaan elemen Bessel dalam perhitungan gerhana Matahari adalah untuk menggolongkan (karakteristik) posisi geometris dari bayangan relatif Bulan yang jatuh ke Bumi.<sup>12</sup>

Selanjutnya berikut adalah penerapan metode perhitungan Jean Meeus dalam penentuan gerhana Bulan dan Matahari adalah sebagai berikut:

- Langkah-langkah perhitungan gerhana Bulan dengan Algoritma Jean

---

<sup>9</sup> Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*, (Yogyakarta: Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Gadjah Mada, 2012), hlm. 8.

<sup>10</sup> Jean Meeus, *Elements of Solar Eclipses 1950 -2200*, Virginia : Willmann-Bell Inc., th. 1989, hlm. 6.

<sup>11</sup> Jean Meeus, *Elements of Solar Eclipses 1950 -2200*, Virginia : Willmann-Bell Inc., th. 1989, hlm. 6.

<sup>12</sup> Jafar Shodiq, *Studi Analisis Hisab Gerhana Matahari menurut Rinto Anugraha dalam buku Mekanika Benda Langit*, Skripsi Fakultas Syariah Prodi Ilmu Falak UIN Walisongo Semarang 2016.

Meeus

- 1) Perkiraan tahun = tahun + bulan yang telah lewat /12 + tanggal/365.  
Setelah mendapatkan hasil dari perkiraan tahun langkah selanjutnya adalah menentukan nilai lintasaan/perjalanan bulan melalui titik simpul (**k**). Sebagai catatan **k** atau lintasan bulan dimulai dari titik simpul ketika bulan melalui titik simpul baik naik atau turun dari orbitnya, garis lintang geosentrisnya adalah 0. Kemudian perkiraan **k** dapat diperoleh dari rumus berikut:
- 2) Perkiraan nilai **k** = (perkiraan tahun – 2000) \* 12,3685  
Setelah menemukan nilai **k**, nilai **k** adalah bidang bulat yang ditambah dengan 0,5, yaitu karena gerhana bulan hanya terjadi ketika fase bulan purnama, maka untuk perhitungan nilai **k** pada gerhana bulan harus ditambahkan dengan 0,5. Untuk lebih jelasnya sebagai berikut:
  - 1) Bulan baru =  $k = 0$
  - 2) Bulan quarter pertama = 0,25
  - 3) Bulan purnama = 0,5.
- 3) Jika sudah ditambahkan maka langkah selanjutnya adalah mencari nilai **T** atau *Julian Day Centuries*, yaitu adalah waktu dalam abad Julian (*epoch*) 2000.0, dan nilai **T** dapat diperoleh dengan rumus berikut:  $T = k / 1236.85$
- 4) Kemudian langkah selanjutnya adalah menghitung nilai **F** atau argument lintang bulan, yaitu dengan rumus berikut:  
$$F = \text{Modulo} (160,7108 + 390,67050274*k - 0,0016341*T*T; 360)$$
  
Disini **F** akan memberikan informasi sebagai penentu pertama terjadi atau tidaknya gerhana Bulan. Jika selisih **F** berbeda dari kelipatan yang terdekat yaitu  $180^\circ$  yaitu kurang dari  $13.9^\circ$  maka dapat diprediksi bahwasanya akan terjadi gerhana, namun jika perbedaannya atau selisihnya lebih besar dari  $21^\circ$  maka dapat diprediksi tidak akan terjadi gerhana.<sup>13</sup> Perlu diketahui jika nilai **F** mendekati  $0^\circ$  atau  $360^\circ$  maka gerhana terjadi di dekat titik naik bulan (*ascending node*), dan jika nilai **F** mendekati  $180^\circ$  maka gerhana diprediksi terjadi di dekat titik turun Bulan (*descending node*).
- 5) Setelah nilai **F** diketahui, maka langkah berikutnya adalah menghitung nilai **E** yaitu dengan rumus:  
$$E = 1 - 0,002516*T - 0,0000074*T*T$$
- 6) Setelah nilai **E** ditemukan maka langkah selanjutnya adalah menghitung anomali rata-rata matahari yaitu dengan rumus:

---

<sup>13</sup> Jean Meeus, *Astronomical Algorithm*. (Virginia, Willman-Bell inc, 1991). hlm. 153

- (M) = Modulo (  $2,5534 + 29,10535669*k - 0,0000218*T*T:360$  )
- 7) Setelah menemukan nilai rata-rata anomaly matahari, maka langkah selanjutnya adalah menghitung nilai rata-rata anomaly bulan yaitu lama rata-rata bulan mengitari bumi dengan rumus:  
 $(M'') = \text{Modulo} ( 201,5643 + 385,81693528*k + 0,0107438*T*T : 360 )$
- 8) Selanjutnya adalah menghitung bujur naik bulan (Omega) yaitu dengan rumus:  
 $\text{Omega} = \text{Modulo} ( 124,7746 - 1,56375580*k + 0,0020691*T*T:360 )$
- 9) Setelah mendapatkan nilai Omega, maka langkah selanjutnya adalah menghitung F1 yaitu dengan rumus:  
 $F1 = F - 0,02665 * \sin (\text{Omega})$   
 Selanjutnya hasil F1 tersebut dikonversi ke dalam derajat.
- 10) Setelah mendapatkan nilai F1 maka langkah selanjutnya adalah menghitung nilai A1 (*apparent latitude*) yaitu dengan rumus:  
 $A1 = 299,77 + 0.107408*k - 0,009173*T*T$
- 11) Setelah menemukan nilai A1, maka langkah selanjutnya adalah menghitung JDE (*Julian Day Ephemeris*) yang belum terkoreksi dengan rumus:  
 $\text{JDE} = 2451550,09765 + 29,530588853*k + 0,0001337*T*T$
- 12) Selanjutnya adalah menghitung nilai koreksi JDE dengan rumus sebagai berikut:  

$$100 * \text{Koreksi JDE} = - 4065 * \sin (M'') + 1727 * E * \sin (2 * M'') - 97 * \sin (2 * F1) + 73 * E * \sin (M'' - M) - 50 * E * \sin (M'' + M) - 23 * \sin (M'' - 2 * F1) + 21 * E * \sin (2 * M) + 12 * \sin (M'' + 2 * F1) + 6 * E * \sin (2 * M'' + M) - 4 * \sin (3 * M'') - 3 * E * \sin (2 * F1) + 3 * \sin (A1) - 2 * E * \sin (M - 2 * F1) - 2 * E * \sin (M - 2 * F1) ^ 2 * E * \sin (2 * M'' - M) - 2 * \sin (\text{Omega})$$
- 13) Setelah menghitung nilai JDE maka langkah selanjutnya adalah menghitung nilai JDE terkoreksi pada saat gerhana maksimum dengan rumus berikut:  
 $\text{JDE} (\text{Julian Day Ephemeris}) \text{ belum terkoreksi} + \text{koreksi JDE}$
- 14) Setelah JDE diketahui, maka langkah selanjutnya adalah menghitung JD. Pada proses perhitungan JD ini melibatkan langkah-langkah perhitungan lainnya. Pada kalender Julian, secara rata-rata satu tahun didefinisikan sebagai 365,25 hari. Angka ini didapat dari  $(3 \times 365 + 1 + 366)/4$  sehingga dalam kalender Julian terdapat tahun kabisat yaitu tiap 4 tahun. Kalender Julian ini berlaku sampai hari Kamis 4 Oktober 1582 M. Hal ini dikarenakan Paus Gregorius mengubah kalender Julian dengan menetapkan bahwa tanggal 4 Oktober 1582 M adalah Jumat 15 Oktober 1582,



sehingga sejak tanggal 15 Oktober 1582 berlaku kalender Gregorius.

Terjadinya perubahan kalender Julian ke kalender Gregorius disebabkan adanya selisih antara tahun panjang satu tahun dalam kalender Julian dengan panjang rata-rata tahun tropis. Satu tahun kalender Julian adalah 365,2500 hari. Sedangkan panjang rata-rata tahun tropis adalah 365,242 sehingga tahun terdapat selisih 0,0078 hari atau sekitar 11 menit. Namun dalam jangka waktu 128 tahun selisih ini akan menjadi 1 hari sehingga diperkirakan dalam jangka ratusan atau ribuan tahun selisih ini akan menjadi signifikan hingga beberapa hari. Jika dihitung dari 325 M (ketika penetapan musim semi atau vernal ekuinoks pada 21 Maret) sampai dengan tahun 1582 terdapat selisih 9,8 hari. Ini dibuktikan musim semi tahun 1582 jatuh pada 11 maret bukan 21. Maka dari itu kalender Gregorius ditetapkan dengan tanggal melompat 10 hari.

Dalam kalender Gregorius, panjang rata-rata satu tahun adalah 365,2425 hari atau 0,0003 hari ini berarti akan terjadi perbedaan satu hari setelah 3300 tahun. Adanya perubahan dari kalender Julian menjadi Gregorius membuat kesulitan tersendiri untuk membandingkan peristiwa astronomi yang terpisahkan dalam jangka waktu yang lama. Sehingga untuk mengatasi masalah yang timbul diperkenalkannlah dengan Julian Day yang didefinisikan sebagai banyaknya hari yang telah dilalui sejak hari senin tanggal 1 Januari 4713 SM pada pertengahan hari atau jam 12:00 UT (Universal Time) atau GMT. Disini perlu diingat bahwa tahun 4713 SM sama dengan -4712. Untuk menghitung JD pada gerhana Bulan dengan rumus berikut:

$$JD \text{ saat gerhana maksimum} = JDE \text{ terkoreksi} - \Delta T$$

- 15) Setelah JD diketahui langkah selanjutnya adalah menghitung P yaitu dengan rumus berikut:

$$10000 * P = 2070 * E * \sin(M) + 24 * E * \sin(2 * m) - 392 * \sin(M'') + 116 * \sin(2 * M'') - 73 * E * \sin(M'' + M) + 67 * E * \sin(M'' - M) + 118 * \sin(2 * F1)$$

- 16) Setelah nilai P diketahui langkah selanjutnya adalah menghitung nilai Q yaitu dengan rumus berikut:

$$10000 * Q = 52207 - 48 * E * \cos(M) + 20 * E * \cos(2 * M) - 3299 * \cos(M'') - 60 * E * \cos(M'' + M) + 41 * E * \cos(M'' - M)$$

- 17) Setelah diketahui nilai Q langkah selanjutnya adalah menghitung nilai W cari pengertian w di algoritma Jean Meeus) dengan rumus berikut:

$$W = \text{Abs}(\text{Cos}(F1))$$

18) Selanjutnya adalah menghitung nilai Gamma dengan rumus berikut:

$$\text{Gamma} = (P * \text{Cos}(F1) + Q * \text{Sin}(F1)) * (1 - 0,0048 * W)$$

19) Setelah mengetahui nilai Gamma langkah selanjutnya adalah menghitung nilai u dengan rumus berikut:

$$10000 * U = 59 + 46 * E * \text{Cos}(M) - 182 * \text{Cos}(M'') + 4 * \text{Cos}(2 * M'') - 5 * E * \text{Cos}(M + M'')$$

20) Setelah mengetahui nilai U langkah selanjutnya adalah menghitung radius penumbra dengan rumus berikut:

$$\text{Radius Penumbra} = 1,2848 + u$$

21) Setelah diketahui nilai Radius Penumbra langkah selanjutnya adalah menghitung Radius Umbranya dengan rumus berikut:

$$\text{Radius Umbra} = 0,7403 - u$$

22) Setelah diketahui nilai Radius Umbra langkah selanjutnya adalah menghitung nilai Magnitude gerhana penumbra dengan rumus berikut:

$$\text{Magnitude gerhana penumbra} = 1,5573 - u - \text{Abs}(\text{Gamma})/0,545$$

23) Setelah nilai Magnitude gerhana penumbra diketahui langkah selanjutnya adalah menghitung nilai Magnitude gerhana Umbra dengan rumus berikut:

$$\text{Magnitude gerhana umbra} = (1,0128 - u - \text{Abs}(\text{Gamma}))/0,545$$

24) Setelah menemukan nilai Magnitudo gerhana Umbra langkah selanjutnya adalah menentukan nilai PU dengan rumus berikut:

$$P_u = 1,0128 - u$$

25) Setelah ditemukan nilai U langkah selanjutnya adalah menentukan nilai T1 dengan rumus berikut:

$$T1 = 0,4678 - u$$

26) Setelah menemukan nilai T1 langkah selanjutnya adalah nilai H dengan rumus berikut:

$$H = 1,5573 + u$$

27) Setelah mengetahui nilai H langkah selanjutnya adalah menghitung nilai n dengan rumus sebagai berikut:

$$n = 0,5448 + 0,0400 * \text{Cos}(M')$$

28) Setelah nilai n diketahui langkah selanjutnya adalah menghitung nilai semi durasi fase penumbra dengan rumus :

$$\text{Semi Durasi Fase Penumbra} = (60/n) * \text{SQRT}(H * H - \text{Gamma} * \text{Gamma})$$

29) Setelah menemukan nilai semi durasi fase penumbra langkah selanjutnya adalah menghitung nilai semi durasi fase parsial umbra dengan rumus berikut:

$$\text{Semi Durasi Fase Parsial Umbra} = (60/n) * \text{SQRT}(P_u * P_u - \text{Gamma} * \text{Gamma})$$

- 30) Setelah menemukan nilai semi durasi fase parsial umbra langkah selanjutnya adalah menghitung semi durasi fase total umbra dengan rumus berikut:

$$\text{Semi durasi fase total umbra} = (60/n) * \text{SQRT}(T1 * T1 - \text{Gamma} * \text{Gamma})$$

- 31) Setelah menemukan nilai semi durasi fase gerhana Total langkah selanjutnya adalah menghitung awal fase penumbra(P1) dengan rumus berikut:

$$\text{Awal Fase Penumbra (P1)} = \text{waktu jd} - 176.66 \text{ menit}$$

- 32) Setelah menemukan nilai awal fase penumbra (P1) langkah selanjutnya adalah menghitung awal fase Umbra (U1) yaitu dengan rumus berikut:

$$U1 = \text{waktu jd} - 105.8 \text{ menit}$$

- 33) Setelah menemukan nilai awal fase umbra (U1) langkah selanjutnya adalah menghitung nilai awal fase Total (U2) dengan rumus berikut:

$$\text{Awal fase Total (U2)} = \text{waktu jd} - 24.83 \text{ menit}$$

- 34) Setelah menemukan nilai awal fase total, langkah selanjutnya adalah menghitung waktu gerhana maksimum dengan rumus berikut:

$$\text{Gerhana Maksimum} = \text{Awal fase total}$$

- 35) Setelah menemukan waktu gerhana maksimum langkah selanjutnya adalah menghitung waktu akhir fase total (U3) dengan rumus berikut:

$$\text{Akhir fase total (U3)} = \text{waktu gerhana maksimum} + 24.83 \text{ menit}$$

- 36) Setelah mengetahui waktu akhir fase total langkah selanjutnya adalah menghitung akhir fase umbra (U4) dengan rumus berikut:

$$\text{Akhir fase umbra} = \text{waktu gerhana maksimum} + 105.8 \text{ menit}$$

- 37) Kemudian langkah terakhir setelah menemukan nilai akhir fase umbra adalah menghitung nilai akhir fase penumbra yaitu dengan rumus berikut:

$$\text{Akhir fase penumbra (P2)} = \text{waktu gerhana maksimum} + 176.66 \text{ menit}$$

- b. Langkah-langkah perhitungan gerhana Matahari dengan Algoritma Jean Meeus

Adapun langkah-langkah perhitungan gerhana matahari menggunakan metode perhitungan algoritma Jean Meeus yang ada dalam buku *Astronomical Algorithm* yaitu:

- 1) Menghitung nilai  $K$ <sup>14</sup>

$$k = (\text{Tahun} - 2000) \times 12,3685$$

---

<sup>14</sup> Jean Meeus, *Astronomical Algorithms*, (Virginia: Willman Bell, Inc., th. 1991), hlm. 320.

Rumus untuk mencari **k** adalah rumus pendekatan. “Tahun” yang digunakan dalam rumus di atas adalah tanggal yang dinyatakan dalam tahun. Nilai integer **k** menyatakan *new moon*. Dan Jika ingin menghitung nilainya adalah:

- First Quarter =  $k + 0,25$
- Full Moon =  $k + 0,5$
- Last Quarter =  $k + 0,75$

Keterangan diatas bila dirumuskan menjadi :

$$K = \text{INT} (\text{INT} + \text{BULAN}/12) - 2000) \times 12,3685)))$$

## 2) Menghitung nilai JDE<sup>15</sup> (*Julian Day Ephemeris*)

JDE adalah waktu terjadinya *new moon* (yang ingin dicari) dinyatakan dalam *Julian Day* dalam waktu ephemeris (ET) atau waktu dinamik (DT).

Diketahui:  $T = K/126,85$

$$\text{JDE} = 2451550,09765 + 29,530588853 \times k + 0,0001337 \times T^2 - 0,000000150 \times T^3 + 0,00000000073 \times T^4$$

## 3) Menghitung nilai M (Anomali Matahari)

M adalah *sun's mean anomaly* pada waktu JDE

$$M = 2,5534 + 29,1053569 \times k - 0,00000011 \times T^3$$

Hasil dari M adalah dalam satuan derajat, dan harus dirubah menjadi satuan radian, maka caranya harus dirubah menjadi bilangan derajat antara 0° - 360° kemudian baru dirubah ke radian dengan rumus:  $= M \times \pi / 180^\circ$ .

Dan jika hasil M negatif, semisal -8234,262544 derajat, untuk merubah menjadi radian caranya adalah cari kelipatan 360 (positif) yang mendekati nilai M dan lebih besar, yaitu 8280.

$$8280 - 8234,262544 = 45,73745559 \text{ derajat}$$

$$= 45,73745559 \times \pi / 180$$

$$= 0,798269192 \text{ radians}$$

## 4) Menghitung M' (Anomali Bulan)

M' adalah *moon's mean anomaly*

$$M' = 201,5643 + 385,81693528 \times k + 0,0107438 \times T^2 + 0,00001239 \times T^3 - 0,000000058 \times T^4$$

Jika hasil derajat M' negatif, maka caranya seperti di atas, begitu juga untuk perhitungan-perhitungan selanjutnya.

## 5) Menghitung nilai F

F adalah argument latitude bulan

---

<sup>15</sup> Jean Meeus, *Astronomical Algorithms*, (Virginia: Willman Bell. Inc., th. 1991), hlm. 320.

$$F = 160,7108 + 390,67050274 \times k - 0,0016341 \times T^2 - 0,00000227 \times T^3 + 0,000000011 \times T^4$$

Selanjutnya mencari kemungkinan terjadinya gerhana. Jadi nilai F pasti terjadi gerhana jika nilai F antara  $0^\circ - 13^\circ 54'$ ,  $166^\circ 6' - 193^\circ 54'$  atau  $346^\circ 6' - 360^\circ$ . Dan apabila nilai F antara  $14^\circ - 21^\circ$ ,  $159^\circ - 165^\circ$ ,  $194^\circ - 201^\circ$ , atau  $339^\circ - 345^\circ$  ini bisa terjadi gerhana bisa juga tidak terjadi gerhana.

6) Menghitung nilai Omega (  $\Omega$  )

$\Omega$  adalah bujur astronomi Bulan dari *ascending node* atau titik simpul naik orbit bulan. Rumusnya yaitu:

$$\Omega = 124,7746 - 1,56375580 \times k + 0,0020691 \times T^2 + 0,00000215 \times T^3$$

7) Menghitung nilai E

E adalah eksentritas orbit bumi dalam mengitari matahari yang dikoreksi dengan T

$$E = 1 - 0,002516 \times T - 0,0000074 \times T^2$$

8) Menghitung koreksi untuk mengetahui waktu tengah gerhana.<sup>16</sup>

a) Koreksi pertama dengan rumus:

$$= 0,4075 \times \sin M'$$

b) Koreksi kedua dengan rumus:

$$= 0,1721 \times E \times \sin M$$

c) Koreksi ketiga dengan rumus:

$$= 0,0161 \times \sin (2 \times M')$$

d) Koreksi keempat dengan rumus:

$$= 0,0097 \times \sin (2 \times F1)$$

e) Koreksi kelima dengan rumus:

$$= 0,0073 \times E \times \sin (M' - M)$$

f) Koreksi keenam dengan rumus:

$$= -0,0050 \times E \times \sin (M' + M)$$

g) Koreksi ketujuh dengan rumus:

$$= -0,0023 \times \sin (M' - (2 \times F1))$$

h) Koreksi kedelapan dengan rumus:

$$= 0,0021 \times E \times 2M$$

i) Koreksi kesembilan dengan rumus:

$$= 0,0012 \times \sin (M' + (2 \times F1))$$

j) Koreksi kesepuluh dengan rumus:

$$= 0,0006 \times E \times \sin (2 \times M' + M)$$

k) Koreksi kesebelas dengan rumus:

$$= -0,0004 \times \sin (3 \times M')$$

---

<sup>16</sup> Jean Meeus, *Astronomical Algorithms*, (Virginia: Willman Bell. Inc., th. 1991), hlm. 350

- l) Koreksi keduabelas dengan rumus:  

$$= -0,0003 \times E \times \sin (M + (2 \times F1))$$
- m) Koreksi ketigabelas dengan rumus:  

$$= 0,0003 \times \sin A1$$
- n) Koreksi keempatbelas dengan rumus:  

$$= -0,0002 \times E \times \sin (M - (2 \times F1))$$
- o) Koreksi kelimabelas dengan rumus:  

$$= -0,0002 \times E \times \sin (2 \times M' - M)$$
- p) Koreksi keenambelas dengan rumus:  

$$= -0,0002 \times \sin \Omega$$
- q) Kemudian menjumlahkan nilai koreksi tersebut:  

$$= \text{koreksi 1 s/d koreksi 16}$$

Dalam buku (*Astronomical Algorithm*) karya Jean Meeus mengatakan bahwa koreksi tengah gerhana matahari tersebut jika digunakan untuk menghitung gerhana antara tahun 1951 – 2050 mempunyai kesalahan rata-rata 0,36 menit (21,6 detik). Sedangkan kesalahan maksimal mencapai 1,1 menit.

Selanjutnya untuk mengetahui waktu permulaan gerhana (waktu dimulainya gerhana) dan akhir gerhana (waktu berakhirnya gerhana), maka dibutuhkan beberapa elemen yang perlu dihitung. Elemen-elemen tersebut adalah P, Q, W, Y, dan U yang dihitung dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- 1) Menghitung nilai P dengan koreksi-koreksi sebagai berikut:
  - a) Koreksi nilai P pertama dengan rumus:  

$$= 0,2070 \times E \times \sin M$$
  - b) Koreksi nilai P kedua dengan rumus:  

$$= 0,0024 \times E \times 2M$$
  - c) Koreksi nilai P ketiga dengan rumus:  

$$= -0,0393 \times \sin M'$$
  - d) Koreksi nilai P keempat dengan rumus:  

$$= 0,0116 \times \sin 2M'$$
  - e) Koreksi nilai P kelima dengan rumus:  

$$= -0,0073 \times E \times \sin (M' + M)$$
  - f) Koreksi nilai keenam dengan rumus:  

$$= 0,0067 \times E \times \sin (M' - M)$$
  - g) Koreksi nilai ketujuh dengan rumus:  

$$= 0,0118 \times \sin (2 \times F1)$$
  - h) Mencari nilai P total dengan rumus:  

$$= P1 \text{ s/d } P7$$

2) Menghitung nilai Q dengan koreksi-koreksi sebagai berikut:

a) Koreksi Q pertama dengan rumus:

$$= -0,0048 \times E \times \cos M$$

b) Koreksi Q kedua dengan rumus:

$$= 0,0020 \times E \times \cos 2M$$

c) Koreksi Q ketiga dengan rumus:

$$= -0,3299 \times \cos M'$$

d) Koreksi Q keempat dengan rumus:

$$= 0,0060 \times E \times \cos (M' + M)$$

e) Koreksi Q kelima dengan rumus:

$$= 0,0041 \times E \times \cos (M' - M)$$

f) Mencari nilai Q dengan rumus:

$$= 5,2207 + Q1 \text{ s/d } Q5$$

3) Mencari nilai W dengan rumus:

$$= \text{Abs} (\cos F1)^{17}$$

4) Mencari nilai Y dengan rumus:

$$= (P \times \cos x F1 + Q \times \sin F1) \times (1 - 0,0048 \times W)$$

5) Menghitung nilai U dengan koreksi-koreksi sebagai berikut:

a. Koreksi U pertama dengan rumus:

$$= 0,0046 \times E \times \cos M$$

b. Koreksi U kedua dengan rumus:

$$= -0,0182 \times \cos M'$$

c. Koreksi U ketiga dengan rumus:

$$= 0,0004 \times \cos 2M'$$

d. Koreksi U keempat dengan rumus:

$$= 0,0005 \times \cos (M + M')$$

e. Mencari nilai U dengan rumus:

$$= 0,0059 + U1 \text{ s/d } U4$$

6) Mencari nilai magnitudo gerhana<sup>18</sup> dengan rumus:

$$= 1.5433 + U - \text{Abs } Y / 0.5461$$

7) Mencari *semi duration of partial phase*

*Semi duration of partial phase* adalah setengah durasi dari terjadinya gerhana Matahari mulai awal gerhana sampai akhir gerhana. Sebelum menghitung *semi duration of partial phase* ini diperlukan elemen- elemen seperti P dan N. Elemen-elemen tersebut dihitung dengan menggunakan rumus:

$$P = 1,0128 - U$$

---

<sup>17</sup> Jean Meeus, *Astronomical Algorithms*, (Virginia: Willman Bell. Inc., th. 1991), hlm.351.

<sup>18</sup> Jean Meeus, *Astronomical Algorithms*, (Virginia: Willman Bell. Inc., th. 1991), hlm.352.

$$N = 0,5458 + 0,04 \times \cos M'$$

Dan untuk menghitung *semi partial phase* maka rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\frac{60}{N} \times \sqrt{p^2 + y^2}$$

- 8) Menghitung awal gerhana dan akhir gerhana

Awal gerhana = tengah gerhana - *semi duration of partial phase*

Akhir gerhana = tengah gerhana + *semi duration of partial phase*

- 9) Mencari *semi duration of total phase*

*semi duration of total phase* adalah setengah durasi dari terjadinya gerhana Matahari mulai awal total gerhana sampai akhir total gerhana. Sebelum menghitung *semi duration of total phase* ini diperlukan elemen T. Elemen T dihitung dengan menggunakan rumus:

$$T = 0,4678 - U$$

Dan setelah menemukan nilai T maka selanjutnya yang dihitung adalah *semi duration of total phase* yaitu dengan rumus:

$$\frac{60}{N} \times \sqrt{T^2 - y^2}$$

- 10) Menghitung awal total gerhana dan akhir total gerhana

Awal total gerhana = tengah gerhana - *semi duration of total phase*

Akhir total gerhana = tengah gerhana + *semi duration of total phase*

- 11) Menghitung JDE *Terrestrial Dynamical Time* (TDT) terkoreksi

JDE (TDT) = JDE + koreksi tengah gerhana

- 12) Menghitung delta T<sup>19</sup>

$$\text{Delta T} = ((102,3 + 123,5 \times T + 32,5 \times T^2)/3600)$$

- 13) Menghitung JDE *Universal Time* (UT)

$$\text{JDE (UT)} = \text{JDE (TDT)} - \text{Delta T}$$

- 14) Mengkonversi JDE (UT) menjadi waktu local

Metode mengonversi JD menjadi Gregorian ini memberikan hasil yang valid walaupun untuk menghitung tahun “negatif” (sebelum masehi), yaitu dengan cara menambahkan JD dengan 0,5. Maka Z adalah hasil integer nilai tersebut dan fadalah hasil fraction atau desimalnya.

---

<sup>19</sup> Jean Meeus, *Astronomical Algorithms*, (Virginia: Willman Bell. Inc., th. 1991), hlm.73



$$\mathbf{JDE\ (UT) + 0,5}$$

Jika hasil  $Z < 2299161$ , maka  $A = Z$ , namun jika  $Z$  lebih ataupun sama dengan 2299161, maka menghitung :

$$\mathbf{\alpha = INT\ ((Z - 1867216,25)) / 36524,25}$$

$$\mathbf{A = Z + 1 + \alpha - INT(\alpha/4)}$$

Kemudian setelah itu menghitung nilai:

$$\mathbf{B = A + 1524}$$

$$\mathbf{C = INT\ ((B - 122,1) / 365,25)}$$

$$\mathbf{D = INT\ (365,25 \times C)}$$

$$\mathbf{E = INT\ (B - D) / 30,6001)^{20}}$$

Tanggal terjadinya tengah gerhana bisa diketahui dengan menghitung rumus di bawah ini:

$$\mathbf{Tanggal = B - D - INT(30,6001 \times E)}$$

Jam terjadinya tengah gerhana bisa diketahui dengan merubah nilai  $f$  yang merupakan desimal dari Julian Day menjadi satuan jam dengan cara sebagai berikut:

$$\mathbf{Jam = F \times 24}$$

Bulan ( $m$ ) terjadinya tengah gerhana bisa diketahui dengan:

$$\mathbf{Jika\ E < 14, maka\ m = E - 1}$$

$$\mathbf{Jika\ E = 14\ atau\ 15, maka\ m = E - 13}$$

Tahun terjadinya tengah gerhana bisa diketahui dengan menghitung:

$$\mathbf{Jika\ m > 2, maka\ y = C - 4716}$$

$$\mathbf{Jika\ m = 1\ atau\ 2, maka\ y = C - 4715.}$$

## 2. Analisis Tingkat Akurasi Perhitungan Gerhana Menggunakan Algoritma Jean Meeus

Tabel 1 berikut disajikan hasil perhitungan gerhana menggunakan algoritma Jean Meeus yang dibandingkan dengan data waktu terjadinya gerhana yang diakses dari website resmi NASA yaitu <http://eclipse.gsfc.nasa.gov>.

---

<sup>20</sup> Jean Meeus, *Astronomical Algorithms*, (Virginia: Willman Bell. Inc., th. 1991), hlm.63

Tabel 1. Perbandingan Prediksi Waktu Gerhana Bulan 26 Mei 2021 Menggunakan Algoritma Jean Meeus dan NASA

Gerhana Bulan Total 26 Mei 2021				
No.	Keterangan	Jean Meeus	NASA	Selisih
1	Magnitudo penumbra	1.9506	1.9540	0.0034
2	Magnitudo umbra	1.0058	1.0095	0.0037
3	Awal fase penumbra (P1)	08:48:10 UT	08:47:39 UT	00:00:31UT
4	Awal fase umbra (U1)	09:45:19 UT	09:44:57 UT	00:00:22UT
5	Awal fase total (U2)	11:12:52 UT	11:11:25 UT	00:01:27UT
6	Gerhana Maksimum	11:18:30 UT	11:18:40 UT	00:00:10UT
7	Akhir fase total (U3)	11:24:08 UT	11:25:56 UT	00:01:48UT
8	Akhir fase umbra (U4)	12:51:41 UT	12:55:22 UT	00:03:41UT
9	Akhir fase penumbra (P4)	13:48:50 UT	13:49:41 UT	00:00:51UT

Gambar 1 berikut merupakan bentuk perhitungan gerhana Bulan dan Matahari (tahun 2021) menggunakan metode perhitungan Jean Meeus dalam Ms. Excel.

INPUT				
Masukkan perkiraan tanggal, bulan dan tahun =	26	5	2021	
Perkiraan nilai k =	264.509			
Nilai k untuk mengecek gerhana matahari =	265			
Nilai k untuk mengecek gerhana bulan =	264.5			
Masukkan nilai k (bulat atau bulat + 0.5) =	264.5			
Cek jenis gerhana =	CEK GERHANA BULAN			
HASIL				
Gerhana Matahari				
Tipe Gerhana (Sentral/Tidak Sentral/Tidak Ada) =	TIDAK ADA GERHANA MATAHARI			
Tipe Gerhana (Total/Cincin/Parsial) =	TIDAK ADA GERHANA MATAHARI			
Gerhana matahari maksimum pada tanggal	TIDAK ADA	pukul	TIDAK ADA	UT
Gerhana Bulan				
Tipe Gerhana Bulan =	GERHANA BULAN TOTAL			
Awal fase penumbra (P1) pada tanggal	26 Mei 2021	pukul	8:48:10	UT
Awal fase umbra (U1) pada tanggal	26 Mei 2021	pukul	9:45:19	UT
Awal fase total (U2) pada tanggal	26 Mei 2021	pukul	11:12:52	UT
Gerhana bulan maksimum pada tanggal	26 Mei 2021	pukul	11:18:30	UT
Akhir fase total (U3) pada tanggal	26 Mei 2021	pukul	11:24:08	UT
Akhir fase umbra (U4) pada tanggal	26 Mei 2021	pukul	12:51:41	UT
Akhir fase penumbra (P4) pada tanggal	26 Mei 2021	pukul	13:48:50	UT
Magnitude Gerhana Penumbra =	1.9506			
Magnitude Gerhana Umbra =	1.0058			

Gambar 1 Hasil Program Perhitungan Gerhana Bulan 26 Mei 2021 Rentang Tahun 1900-2200 Berdasarkan Algoritma Jean Meeus

Gambar 1 di atas menunjukkan bahwa gerhana bulan total pada tanggal 26 Mei 2021, dimana pada perhitungan Algoritma Jean Meeus gerhana total maksimumnya terjadi pada pukul 11:18:30 sedangkan untuk perhitungan NASA terjadi pada pukul 11:18:40 dan selisihnya terpaut 10 detik sedangkan untuk fase totalnya terpaut 01 menit 27 detik dan pada fase akhir umbranya terpaut 03 menit 41 detik dan untuk selisih magnitudo penumbra dan umbranya sebesar 0,0034 dan 0,0037.

Tabel 2 Perbandingan Prediksi Waktu Gerhana Matahari Cincin 10 Juni 2021 Menggunakan Algoritma Jean Meeus dan NASA

Gerhana Matahari Cincin (Annular) 10 Juni 2021				
No	Keterangan	Jean Meeus	NASA	Selisih
1	Magnitudo gerhana	0.94351	0.9435	0.00001
2	Lebar lintasan gerhana	522.8 Km	527.1 Km	4.2 Km
3	Durasi gerhana	03 <sup>m</sup> 51.4 <sup>d</sup>	03 <sup>m</sup> 51.2 <sup>d</sup>	00 <sup>m</sup> 00.2 <sup>d</sup>
4	Altitude	23.366 derajat	23.3 derajat	0.066derajat
5	Azimuth	90.08 derajat	89.8 derajat	0.28 derajat
6	Maksimum gerhana	10:42:04 UT	10:41:51 UT	00:00:31UT

Waktu (WIB) =	Jam	Menit	Detik	WIB
Waktu (UT) =	10	42	4	UT
Delta T (detik) =			72.4	detik
Waktu (TD) =	10.72122222			TD
Waktu referensi (T0) =	11			TD
t =	-0.27877778			jam

Elemen Bessel	X	Y	d	M	L1	L2	tan f
0	-0.018644	0.925935	23.04229	345.12692	0.564373	0.018158	
1	0.5012289	0.0887765	0.002841	14.999199	-0.0000551	-0.0000548	0.004606
2	0.0000342	-0.0001797	-0.000005		-0.0000098	-0.0000097	0.004583
3	-0.00000571	-0.00000113					

Hasil	
B =	0.39771
Lintang geografis lokasi =	POSITIF 80:53:43 derajat
Bujur geografis lokasi =	NEGATIF 66:38:42 derajat
Altitude matahari =	POSITIF 23:22:01 derajat = 23.36699 derajat
Azimuth matahari =	90:05:18 derajat = 90.08846 derajat
Lebar lintasan =	522.8 km
Durasi gerhana total di lokasi =	3 menit dan 51.4 detik
Awal gerhana di lokasi = pukul	17:40:08 (WIB)
Akhir gerhana di lokasi = pukul	17:44:00 (WIB)
Jenis Gerhana =	CINCIN
Sudut radius bulan/matahari =	0.94351

Gambar 2 Hasil Perhitungan Program Gerhana Matahari cincin (Annular) 10 Juni 2021 Menggunakan Algoritma Jean Meeus.

Tabel 2 di atas menunjukkan bahwa gerhana Matahari cincin (Annular) pada tanggal 10 juni 2021, dimana untuk perhitungan algoritma Jean Meeus yang dibandingkan dengan data hasil perhitungan dari NASA yang memiliki selisih yang sedikit yaitu pada perhitungan magnitudo

gerhana sebesar 0.00001 saja, dan untuk lebar lintasannya memiliki selisih sebesar 4.2 Km dan untuk durasi waktu gerhananya berselisih  $00^m 00.2^d$  sedangkan untuk altitude (ketinggian) dan azimuth (sudut putar dari arah barat ke timur) dengan selisih 0.066 derajat dan 0.028 derajat sedangkan untuk fase gerhana maksimumnya memiliki selisih 13 detik.

Pada perhitungan gerhana Matahari ini penulis tidak mengikut sertakan data hasil perhitungan kontak fase gerhana tidak seperti pada data hasil perhitungan gerhana bulan. Hal tersebut karena perhitungan fase kontak pada gerhana Matahari tergantung pada lokasi lintang dan bujur pengamat.

Tabel 3. Perbandingan Prediksi Waktu Gerhana Bulan Parsial 19 November 2021 Menggunakan Algoritma Jean Meeus dan NASA

Gerhana Bulan Parsial 19 November 2021				
No	Keterangan	Jean Meeus	NASA	Selisih
1	Magnitudo Penumbra	2.0716	2.0720	0.0004
2	Magnitudo umbra	0.9721	0.9742	0.0021
3	Awal fase penumbra (P1)	06:04:01 UT	06:02:09 UT	00:01:52UT
4	Awal fase umbra (U1)	07:20:13 UT	07:18:41 UT	00:01:32UT
5	Maksimum gerhana	09:03:35 UT	09:02:53 UT	00:00:42UT
6	Akhir fase umbra (U4)	10:46:58 UT	10:47:04 UT	00:00:06UT
7	Akhir fase penumbra (P4)	12:03:09 UT	12:03:38 UT	00:00:29UT

#### INPUT

Masukkan perkiraan tanggal, bulan dan tahun =	19	11	2021
Perkiraan nilai k =	270.456		
Nilai k untuk mengecek gerhana matahari =	270		
Nilai k untuk mengecek gerhana bulan =	270.5		
Masukkan nilai k (bulat atau bulat + 0.5) =	270.5		
Cek jenis gerhana =	CEK GERHANA BULAN		

#### HASIL

<b>Gerhana Matahari</b>			
Tipe Gerhana (Sentral/Tidak Sentral/Tidak Ada) =	TIDAK ADA GERHANA MATAHARI		
Tipe Gerhana (Total/Cincin/Parsial) =	TIDAK ADA GERHANA MATAHARI		
Gerhana matahari maksimum pada tanggal	TIDAK ADA	pukul	TIDAK ADA UT
<b>Gerhana Bulan</b>			
Tipe Gerhana Bulan =	GERHANA BULAN PARSIAL		
Awal fase penumbra (P1) pada tanggal	19 November 2021	pukul	6:04:01 UT
Awal fase umbra (U1) pada tanggal	19 November 2021	pukul	7:20:13 UT
Awal fase total (U2) pada tanggal	TIDAK ADA	pukul	TIDAK ADA UT
Gerhana bulan maksimum pada tanggal	19 November 2021	pukul	9:03:35 UT
Akhir fase total (U3) pada tanggal	TIDAK ADA	pukul	TIDAK ADA UT
Akhir fase umbra (U4) pada tanggal	19 November 2021	pukul	10:46:58 UT
Akhir fase penumbra (P4) pada tanggal	19 November 2021	pukul	12:03:09 UT
Magnitude Gerhana Penumbra =	2.0716		
Magnitude Gerhana Umbra =	0.9721		

Gambar 3 Hasil Program Perhitungan Gerhana Bulan 19 November 2021 Rentang Tahun 1900-2200 Menggunakan Algoritma Jean Meeus

Dari Tabel 3 menunjukkan bahwa pada gerhana Bulan Parsial yang terjadi pada 19 November 2021, dimana antara perhitungan Algoritma Jean Meeus dengan data hasil perhitungan dari NASA memiliki selisih yang sedikit yaitu pada fase gerhana Bulan Maksimum antara perhitungan Jean Meeus dengan NASA memiliki selisih 42 detik, sedangkan untuk perhitungan fase penumbra 1 (P1) berselisih 1 menit 52 detik dan untuk magnitude penumbra dan umbranya hanya berselisih 0.0004 dan 0.0021.

Tabel 4. Perbandingan Prediksi Waktu Gerhana Matahari Total 4 Desember 2021 Menggunakan Algoritma Jean Meeus dan NASA

Gerhana Matahari Total 4 Desember 2021				
No	Keterangan	Jean Meeus	NASA	Selisih
1	Magnitudo gerhana	1.03673	1.0367	0.00003
2	Lebar lintasan gerhana	415.8 Km	418.6 Km	2.8 Km
3	Durasi gerhana	01 <sup>m</sup> 54.5 <sup>d</sup>	01 <sup>m</sup> 54.4 <sup>d</sup>	00 <sup>m</sup> 00.1 <sup>d</sup>
4	Altitude	17.129	17.2 derajat	0.071 derajat
5	Azimuth	115.37 derajat	114.8 derajat	0.57 derajat
6	Gerhana maksimum	07:33:55 UT	07:33:22 UT	00:00:33UT

	Jam	Menit	Detik	
Waktu (WIB) =	14	33	55	WIB
Waktu (UT) =	7	33	55	UT
Delta T (detik) =			72.7	detik
Waktu (TD) =	7.585472222			TD
Waktu referensi (T0) =	8			TD
t =	-0.414527778			jam

Elemen Bessel	X	Y	d	M	L1	L2	tan f
0	0.025243	-0.983838	-22.27472	302.45219	0.537798	-0.008285	
1	0.5683028	-0.1315142	-0.005178	14.997279	-0.000016	-0.000016	0.0047434
2	0.0000391	0.0002213	0.000006		-0.0000131	-0.0000131	0.0047198
3	-0.00000966	0.0000024					

Hasil	
B =	0.29532
Lintang geografis lokasi =	NEGATIF 77:00:54 derajat
Bujur geografis lokasi =	NEGATIF 47:00:52 derajat
Altitude matahari =	POSITIF 17:07:44 derajat = 17.12901 derajat
Azimuth matahari =	115:22:29 derajat = 115.37478 derajat
Lebar lintasan =	415.8 km
Durasi gerhana total di lokasi =	1 menit dan 54.5 detik
Awal gerhana di lokasi = pukul	14:32:58 (WIB)
Akhir gerhana di lokasi = pukul	14:34:52 (WIB)
Jenis Gerhana =	TOTAL
Sudut radius bulan/matahari =	1.03673

Gambar 4 Hasil Perhitungan Program Gerhana Matahari Total 4 Desember 2021 Berdasarkan Algoritma Jean Meeus.

Tabel 4 di atas menunjukkan bahwa gerhana Matahari total yang terjadi pada 4 Desember 2021, dimana antara perhitungan Algoritma Jean

Meeus dan data hasil perhitungan NASA hampir sama tetapi memiliki selisih yang sedikit yaitu pada magnitude gerhananya dengan selisih sebesar 0.00003 dan pada lebar lintasannya memiliki selisih sebesar 2.8 Km dan untuk durasi waktu terjadinya gerhana hampir sama dan memiliki selisih hanya 0.1 detik sedangkan untuk altitude dan azimuth nya memiliki selisih yang sedikit yaitu sebesar 0.071 derajat untuk altitude dan 0.57 derajat untuk azimuth. Sedangkan untuk gerhana maksimumnya hanya berselisih 33 detik.

Berdasarkan perbandingan data hasil perhitungan gerhana Bulan dan Matahari tahun 2021 menggunakan Algoritma Jean Meeus dan NASA di atas, diperoleh selisih perbedaan data pada menit dan detiknya yaitu sekitar 1 sampai 2 menit, dan rata-rata hanya berselisih pada detiknya saja. Oleh karena itu, tingkat akurasi algoritma Jean Meeus ini bisa dinilai cukup tinggi.

#### **D. Kesimpulan**

Perhitungan gerhana menggunakan Algoritma Jean Meeus diawali dengan mencari elemen Bessel untuk gerhana yang akan diamati dan dilanjutkan dengan menentukan waktu-waktu atau fase yang akan diamati pada saat gerhana baik gerhana bulan maupun gerhana matahari. Data yang digunakan untuk mengetahui terjadinya gerhana tersebut adalah data dari elemen Bessel (*Besselian Element*). Elemen Bessel ini dipakai untuk menentukan posisi geografis di Bumi yang terkena gerhana melalui sebuah bidang yang dinamakan bidang fundamental. Nilai konstanta yang terdapat dalam elemen Bessel sudah menggunakan basis data dari teori VSOP87 untuk posisi Matahari dan ELP2000 untuk posisi Bulan. Nilai-nilai konstanta dalam elemen Bessel akan berbeda untuk setiap gerhana. Data elemen Bessel didapatkan dari buku *Elements of Solar Eclipses* karya Jean Meeus. Selanjutnya, metode perhitungan gerhana Algoritma Jean Meeus ini juga merupakan metode hisab hakiki tahkiki karena proses perhitungannya berdasarkan data astronomis yang diolah dengan *spherical trigonometry* (ilmu ukur segitiga bola) dengan koreksi-koreksi gerak Bulan maupun Matahari yang sangat teliti). Selain itu, metode ini juga berpangkal pada aliran heliosentris. Sementara, tingkat akurasi algoritma Jean Meeus untuk penentuan gerhana Bulan dan Matahari dinilai cukup akurat karena perbandingan hasil perhitungannya dengan NASA memiliki rata-rata perbedaan pada detiknya saja.

## Daftar Pustaka

- Abdullah Haidir, Fiqih Tentang Gerhana Matahari dan Bulan, <http://Manjuna.com/Fiqih-Tentang-Gerhana-Matahari-dan-Bulan>. Diakses pada hari Kamis, tanggal 3 Juni 2021, pukul 20:30 WITA.
- Abdul Karim & M. Rifa Jamaluddin Nasir, “Mengenal Ilmu Falak Teori dan Implementasi”. Yogyakarta: Penerbit Qudsi Media, 2017.
- Abu Sabda, Ilmu Falak Rumusan Syar’i dan Astronomi, (Bandung: Persis Pers, 2019).
- Ahmad Izzudin, M. Ag., Ilmu Falak Praktis Metode Hisab Rukyat Praktis dan Solusi Permasalahannya. 2015.
- Ahmad Ma’ruf Maghfur, “Studi Analisis Hisab Gerhana Bulan dan Matahari dalam Kitab Fath al-Ra’uf al-Mannan”. Skripsi, IAIN Walisongo, Semarang, 2012.
- Ainul Yaqin dan Fahmi Fatwa Rosyadi, “Hadist gerhana dan wafatnya Ibrahim ibn Muhammad”. Tahkim, Vol.1, No 01, 2018.
- Alimuddin, Gerhana Matahari Perspektif Astronomi, (Al-Daulah: Jurnal Hukum Pidana dan Ketatanegaraan) Vol 3 No. 1.
- Anonim, <http://id.m.wikipedia.org/okultasi> ,diakses pada Rabu 2 Juni 2021, pukul 07:32 WITA.
- Anonim. <https://en.wikipedia.org/wiki/JeanMeeus>. Diakses pada tanggal 7 Maret 2021, pukul 13:21 WITA.
- Anonim, <http://m.erasmuslim.com/> Transformasi Sistem Koordinat. Diakses pada Rabu, 2 Juni 2021 pukul 08:42 WITA.
- Anonim, <http://eclipse.gsfc.nasa.gov>. Diakses pada hari Kamis, tanggal 3 Juni 2021, pukul 20:38 WITA.
- Arwin Juli Rakmadi Butar-Butar., Pengantar Ilmu Falak Teori, Praktik dan Fiqih, Raja Grafindo Persada, 2014.
- Dendy Sugono, Kamus Bahasa Indonesia, Jakarta: Pusat Bahasa 2008.
- Ehsan Hidayat, Penentuan Jumlah Gerhana Matahari dengan Argumen Lintang Bulan dan Teori Aritmatika. Jurnal Studi Islam Pascasarjana Ilmu Falak UIN Walisongo, Volume 15, Nomor 01, Semarang, Januari, 2019.
- Irfan Tamwif, Metode Penelitian. Sidoarjo: CV Intan, Jilid XII, Sidoarjo 2014.
- Isnaeni, dkk, “Implementasi Algoritma Meeus dalam penentuan Waktu Shalat dan Pencarian Masjid terdekat. Studi Informatika; Jurnal Sistem Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Syarif Hidayatullah, Vol. 8 (1), Jakarta, 2015.
- Jafar Shodiq, “Studi Analisis Hisab Gerhana Matahari menurut Rinto Anugraha dalam buku Mekanika Benda Langit”, Skripsi Fakultas Syariah Prodi Ilmu Falak UIN Walisongo ,Semarang, 2016.
- Jean Meeus, Astronomical Algorithms. Virginia: Willman Bell. Inc, Th. 1991.
- Jean Meeus, Elements of Solar Eclipse 1951 – 2200. Virginia : Willmann-Bell, Inc. Th. 1989.

- Kementerian Agama Republik Indonesia, Almanak Hisab Rukyah. Direktorat Jendral Bimbingan Masyarakat Islam, Jakarta, 2007.
- Kementerian Agama Republik Indonesia, Ilmu Falak Praktik, Direktorat Pembinaan Syariah dan Hisab Rukyat, Jakarta, 2013.
- Kementerian Agama Republik Indonesia, Ephemeris Hisab Rukyat 2021, Direktorat Jendral Bimbingan Masyarakat Islam, November 2020.
- Khazin Alfani, Telaah Perhitungan Waktu Shalat dengan Algoritma VSOP87, Tesis Magister Hukum Islam, Semarang, 2011.
- Miftach Rizcha Afifi, "Akurasi Perhitungan Gerhana Bulan menurut Jean Meeus menggunakan Software Matlab". Digital Library, Uin Sunan Ampel, Surabaya, 2019.
- Muhammad Hadi Bashori, Pengantar Ilmu Falak. Pustaka Al Kautsar, Jakarta 2015.
- Muhammad Jayusman, Fenomena Gerhana dalam Wacana Hukum Islam dan Astronomi. Jurnal Al-ADALAH, IAIN Walisongo, Vol.X, No.2, Semarang, Juli 2011.
- Muhyidiin Khazin, Ilmu Falak dalam Teori dan Praktik. Buana Pustaka, Yogyakarta, 2004.
- Muh. Rasywan Syarif, Fiqh Astronomi Gerhan Matahari, Tesis UIN Walisongo, Semarang: Program Pasca Sarjana UIN Walisong, th. 2012
- Qamaruzzaman, "Gerhana dalam Perspektif Islam dan Astronomi". Jurnal Empirisma, Vol. 25, No. 2, Juli, 2016.
- Rinto Anugraha, Gerhana Matahari 9 Maret 2016 dan Perhitungannya dengan Algoritma Jean Meeus, Seminar Nasional Gerhana Matahari 2016 Milik Indonesia, Jawa Tengah 2016.
- Rinto Anugraha, Mekanika Benda Langit, (Yogyakarta: Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Gadjah Mada), 2012.
- Saiful Mujab,"Gerhana; antara Mitos, Sains, dan Islam". YUDISIA:Jurnal pemikiran Hukum dan Hukum Islam, Vol. 5, No. 1. Jurusan Syariah STAIN Kudus, Juni, 2014.
- Siti Lailatul Mukarromah, "Perhitungan Gerhana Matahari dengan Algoritma NASA". Jurnal Studi dan Penelitian Hukum Islam, Volume 2, Nomor 2, Bulan April, Tahun 2019.
- Sukma Perdana Prasetya, Gerhana. Jurnal Pendidikan Geografi FIS Universitas Negeri Surabaya. <http://geo.fish.unesa.ac.id>.
- Suiknan Azhari, Ensiklopedi Hisab Rukyat. Pusataka Pelajar: Yogyakarta, 2012.