

Comparison of Tracking Calculation Method of Solar Eclipse and Al-Durru Al-Anîq in Local Solar Eclipse

Muhammad Farih al Husna, Amir Tajrid, Ahmad Adib Rofiuddin

Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang

farih.alhusna@gmail.com, amir@walisongo.ac.id, adibudin08@walisongo.ac.id

Abstract: *Tracking solar eclipses is a method for calculating local solar eclipses written by Muhammad Wasil. The method that has been outlined in this program is said to have a high level of accuracy. Another method that has been recognized for its level of accuracy is the creation of K.H. Ahmad Ghozali in the book al-Durru al-Anîq. Even though both methods are classified as contemporary reckoning, differences in the algorithms will result in differences in the final results. This is the basis for studying the two methods to find out the specifications of the differences in the algorithms used, as well as knowing how far the difference in the calculation results is. This research examines it using a comparative analysis approach. As a result, the differences in the two methods include the data input source, stages and formulas used, as well as differences in the final calculation results, which range from 0 to 29 seconds.*

Keywords: *Tracking solar Eclipses, al-Durru al-Anîq, local solar Eclipse.*

Abstrak: *Tracking gerhana Matahari merupakan salah satu metode perhitungan gerhana Matahari lokal yang dikarang oleh Muhammad Wasil. Metode yang telah dituangkan dalam sebuah program ini terbilang memiliki tingkat akurasi tinggi. Metode lain yang telah diakui tingkat akurasinya ialah karya K.H. Ahmad Ghozali dalam kitab al-Durru al-Anîq. Kedua metode tergolong hisab kontemporer, namun algoritmanya berbeda. Dengan perbedaan algoritma tersebut, tentu akan menghasilkan perbedaan pada hasil akhir perhitungannya. Ini menjadi landasan untuk mengkaji kedua metode guna mengetahui spesifikasi perbedaan algoritma yang digunakan, serta mengetahui seberapa jauh selisih pada hasil perhitungannya. Penelitian ini mengkaji dengan menggunakan pendekatan analisis komparatif. Hasilnya, ditemukan perbedaan pada kedua metode meliputi, sumber input data, tahapan dan rumus yang digunakan, serta perbedaan pada hasil akhir perhitungan memiliki selisih berkisar 0 hingga 29 detik.*

Kata Kunci: *Tracking gerhana Matahari, al-Durru al-Anîq, gerhana Matahari lokal.*

A. Pendahuluan

Gerhana Matahari merupakan fenomena alam periodik yang masuk dalam ranah kajian ilmu falak. Perhitungan untuk memprediksi terjadinya fenomena ini tergolong paling rumit jika dibandingkan dengan kajian perhitungan lain pada ilmu falak seperti, perhitungan waktu shalat, arah kiblat dan awal bulan kamariah. Hal ini dikarenakan perhitungan gerhana Matahari berkaitan langsung dengan tiga objek yang selalu bergerak, yaitu Matahari, Bumi, dan Bulan.

Hingga saat ini telah banyak metode yang dapat digunakan untuk memprediksi terjadinya fenomena gerhana Matahari dari metode hisab klasik hingga metode yang kontemporer. *Tracking* gerhana Matahari merupakan sebuah metode perhitungan temuan ahli falak Muhammad Wasil. Metode perhitungan ini dituangkan kedalam sebuah program yang diberi nama program *Tracking* Gerhana Matahari. Program ini selesai dirancang pada tahun 2013 dan pernah dijadikan sebagai bahan ajar pada seminar PWNU Kaderisasi Ulama Hisab di Surabaya, Jawa Timur pada tahun 2016.¹

K.H. Ahmad Ghozali dikenal sebagai seorang ulama ahli falak dengan berbagai sumbangsih pemikirannya. Salah satu kitab karangannya ialah kitab *al-Durru al-Anîq*. Didalam kitab *al-Durru al-Anîq*, salah satu bab yang dibahas ialah tentang perhitungan gerhana Matahari global dan lokal.

Sudah ada penelitian sebelumnya yang mengkaji masing – masing dari dua metode ini. Berdasarkan penelitian sebelumnya, metode *tracking* gerhana matahari dan metode perhitungan dalam kitab *al-Durru al-Anîq* tergolong metode hisab kontemporer dan memiliki akurasi yang tinggi.

¹ Muhammad Farih al Husna, “Analisis Program *Tracking* Gerhana Matahari Karya Muhammad Wasil”, (UIN Walisongo Semarang, 2019), 41.

Meskipun begitu belum ada yang membandingkan kedua metode, padahal jika kedua metode ini dibandingkan akan ditemukan selisih pada hasil perhitungan gerhana Matahari lokal.

Penelitian mengenai metode *Tracking* Gerhana Matahari karya Muhammad Wasil telah di kaji sebelumnya terkait keakurasiannya dalam oleh Muhammad Farih al Husna dalam skripsi yang berjudul “*Studi analisis program tracking gerhana matahari karya Muhammad Wasil*”. Penelitian ini menyimpulkan bahwa Program *Tracking* Gerhana Matahari memiliki tingkat akurasi tinggi pada segi prediksi waktu dan akurasi rendah untuk prediksi koordinat lokasi gerhana Matahari global.

Kajian tentang kitab *al-Durru al-Anîq* juga telah di bahas oleh Khotibul Umam dalam skripsinya “*Studi Pemikiran K.H. Ahmad Ghozali Tentang Metode Hisab Gerhana Matahari Global dalam Kitab al-Durru al-Anîq*”. Kajian ini menyimpulkan hasil perhitungan memiliki selisih berkisar 00.2d s/d 01m 33d untuk waktu secara keseluruhan. Sedangkan koordinat greatest eclipse berkisar 00° 00' 03” s/d 00° 00' 43”. Selisih ini diperoleh dengan mengkomparasikan dengan hasil peritungan NASA.²

Berbeda dengan kajian yang akan penulis lakukan, yaitu penulis akan mengkomparasikan metode *tracking* gerhana Matahari karya Muhammad Wasil dengan metode K.H Ahmad Ghozali dalam kitab *al-Durru al-Anniq*. Sehingga dapat diketahui perbedaan dari kedua metode dalam perhitungan gerhana Matahari lokal, serta mengetahui secara detail seberapa jauh selisih pada hasil perhitungannya.

Jenis penelitian ini merupakan *library research* dengan pendekatan komparatif. Penulis akan menyajikan dua metode perhitungan yang

² Khotibul Umam, Studi Pemikiran KH. Ahmad Ghozali tentang Metode Hisab Gerhana Matahari Global dalam Kitab *al-Durru al-Anîq*”, (Skripsi, UIN Walisongo Semarang : 2019), 111.

merupakan sumber data primer, kemudian melakukan perbandingan pada kedua data tersebut dan menganalisa seberapa jauh selisih pada hasil perhitungan antara kedua metode..

B. Pembahasan

1. Konsep Gerhana Matahari

Gerhana atau eklips menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia ialah penutupan sebagian atau seluruh sinar matahari dilihat dari bumi (apabila bulan berada pada garis antara matahari dan bumi), atau penutupan sebagian atau seluruh pantulan sinar bulan dilihat dari bumi (apabila bumi berada di antara matahari dan bulan).³ Gerhana memiliki persamaan makna dengan kata *eclipse* (Inggris) atau *ekleipsis* (Yunani) atau *eklipsis* (Latin).⁴ Dalam bahasa arab, *kusuf* dan *khusuf* digunakan untuk menyebut gerhana Matahari maupun Bulan. Namun kata *kusuf* lebih dikenal untuk gerhana Matahari (*kusuf al-syams*) dan kata *khusuf* untuk penyebutan gerhana Bulan (*khusuf al-qamar*).⁵ Gerhana juga bisa diartikan sebagai suatu kejadian dimana tertutupnya sumber cahaya oleh benda lain.⁶

Gerhana Matahari secara terminologi ialah fenomena terhalangnya sinar matahari yang menuju ke bumi, dikarenakan terhalang oleh bulan saat berada dalam satu garis lurus di antara bumi dan matahari. Atau bisa didefinisikan sebagai fenomena piringan bulan menutupi piringan matahari dilihat dari bumi baik sebagian atau

³ KBBI Daring, <https://kbbi.kemdikbud.go.id/entri/eklips>, diakses pada 15 Mei 2024.

⁴ Slamet Hambali, *Pengantar Ilmu Falak Menyimak Proses Pembentukan Alam Semesta*, (Banyuwangi: Bismillah Publisher, 2012), 228.

⁵ Ahmad Izzuddin, *Ilmu Falak Praktis*, (Semarang: PT. Pustaka Rizki Putra, 2012), 105.

⁶ Susiknan Azhari, *Ensiklopedi Hisab Rukyat*, (Yogyakarta : Pustaka Pelajar, cet. II, 2008), 71.

seluruhnya. Meskipun ukuran bulan lebih kecil dari pada matahari, bulan mampu menghalangi cahaya matahari sepenuhnya akibat jarak rata-rata bulan sebesar 384.400 km lebih dekat dari bumi dibandingkan dengan jarak rata-rata matahari sebesar 149.680.000 km.⁷

Gerhana Matahari terjadi pada siang hari dan pada fase Bulan baru (konjungsi). Berbeda dengan gerhana Bulan, gerhana Matahari hanya dapat terlihat dari daerah yang terbatas di permukaan Bumi.⁸ Namun tidak setiap konjungsi akan terjadi gerhana, karena bidang *ellips* lintasan Bumi dan bidang *ekliptika* membentuk sudut 0° yang artinya kedua bidang ini berimpit. Sedangkan bidang lintasan bulan dan bidang ekliptika tidak berimpit, melainkan berpotongan dan membentuk sudut rata-rata sebesar $5^\circ 8'$ yang bervariasi antara $4^\circ 27'$ dan $5^\circ 20'$. Adapun ekliptika sendiri membentuk sudut sekitar $23^\circ 27'$ dengan ekuator langit.⁹

Ditinjau dari kenampakan gerhana Matahari yang terlihat di permukaan Bumi dapat dibagi menjadi tiga kriteria secara umum, yaitu (1) gerhana Matahari total; (2) Gerhana Matahari sebagian (*partial*); (3) Gerhana Matahari cincin (*Annular Solar Eclipse*).¹⁰

Gerhana Matahari total ialah apabila saat puncak gerhana, piringan Matahari tertutup sepenuhnya oleh piringan Bulan yang mana kerucut umbra mengenai Bumi. Gerhana Matahari sebagian (*partial*), terjadi apabila piringan Bulan (saat puncak gerhana) hanya menutupi

⁷ Slamet Hambali, Pengantar Ilmu Falak, 114..

⁸ UPT Observatorium Bosscha Institut Teknologi Bandung, *Perjalanan Mengenal Astronomi*, (Bandung: ITB, 1995), 31

⁹ Watni Marpaung, *Pengantar Ilmu Falak*, Jakarta: Prenadamedia Grup, cet I, 2015, 88. Baca juga bukunya M. Yusuf Harun, *Pengantar Ilmu Falak*, (Banda Aceh: Yayasan Pena), 2008, 96.

¹⁰ Ahmad Izzuddin, *Ilmu Falak (Metode Hisab-Rukyah dan Solusi Permasalahannya)*, (Semarang: Komala Grafika), 2006, hlm. 86

sebagian dari piringan Matahari. Pada bagian ini, selalu ada piringan matahari yang tidak tertutup piringan Bulan. Gerhana matahari cincin terjadi apabila piringan Bulan saat puncak gerhana hanya menutup sebagian dari piringan Matahari atau gerhana sentral, yang mana perpanjangan kerucut umbra mengenai Bumi. Gerhana jenis ini terjadi bila ukuran piringan Bulan lebih kecil dari piringan Matahari, sehingga ketika piringan Bulan berada di depan piringan Matahari, tidak seluruh piringan Matahari akan tertutup oleh piringan Bulan. Bagian piringan Matahari yang tidak tertutup oleh piringan Bulan, akan berada di sekitar piringan Bulan dan terlihat seperti cincin yang bercahaya.¹¹

Secara umum gerhana Matahari dibagi menjadi dua bagian, yaitu gerhana sentral dan non sentral. Gerhana sentral adalah gerhana yang terjadi dengan garis penghubung Matahari-Bulan berpotongan dengan permukaan Bumi. Gerhana Non Sentral adalah gerhana yang terjadi dengan garis penghubung Matahari-Bulan tidak berpotongan dengan permukaan Bumi.¹²

Jika gerhana Matahari ditinjau dari Bumi secara umum (global), dibagi menjadi enam tipe, yaitu:¹³

1. Gerhana matahari tipe P (parsial), ketika hanya sebagian dari kerucut umbra Bulan yang mengenai Bumi. Pengamat (*region of visibility*) hanya dapat melihat sebuah gerhana parsial.

¹¹ Ahmad Izzuddin, *Ilmu Falak (Metode Hisab-Rukyah dan Solusi Permasalahannya)*, (Semarang :Komala Grafika), 2006, 86

¹² Ahmad Ghozali, *Al-Durru Al-Aniq*, (Sampang: LAFAL, Lajnah Falakiyah Lanbulan, Cet. II, 1437 H.), 47.

¹³ Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*, (Yogyakarta: Jurusan Fisika FMIPA UGM, 2012), 126-127.

2. Gerhana matahari tipe T atau gerhana Matahari 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.
3. Gerhana matahari tipe A atau gerhana cincin, yaitu gerhana sentral yang mana perpanjangan kerucut umbra mengenai Bumi.
4. Gerhana matahari tipe A-T atau tipe cincin total (hybrid) yaitu gerhana sentral dimana sebagian gerhana berupa gerhana total sedang sebagian lainnya berupa gerhana cincin.
5. Gerhana matahari (I) atau 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.
6. Gerhana matahari (A) atau gerhana non-sentral cincin, dimana hanya sebagian dari perpanjangan kerucut umbra yang mengenai (yaitu daerah kutub), tetapi sumbu kerucut umbra tidak mengenai permukaan Bumi.

2. Metode *Tracking* Gerhana Matahari karya Muhammad

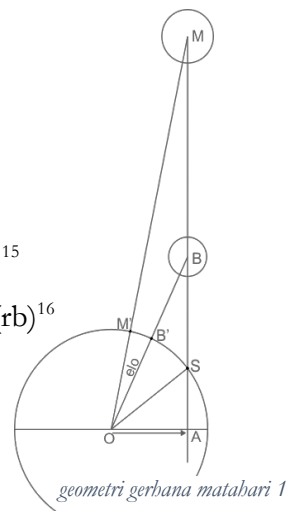
Wasil

Muhammad Wasil ialah ahli falak kelahiran Sleman, pada tanggal 23 Oktober tahun 1973. Dalam penyusunan rumus Program Tracking Gerhana Matahari beliau melibatkan beberapa pihak sesama pegiat ilmu falak diantaranya Gus Ahmad Rifa'I, Ustadz Ali mustofa

dan Muhammad sahan rosyidi. Metode ini selesai disusun dan dituangkan kedalam sebuah program pada tahun 2013.¹⁴

Dalam metode *tracking* gerhana Matahari data – data yang dibutuhkan untuk perhitungan gerhana Matahari lokal yaitu:

- Jarak bumi matahari dalam satuan jari-jari bumi (jm)
- Jarak bumi bulan dalam satuan jari-jari bumi (jb)
- Deklinasi Matahari (dm)
- Deklinasi Bulan (db)
- Universal Time
- Jari-jari matahari dalam satuan jari-jari bumi (rm)¹⁵
- Jari-jari bulan dalam dalam satuan jari-jari bumi (rb)¹⁶
- Asensioekta matahari (Ram)
- Asensioekta bulan (Rab)
- Koordinat lokasi (X)
- Perata Waktu (PW) / Equation of Time



Tahapan perhitungan metode *tracking* gerhana Matahari dalam perhitungan gerhana Matahari lokal :

a. Menghitung elongasi($M^{\circ}OB$)¹⁷

$$\text{Cos}(\text{elo}) = \sin(\text{dm}) \times \sin(\text{db}) + \cos(\text{dm}) \times \cos(\text{db}) \times \cos(\text{ram} - \text{rab})$$

¹⁴ Muhammad Farih al Husna, “Analisis Program *Tracking* Gerhana Matahari Karya Muhammad Wasil”, (UIN Walisongo Semarang,2019), 41.

¹⁵ Jari-jari matahari dalam satuan jari-jari bumi = 109,2. Lihat : <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/sunfact.html>, diakses pada 22 Mei 2024, pukul 20:11.

¹⁶ Jari-jari bulan dalam satuan jari-jari bumi = 0,2371. Lihat : <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/moonfact.html>, diakses pada 22 Mei 2024, pukul 20:11.

¹⁷ Muhammad Wasil, *Gerhana Matahari*, Dokumen *e-book* materi pelatihan seminar PWNU Kaderisasi Ulama Hisab di Surabaya, Jawa Timur, 2016.

- b. Mencari jarak jatuhnya titik sumbu bayangan Gerhana Matahari dari pusat bumi¹⁸

Jari-jari bumi dijadikan sebagai acuan satuan dalam perhitungan. Jika jari-jari bumi bernilai 1, maka OM adalah jarak pusat Bumi-Matahari dalam satuan jari-jari bumi dan OB adalah jarak Bumi-Bulan juga dalam satuan jari-jari bumi.

$MB = o = \text{jarak Matahari-Bulan}$

$$o^2 = b^2 + m^2 - 2 \cdot b \cdot m \cdot \cos O$$

$$o = \sqrt{(b^2 + m^2 - 2 \times b \times m \times \cos O)}$$

Jarak jatuhnya titik sumbu bayangan dari pusat bumi (OA)

$$OA = \cos(\text{BOA}) \times OB$$

- Jika $OA > 1$ maka sumbu tidak menyentuh bumi.
- Jika $OA < 1$ maka sumbu menyentuh bumi.
- Jika $OA = 1$ maka jam itu adalah saat sumbu mulai menyentuh / meninggalkan bumi (bukan awal/akhir gerhana).

$$\text{Tan}(\text{BOA}) = \frac{(OM \times \cos(\text{elongasi}) - OB)}{OM \times \sin(\text{elongasi})}$$

- c. Menghitung koordinat titik M'

M' = titik jatuhnya sumbu dari pusat Matahari-Bumi pada permukaan Bumi

lintang M' ($\varphi M'$) = deklinasi matahari

bujur M' ($\lambda M'$) = $180 - 15 \times (\text{UT} + \text{PW})$

- d. Mencari Azimuth B'

$$\varphi B' = db$$

$$\lambda B' = \lambda M' + Rab - Ram$$

¹⁸ Wasil, *Gerhana Matahari*,

- Jika ($R_{ab} > R_{am}$), B' di sebelah timur M'
 - Jika ($R_{ab} < R_{am}$), B' di sebelah barat M'
 - Jika ($R_{ab} = R_{am}$), B' dan M' segaris utara selatan
- $$\text{Cos}(AzB') = -\tan(dm) / \tan(\text{elongasi}) + \sin(db) / \cos(dm) / \sin(\text{elongasi})$$

Jika $R_{ab} < R_{am}$, maka $M' = AzB' = 360 - \cos AzB'$

Jika $R_{ab} > R_{am}$, maka $M' = AzB' = \cos AzB'$

e. Mencari koordinat K

sudut ($M'OA$) = ($B'OA$) + elongasi

sudut ($M'OK$) = $KM' = 90 - M'OA$

$AzK = AzB' + 180$ atau $AzB' - 180$

Lintang (φ_K) = $\sin \varphi_K = \cos(dm) \times \sin(M'OK) \times \cos(AzK) + \sin(dm) \times \cos(M'OK)$

Bujur K (λ_K) = $\text{Cos}(\Delta\lambda) = -\tan(\varphi_{M'}) \times \tan(\varphi_K) + \cos(M'OK) / \cos(\varphi_K)$

Jika $R_{ab} < R_{am}$ maka (λ_K) = ($\lambda_{M'}$) - $\Delta\lambda$

Jika $R_{ab} > R_{am}$ maka (λ_K) = ($\lambda_{M'}$) + $\Delta\lambda$

Karena nilai bujur geografis berkisar anatara -180 hingga 180, maka

Jika (λ_K) < -180 maka, $\Delta\lambda = (\lambda_K) + 360$

Jika (λ_K) > 180 maka, $\Delta\lambda = (\lambda_K) - 360$

f. Menghitung jarak XM'

$\Delta\lambda_{XM'} = \lambda_X - \lambda_{M'}$

$\text{Cos}(XM') = \cos(\varphi_X) \times \cos(\varphi_{M'}) \times \cos(\Delta\lambda_{XM'}) + \sin(\varphi_X) \times \sin(\varphi_{M'})$

Jarak XM' juga bisa diartikan sebagai jarak zenit matahari dari kota X, sehingga tinggi matahari adalah $90 - \text{jarak zenit}$

$$hm = 90 - XM'$$

- g. Menghitung jarak XK

$$\Delta\lambda_{XK} = \lambda_X - \lambda_K$$

$$\cos(XK) = \cos(\varphi_X) \times \cos(\varphi_K) \times \cos(\Delta\lambda_{XK}) + \sin(\varphi_X) \times \sin(\varphi_K)$$

- h. Menghitung ketinggian dan diameter lingkaran paralel

$$OO' = \cos(\alpha) = \cos(XK)$$

$$\text{Jari-jari lingkaran paralel (O'X)} = \sin(\alpha) = \sin(XK)$$

- i. Menghitung jarak kota X dengan sumbu gerhana (XA')

$$XA'^2 = o'^2 = a'^2 + x^2 - 2.a'.x.\cos(O')$$

- j. Menghitung jari-jari penumbra (A'F)

$$\sin a = (rm + rb) / MB$$

$$\sin(BOA) = BA / OB$$

$$BA = \sin(BOA) \times OB$$

$$Aa = Ba + BA$$

$$\text{Jari-jari penumbra} = A'F$$

$$A'F = \tan(a) \times A'a$$

Ketentuan waktu tengah gerhana, awal gerhana dan akhir gerhana, Jika $XA' > A'F$ maka kota X tidak mengalami gerhana perhitungan tidak perlu diteruskan

Jika $XA' < A'F$ maka kota X mengalami gerhana dan jam tersebut adalah tengah gerhana bagi kota X tersebut selanjutnya perhitungan dilakukan pengulangan dengan interval waktu untuk *tracking* mencari jam dengan hasil $XA' = A'F$

$XA' = A'F$ yang terjadi sebelum jam tengah gerhana adalah awal gerhana, dan yang terjadi setelah jam tengah gerhana adalah akhir gerhana

k. Kontak umbra

$$Bb = \frac{rb.MB}{(rm - rb)}$$

$$A'b = BA - Bb$$

$$A'G = \tan(b) \times \text{Abs}(A'b)$$

l. Menghitung magnitude

$$\text{Mag} = 100 \times (A'F - XA') / (A'F - A'G) \%$$

m. Menentukan jenis gerhana

Jika $XA' > A'G$ maka tidak total,

Jika $XA' < A'G$ maka gerhana total.

Jika $Ab > AA'$ maka gerhana cincin.

Kunci dari metode ini ialah dengan melakukan iterasi atau pengulangan berkali – kali hingga mencapai kondisi yang dibutuhkan.

3. Metode perhitungan gerhana Matahari dalam kitab *al-Durru al-Anîq* karya K.H. Ahamad Ghozali

KH. Ahmad Ghozali bin Muhammad bin Fathullah bin Sa'ïdan al-Samfani al-Maduri lahir di dusun Lanbulan desa Baturasang kecamatan Tambelangan kabupaten Sampang, pulau Madura Jawa Timur, pada tanggal 07 Januari 1959. Sumbangsih K.H. Ahmad Ghozali dalam khazanah keilmuan falak sudah tidak diragukan lagi terbukti dengan berbagai kitab falak yang diterbitkan, seperti *al-Taqyidat al-Jaliyah Tsamrat al-Fikar*, *Faidl al-Karîm ar-Rau Az-Zaij al-Mnyassar*, *Bughyat al-Rofi'q Al-Durru al-Anîq*, *Irsyad al-Murîd* dan *Jami' al-Adillab*.¹⁹

¹⁹ Khotibul Umam, Studi Pemikiran KH. Ahmad Ghozali tentang Metode Hisab Gerhana Matahari Global dalam Kitab *al-Durru al-Anîq*, (Skripsi, UIN Walisongo Semarang : 2019), 41-45.

Untuk perhitungan gerhana Matahari lokal dalam kitab *al-Durru al-Anîq* diperlukan data – data meliputi koordinat tempat,, time zone, ketinggian tempat, dan data dari elemen tabel seperti tarikh masehi, tarikh hijriah, tipe gerhana, TD, A0, A1, B0, B1, d0, d1, W0, W1, R0, R1, S0, S1, Z0, Z1, P'1 dan P'2. Metode perhitungan gerhana Matahari lokal terdiri dari beberapa tahapan, yaitu :²⁰

- a. Perhitungan ta'`dîl untuk waktu tengah gerhana

$$H = W0 + \lambda - 0.00417807 \times \Delta T$$

$$p = P'2 \times \sin(H)$$

$$q = P'1 \times \cos(d0 - P'2) \times \cos(H) \times \sin(d0)$$

$$r = P'1 \times \sin(d0 + P'2) \times \cos(H) \times \cos(d0)$$

$$p' = 0.01745329 \times W1 \times P'2 \times \cos(H)$$

$$q' = 0.01745329 \times (W1 \times p \times \sin(d0 - r) \times d1)$$

$$u = A0 - p$$

$$v = B0 - q$$

$$a = A1 - p'$$

$$b = B1 - q'$$

$$n^2 = a^2 + b^2$$

$$tm1 = -\frac{(u.a + v.b)}{n^2}$$

- b. Perhitungan „awāmil berdasarkan ta'`dîl 1 tengah gerhana

(tm1).

$$A = A0 + A1 \times tm1$$

$$B = B0 + B1 \times tm1$$

$$d = d0 + d1 \times tm1$$

²⁰ Ahmad Ghazali, *Al-Durru Al-Anîq*,

$$W = W_0 + W_1 \times tm_1$$

$$H = W + \lambda - 0.00417807 \times \Delta T$$

$$p = P^2 \times \sin(H)$$

$$q = P^1 \times \cos(d - P^2) \times \cos(H) \times \sin(d)$$

$$r = P^1 \times \sin(d + P^2) \times \cos(H) \times \cos(d)$$

$$p' = 0.01745329 \times W_1 \times P^2 \times \cos(H)$$

$$q' = 0.01745329 \times (W_1 \times p \times \sin(d - r) \times d_1)$$

$$u = A - p$$

$$v = B - q$$

$$a = A_1 - p'$$

$$b = B_1 - q'$$

$$n^2 = a^2 + b^2$$

$$tm = -\frac{(u.a + v.b)}{n^2}$$

$$tm_2 = tm_1 + tm$$

- c. Perhitungan „awāmil berdasarkan ta“dil 2 tengah gerhana (tm2).

$$A = A_0 + A_1 \times tm_2$$

$$B = B_0 + B_1 \times tm_2$$

$$d = d_0 + d_1 \times tm_2$$

$$W = W_0 + W_1 \times tm_2$$

$$H = W + \lambda - 0.00417807 \times \Delta T$$

$$p = P^2 \times \sin(H)$$

$$q = P^1 \times \cos(d - P^2) \times \cos(H) \times \sin(d)$$

$$r = P^1 \times \sin(d + P^2) \times \cos(H) \times \cos(d)$$

$$p' = 0.01745329 \times W_1 \times P^2 \times \cos(H)$$

$$q' = 0.01745329 \times (W_1 \times p \times \sin(d - r) \times d_1)$$

$$u = A - p$$

$$v = B - q$$

$$a = A1 - p'$$

$$b = B1 - q'$$

$$n^2 = a^2 + b^2$$

$$tm = -\frac{(u.a + v.b)}{n^2}$$

$$tm3 = tm2 + tm$$

- d. Perhitungan „awāmil berdasarkan ta“dīl 3 tengah gerhana (tm3).

$$A = A0 + A1 \times tm3$$

$$B = B0 + B1 \times tm3$$

$$d = d0 + d1 \times tm3$$

$$W = W0 + W1 \times tm3$$

$$R = R0 + R1 \times tm3$$

$$S = S0 + S1 \times tm3$$

$$H = W + \lambda - 0.00417807 \times \Delta T$$

$$p = P'2 \times \sin(H)$$

$$q = P'1 \times \cos(d - P'2) \times \cos(H) \times \sin(d)$$

$$r = P'1 \times \sin(d + P'2) \times \cos(H) \times \cos(d)$$

$$p' = 0.01745329 \times W1 \times P'2 \times \cos(H)$$

$$q' = 0.01745329 \times (W1 \times p \times \sin(d - r) \times d1)$$

$$u = A - p$$

$$v = B - q$$

$$a = A1 - p'$$

$$b = B1 - q'$$

$$n^2 = a^2 + b^2$$

$$tm = -\frac{(u.a + v.b)}{n^2}$$

$$t_k = t_{m3} + t_m$$

- e. Perhitungan waktu tengah gerhana (T_0) dan posisi gerhana (h , Az).

$$T_0 = TD + t_k - \Delta T + \text{time zone}$$

$$h = \sin^{-1}(\sin(\varphi) \times \sin(d) + \cos(\varphi) \times \cos(d) \times \cos(H))$$

$$x = \sin(d) \times \cos(\varphi) - \cos(d) \times \sin(\varphi) \times \cos(H)$$

$$y = -\cos(d) \times \sin(H)$$

$$Az = \tan^{-1} \left(\frac{x}{y} \right) / x.$$

Jika x dan y positif maka Az tetap,

jika x dan y negatif atau x negatif dan y positif, maka $Az + 180$, jika x positif dan y negatif maka $Az + 360$.

- f. Perhitungan magnitude (G) dan tipe gerhana.

$$R' = R - r \times Z_0$$

$$S' = S - r \times Z_1$$

$$m = \sqrt{u^2 + v^2}$$

$$G = (R' - m) / (R' + S')$$

Jika $G < 0$ maka tidak terjadi gerhana,

jika $m < \text{abs}(S')$ dan $S' < 0$ maka terjadi gerhana total,

jika $m > S'$ maka terjadi gerhana partial,

jika $m < S'$ dan $S' > 0$ maka terjadi gerhana cincin.

$$n = \sqrt{n^2}$$

$$k = (a.v - u.b) / (n \times R')$$

$$T_1 = \text{abs}((R' / n) \times \sqrt{1 - k^2})$$

- g. Perhitungan waktu awal total / cincin (Aw_1) dan posisi gerhana.

$$y = (a \times v - u \times b) / (n \times S')$$

$$T_2 = \text{abs}((S' / n) \times \sqrt{1 - y^2})$$

$$Awl2 = T0 - T2$$

$$H = H \text{ (tengah gerhana)} - (T2 \times 15)$$

$$h = \sin^{-1}(\sin(\varphi) \times \sin(d) + \cos(\varphi) \times \cos(d) \times \cos(H))$$

$$x = \sin(d) \times \cos(\varphi) - \cos(d) \times \sin(\varphi) \times \cos(H)$$

$$y = -\cos(d) \times \sin(H)$$

$$Az = \tan^{-1}(y / x)$$

- h. Perhitungan akhir total/ cincin (Akr2), posisi gerhana dan durasi total/ cincin (Drs2).

$$Akr2 = T0 + T2$$

$$H = H \text{ (tengah gerhana)} + (T2 \times 15)$$

$$h = \sin^{-1}(\sin(\varphi) \times \sin(d) + \cos(\varphi) \times \cos(d) \times \cos(H))$$

$$x = \sin(d) \times \cos(\varphi) - \cos(d) \times \sin(\varphi) \times \cos(H)$$

$$y = -\cos(d) \times \sin(H)$$

$$Az = \tan^{-1}(y / x)$$

$$Drs2 = Akr2 - Awl2$$

- i. Perhitungan waktu awal gerhana (Awl1) dan posisi gerhana

$$tm4 = tk - T1$$

$$A = A0 + A1 \times tm4$$

$$B = B0 + B1 \times tm4$$

$$d = d0 + d1 \times tm4$$

$$W = W0 + W1 \times tm4$$

$$R = R0 + R1 \times tm4$$

Kemudian proses sama dengan poin tm1 (dari H sampai n2).

$$n = \sqrt{n^2}$$

$$R^c = R - r \times Z0$$

$$k = (a \times v - u \times b) / (n \times R^c)$$

$$tm5 = -(u \times a + v \times b) / n^2 - (R^c / n) \times \sqrt{(1 - k^2)}$$

$$tm6 = tm4 + tm5$$

$$A = A0 + A1 \times tm6$$

$$B = B0 + B1 \times tm6$$

$$d = d0 + d1 \times tm6$$

$$W = W0 + W1 \times tm6$$

$$R = R0 + R1 \times tm6$$

Kemudian proses sama dengan poin tm1 (dari data H sampai n^2).

$$n = \sqrt{n^2}$$

$$R^c = R - r \times Z0$$

$$k = (a \times v - u \times b) / (n \times R^c)$$

$$tm7 = -(u.a + v \times b) / n^2 - (R^c / n) \times \sqrt{(1 - k^2)}$$

$$tm8 = tm6 + tm7$$

$$Awl1 = TD + tm8 - \Delta T + \text{time zone}$$

$$h = \sin^{-1}(\sin(\varphi) \times \sin(d) + \cos(\varphi) \times \cos(d) \times \cos(H))$$

$$x = \sin(d) \times \cos(\varphi) - \cos(d) \times \sin(\varphi) \times \cos(H)$$

$$y = -\cos(d) \times \sin(H)$$

$$Az = \tan^{-1}(y / x)$$

- j. Perhitungan waktu akhir gerhana (Akr1), posisi gerhana dan durasi gerhana (Drs1).

$$tm9 = tk + T1$$

$$A = A0 + A1 \times tm9$$

$$B = B0 + B1 \times tm9$$

$$d = d0 + d1 \times tm9$$

$$W = W0 + W1 \times tm9$$

$$R = R0 + R1 \times tm9$$

Selanjutnya proses sama dengan poin tm1 (dari H sampai n^2).

$$n = \sqrt{n^2}$$

$$R^c = R - r \times Z0$$

$$k = (a \times v - u \times b) / (n \times R^c)$$

$$tm10 = -(u.a + v.b) / (n^2 - (R^c / n) \times \sqrt{(1 - k^2)})$$

$$tm11 = tm9 + tm10$$

$$A = A0 + A1 \times tm11$$

$$B = B0 + B1 \times tm11$$

$$d = d0 + d1 \times tm11$$

$$W = W0 + W1 \times tm11$$

$$R = R0 + R1 \times tm11$$

Proses sama dengan poin tm1 (dari H sampai n^2).

$$n = \sqrt{n^2}$$

$$R^c = R - r \times Z0$$

$$k = (a \times v - u \times b) / (n \times R^c)$$

$$tm12 = -(u \times a + v \times b) / (n^2 - (R^c / n) \times \sqrt{(1 - k^2)})$$

$$tm13 = tm11 + tm12$$

$$Akr1 = TD + tm13 - \Delta T + \text{time zone}$$

$$h = \sin^{-1}(\sin(\varphi) \times \sin(d) + \cos(\varphi) \times \cos(d) \times \cos(H))$$

$$x = \sin(d) \times \cos(\varphi) - \cos(d) \times \sin(\varphi) \times \cos(H)$$

$$y = -\cos(d) \times \sin(H)$$

$$Az = \tan^{-1}(y / x)$$

$$Drs1 = Akr1 - Awl1$$

4. Komparasi metode *Tracking* gerhana Matahari dan *al-Durru al-Anîq* pada gerhana Matahari lokal.

Dari penjabaran metode *Tracking* gerhana Matahari dan metode *al-Durru al-Anîq* untuk perhitungan gerhana Matahari lokal, secara garis besar ditemukan perbedaan pada algoritmanya, meliputi :

a. Sumber data

Pada metode tracking gerhana Matahari input sumber datanya menggunakan data ephemeris, sedangkan pada metode *al-Durru al-Anîq* sumber data menggunakan elemen Bessel.

b. Rumus perhitungan

Pada dasarnya tahapan pada perhitungan metode *tracking* gerhana Matahari lebih banyak dibandingkan dengan metode kitab *al-Durru al-Anîq*. Hal ini berkaitan dengan perbedaan sumber data yang digunakan. Kitab *al-Durru al-Anîq* yang menggunakan elemen Bessel sebagai sumber datanya, memiliki lebih sedikit tahapan perhitungan. Karena kunci dari metode Bessel adalah ekspresi ephemeris Matahari dan Bulan dalam bentuk bayangan bulan dalam pusat bumi. Perubahan kerangka acuan ini sangat menyerderhanakan matematika dan geometri tanpa mengorbankan akurasi.²¹

Pada metode *tracking* gerhana Matahari, untuk menentukan kontak gerhana seperti awal gerhana, akhir gerhana harus dilakukan perhitungan berulang – ulang dengan interval waktu tertentu untuk menemukan kondisi tertentu. Proses ini akan hampir mustahil dilakukan secara manual tanpa bantuan program. Berbeda dengan tracking gerhana Matahari, metode kitab *al-Durru al-Anîq* menyediakan rumus yang lebih simple dalam menghitung kontak – kontak gerhana yang terjadi. Sehingga masih mungkin dilakukan meskipun tanpa bantuan program.

²¹ NASA - Elemen Besslian Gerhana Matahari, <https://eclipse-gsfc-nasa.gov.translate.google/SEcat5/beselm.html? x tr sl=en& x tr tl=id& x tr hl=id& x tr pto=tc>, diakses pada 27 Mei 2024

Untuk mengetahui selisih dari hasil perhitungan metode tracking gerhana Matahari dan kita *al-Durru al-Aniq* penulis melakukan perbandingan data hasil perhitungan tiga fenomena gerhana Matahari.

1. Gerhana Matahari 9 Maret 2016

Berikut hasil perhitungan gerhana Matahari parsial pada tanggal 9 Maret 2016 di Jambi pada koordinat $1^{\circ}36'00''$ LS, $103^{\circ}53'00''$ BT, dengan ketinggian 20 mdpl

Kontak Gerhana	<i>Tracking</i> GM	<i>al-Durru al-Aniq</i>	Selisih	NASA
Awal gerhana	06:21:15	06:21:01	00:00:14	06:23:13
Tengah gerhana	07:22:11	07:21:54	00:00:17	07:23:59
Akhir gerhana	08:31:29	08:31:10	00:00:19	08:33:07
Durasi gerhana	02:10:14	02:10:09	00:00:05	02:10:14

Dari table diatas diketahui terdapat selisih pada hasil perhitungan pada tiap fase gerhana. Pada fase awal gerhana memiliki selisih 14 detik, waktu tengah gerhana selisih 17 detik, dan akhir gerhana selisih 19 detik. Pada kolom selanjutnya merupakan hasil perhitungan NASA yang bisa digunakan sebagai parameter keakurasian.

2. Gerhana Matahari parsial 25 Oktober 2022 di Lille pada koordinat lintang $50^{\circ} 38' 00''$ U, bujur $03^{\circ} 03' 00''$ T.

Kontak Gerhana	<i>Tracking</i> GM	<i>al-Durru al-Aniq</i>	Selisih	NASA
Awal gerhana	12:09:13	12:09:42	00:00:29	12:09:45
Tengah gerhana	13:02:40	13:02:52	00:00:12	13:02:55
Akhir gerhana	13:57:47	13:57:44	00:00:03	13:57:46
Durasi gerhana	01:48:04	01:48:02	00:00:02	01:48:01

Dari table diatas diketahui terdapat selisih pada hasil perhitungan pada tiap fase gerhana. Pada fase awal gerhana memiliki selisih 29 detik, waktu tengah gerhana selisih 12 detik, dan akhir gerhana selisih 03 detik. Pada kolom selanjutnya merupakan hasil perhitungan NASA yang bisa digunakan sebagai parameter keakurasian.

3. Gerhana Matahari total 20 April 2023 di wilayah timor Leste pada koordinat $9^{\circ} 35' 00,00''$ S, $125^{\circ} 30' 00,00''$ T

Kontak Gerhana	<i>Tracking</i> GM	<i>al-Durru al-Aniq</i>	Selisih	NASA
Awal gerhana	11:41:11	11:41:11	00:00:00	11:41:14
Awal total	13:15:34	13:15:58	00:00:24	13:15:55
Tengah gerhana	13:16:01	13:16:04	00:00:03	13:16:05
Akhir total	13:16:28	13:16:10	00:00:18	13:16:15

Akhir gerhana	14:51:21	14:51:26	00:00:05	14:51:27
Durasi total	00:00:54	00:00:12	00:00:42	00:00:20
Durasi gerhana	03:10:09	03:10:15	00:00:06	03:10:13

Dari table diatas diketahui terdapat selisih pada hasil perhitungan pada tiap fase gerhana Matahari total yang terjadi. Pada fase awal gerhana tidak ditemukan selisih, awal total ditemukan selisih 24 detik, waktu tengah gerhana selisih 3 detik, akhir total selisih 18 detik, dan akhir gerhana selisih 5 detik. Pada kolom selanjutnya merupakan hasil perhitungan NASA yang bisa digunakan sebagai parameter keakurasian.

C. Kesimpulan

Secara garis besar perbedaan dari metode *tracking* gerhana Matahari dan kitab *al-Durru al-Aniq* dalam perhitungan gerhana Matahari lokal meliputi: 1. Sumber data; Metode *tracking* gerhana Matahari menggunakan ephemeris sebagai sumber data perhitungan terkait data Matahari-Bulan. Sedangkan metode dalam kitab *al-Durru al-Aniq*, sumber data menggunakan elemen *Bessel*. 2. Tahap perhitungan: Pada metode *tracking* gerhana Matahari, tahapan perhitungan yang dilalui lebih banyak dan lebih rumit jika dibandingkan dengan metode pada kitab *al-Durru al-Aniq*. Selain itu pada metode *tracking* gerhana Matahari diperlukan pengulangan perhitungan berkali – kali untuk menemukan kondisi tertentu. Hal ini menyebabkan metode ini akan sangat sulit dipraktikkan jika tanpa bantuan program atau secara manual meskipun menggunakan kalkulator. Sedangkan metode perhitungan pada kitab *al-Durru al-Aniq* dapat dipraktikkan secara manual

(dengan kalkulator) tanpa bantuan program. 3. Rumus delta T (ΔT): Pada metode *tracking* gerhana Matahari untuk koreksi waktu atau rumu “ ΔT ” digunakan saat pengolahan ephemeris, artinya termasuk kedalam sumber data. Sedangkan pada kitab *al-Durru al-Anîq* rumus “ ΔT ” termasuk didalam tahapan perhitungannya. 4. Hasil perhitungan: Setelah dilakukan perbandingan hasil perhitungan gerhana Matahari lokal metode *Tracking* Matahari dan kitab *al-Durru al-Anîq* pada tiga fenomena gerhana Matahari, ditemukan selisih bervariasi 0 hingga 29 detik pada keseluruhan fase gerhana Mathari yang terjadi.

Daftar Pustaka

- Al Husna, Muhammad Farih. “Analisis Program Tracking Gerhana Matahari Karya Muhammad Wasil”. Skripsi, UIN Walisongo Semarang, 2019.
- Anugraha, Rinto. *Mekanika Benda Langit*. Yogyakarta: Jurusan Fisika FMIPA UGM, 2012.
- Azhari, Susiknan. *Ensiklopedi Hisab Rukyat*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2008.
- Ghozali, Ahmad. *Al-Durru Al-Aniq*. Sampang: LAFAL, Lajnah Falakiah Lanbulan, Cet. II, 1437 H.
- Hambali, Slamet. *Pengantar Ilmu Falak*. Banyuwangi: Bismillah Publisher, 2012.
- Harun, M. Yusuf. *Pengantar Ilmu Falak*. Banda Aceh: Yayasan Pena, 2008.
- Izzuddin, Ahmad. *Ilmu Falak Praktis*. Semarang: PT. Pustaka Rizki Putra, 2012.
- , *Ilmu Falak (Metode Hisab-Rukyah dan Solusi Permasalahannya)*. Semarang: Komala Grafika, 2006.
- KBBI Daring. Diakses pada 15 Mei 2024, <https://kbbi.kemdikbud.go.id/entri/eklips>.
- Marpaung, Watni. *Pengantar Ilmu Falak*. Jakarta: Prenadamedia Grup, cet I, 2015.
- Moon Fact Sheet. Diakses pada 22 Mei 2024. <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/moonfact.html>.
- NASA - Elemen Besslian Gerhana Matahari. diakses pada 27 Mei 2024. <https://eclipse-gsfc-nasa-gov.translate.goog/SEcat5/beselm.html? x tr sl=en& x tr tl=id & x tr hl=i d& x tr pto=tc>
- Sun Fact Sheet. Diakses pada 22 Mei 2024. <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/sunfact.html>.
- Umam, Khotibul. “Studi Pemikiran KH. Ahmad Ghozali tentang Metode Hisab Gerhana Matahari Global dalam Kitab *al-Durru al-Aniq*”. Skripsi, UIN Walisongo Semarang: 2019.
- UPT Observatorium Bosscha Institut Teknologi Bandung, *Perjalanan Mengenal Astronomi*. Bandung: ITB, 1995.
- Wasil, Muhammad. *Gerhana Matahari*, E-book materi pelatihan seminar PWNU Kaderisasi Ulama Hisab, Surabaya, 2016.

