

**UJI KOMPARASI PERHITUNGAN GERHANA
MATAHARI GLOBAL MUHAMMAD WASIL DAN K.H.
AHMAD GHOZALI**

TESIS

Disusun untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Magister dalam Ilmu Falak



Oleh:
MUHAMMAD FARIH AL HUSNA
20020148010

**PROGRAM STUDI MEGISTER ILMU FALAK
FAKULTAS SYARI'AH DAN HUKUM
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2024**

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Muhammad Farih al Husna**

NIM : 20020148010

Judul Penelitian : **Uji Komparasi Perhitungan Gerhana Matahari
Global Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad
Ghozali**

Program Studi : Ilmu Falak

menyatakan bahwa tesis yang berjudul:

UJI KOMPARASI PERHITUNGAN GERHANA MATAHARI MUHAMMAD WASIL DAN K.H. AHMAD GHOZALI

secara keseluruhan adalah hasil penelitian/karya saya sendiri, kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 19 Juni 2024

Pembuat Pernyataan,



Muhammad Farih al Husna
20020148010



**KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
FAKULTAS SYARIAH DAN HUKUM**

Jl. Prof. DR. Hamka Semarang 50185

Phone. 024 – 7601291 Fax. 024 – 7624691, Website: <http://fsh.walisongo.ac.id>.

PENGESAHAN HASIL UJIAN TESIS

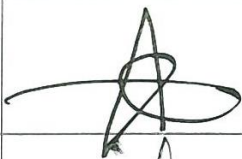
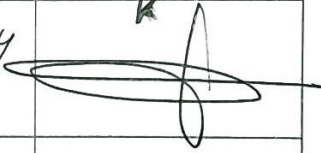
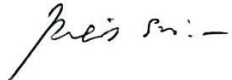
Yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan telah menyetujui Tesis Mahasiswa:

Nama : **Muhammad Farih al Husna**

NIM : 20020148010

Judul : **Uji Komparasi Perhitungan Gerhana Matahari Global
Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali**

yang telah diujikan pada tanggal 28 Juni 2024 dan dinyatakan LULUS oleh majelis penguji:

Nama	Tanggal	Tanda tangan
Dr. Afif Noor, S.Ag, S.H., M.Hum. Ketua Sidang	9/7-24	
Dr. H. Amir Tajrid, M.Ag. Sekretaris Sidang	12/7 '24	
Prof. Dr. Muslich, MA. Penguji Utama I	9/7 2024	
Dr. Ahmad Syifaul Anam, M.H. Penguji Utama II	9/7-24.	

NOTA PEMBIMBING I

Semarang, Juni 2024

Kepada
Yth. Direktur Pascasarjana
UIN Walisongo
di Semarang

Assalamu 'alaikum wr. wb.

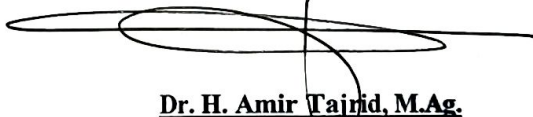
Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi terhadap tesis yang ditulis oleh:

Nama : MUHAMMAD FARIH AL HUSNA
NIM : 20020148010
Program Studi : Magister Ilmu Falak
Judul : *Uji Komparasi Perhitungan Gerhana Matahari
Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali*

Kami memandang bahwa tesis tersebut sudah dapat diajukan kepada Pascasarjana UIN Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Ujian Tesis.

Wassalamu 'alaikum wr. wb.

Pembimbing I



Dr. H. Amir Tajrid, M.Ag.

NIP: 197204202003121002

NOTA PEMBIMBING II

Semarang, 19 Juni 2024

Kepada
Yth. Direktur Pascasarjana
UIN Walisongo
di Semarang

Assalamu'alaikum wr. wb.

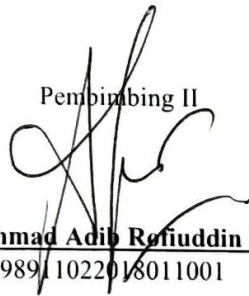
Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi terhadap tesis yang ditulis oleh:

Nama : **MUHAMMAD FARIH AL HUSNA**
NIM : 20020148010
Program Studi : Magister Ilmu Falak
Judul : ***Uji Komparasi Perhitungan Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali***

Kami memandang bahwa tesis tersebut sudah dapat diajukan kepada Pascasarjana UIN Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Ujian Tesis.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Pembimbing II



Dr. Ahmad Adib Rofiuddin M.S.I.

NIP: 198911022018011001

ABSTRAK

Judul : Uji Komparasi Perhitungan Gerhana Matahari Global
Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali
Penulis : Muhammad Farih al Husna
NIM : 20020148010

Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali memiliki riwayat pernah belajar ilmu falak kepada Kiai Noor Ahmad Jepara (alm) pengarang kitab falak *Nur al-Anwar*. Meski begitu, Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali memiliki metode yang berbeda dalam memprediksi fenomena gerhana Matahari. Kedua metode perhitungan ini sering digunakan sebagai referensi dalam memprediksi fenomena gerhana Matahari, meskipun memiliki hasil akhir yang berbeda. Penelitian ini dimaksudkan untuk menjawab pertanyaan: (1) Bagaimana metode perhitungan gerhana Matahari global Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali? (2) Bagaimana perbandingan tingkat akurasi dari metode perhitungan gerhana Matahari global Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali? (3) Bagaimana kelebihan dan kekurangan dari metode perhitungan gerhana Matahari global Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali? Permasalahan dibahas melalui studi pustaka dengan pengumpulan data secara dokumentasi dan wawancara. Semua data dianalisis dan dikomparasikan dengan hasil NASA sebagai acuan tingkat akurasi.

Penelitian ini menyimpulkan: *Yang pertama*, metode perhitungan Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali memiliki persamaan menggunakan konsep sistem koordinat ekliptika geosentrik, selain itu terdapat perbedaan antara kedua metode perhitungan meliputi konsep bentuk Bumi yang digunakan, sumber data, ketentuan delta $T(\Delta T)$, dan pendekatan yang digunakan dalam metode perhitungan. *Yang kedua*, tingkat akurasi metode perhitungan gerhana Matahari global K.H. Ahmad Ghozali lebih tinggi daripada metode perhitungan Muhammad Wasil dalam memprediksi fenomena gerhana Matahari. Tingkat akurasi ini berdasar pada perhitungan keadaan greatest eclipse yang berdampak langsung terhadap pelaksanaan salat gerhana. *Yang ketiga*, metode perhitungan gerhana Matahari global Muhammad Wasil memiliki kelebihan kontak yang dihitung lebih lengkap, dapat menggambarkan peta pergerakan gerhana, tingkat akurasi lebih tinggi dalam perhitungan

kontak umbra, sedangkan terdapat kekurangannya, yaitu sulit diimplementasikan tanpa bantuan program sebagai alat bantu. Pada metode perhitungan gerhana Matahari global K.H. Ahmad Ghozali memiliki kelebihan diantaranya metode perhitungan lebih praktis, memiliki tingkat akurasi tinggi untuk kontak penumbra dan puncak gerhana (*greatest eclipse*), sedangkan kekurangannya, yaitu akurasi rendah dalam perhitungan kontak umbra gerhana Matahari global.

Kata Kunci: Muhammad Wasil, K.H. Ahmad Ghozali, gerhana Matahari global

ABSTRACT

Title : Comparative Test of Global Solar Eclipse Calculations
Muhammad Wasil and K.H. Ahmad Ghozali
Author : Muhammad Farih al Husna
NIM : 20020148010

Muhammad Wasil and K.H. Ahmad Ghozali has a history of studying astronomy with Kiai Noor Ahmad Jepara (deceased), author of the book of astronomy Nur al-Anwar. Even so, Muhammad Wasil and K.H. Ahmad Ghozali has a different method for predicting the phenomenon of a solar eclipse. These two calculation methods are often used as references in predicting solar eclipse phenomena, even though they have different final results. This research is intended to answer the questions: (1) What is the method for calculating global solar eclipses by Muhammad Wasil and K.H. Ahmad Ghozali? (2) What is the comparison of the level of accuracy of the global solar eclipse calculation method of Muhammad Wasil and K.H. Ahmad Ghozali? (3) What are the advantages and disadvantages of the global solar eclipse calculation method Muhammad Wasil and K.H. Ahmad Ghozali? Problems are discussed through literature study by collecting data through documentation and interviews. All data is analyzed and compared with NASA results as a reference for accuracy levels.

This research concludes: Firstly, the calculation methods of Muhammad Wasil and K.H Ahmad Ghozali have similarities using the concept of a geocentric ecliptic coordinate system, apart from that there are differences between the two calculation methods including the concept of the shape of the Earth used, data sources, provisions for delta $T(\Delta T)$, and the approach used in the calculation method. Second, the level of accuracy of the global solar eclipse calculation method K.H. Ahmad Ghozali's calculation method is higher than Muhammad Wasil's in predicting the phenomenon of a solar eclipse. This level of accuracy is based on calculating the state of the greatest eclipse which has a direct impact on the implementation of eclipse prayers. Third, Muhammad Wasil's method for calculating global solar eclipses has the advantage of contacts being calculated more completely, being able to depict a map of the movement of the eclipse, a higher level of accuracy in calculating umbral contacts, while there are disadvantages, namely that it is difficult to implement without the help of a program as a tool. In the calculation

method for global solar eclipses, K.H. Ahmad Ghoazali has advantages, including a more practical calculation method, having a high level of accuracy for penumbral contact and the peak of the eclipse (greatest eclipse), while his disadvantages are low accuracy in calculating umbral contact for global solar eclipses.

Keywords: Muhammad Wasil, K.H. Ahmad Ghozali, global solar eclipse

الملخص

عنوان : اختبار مقارنة لحسابات كسوف الشمس العالمي بواسطة محمد واصل وكياي الحاج أحمد

غزالي

المؤلف : محمد فريح الحسني

NIM : 20020148010

محمد واصل وكياي الحاج أحمد غزالي لهم تاريخ في دراسة علم الفلك مع كياي نور أحمد جيبارا (متوفى)، مؤلف الكتاب الفلكي نور الأنوار. ومع ذلك، فإن محمد واصل وكياي الحاج أحمد غزالي لديهما طرق مختلفة للتنبؤ بظاهرة كسوف الشمس. غالبًا ما يتم استخدام هاتين الطريقتين الحسابيتين كمراجع في التنبؤ بظواهر كسوف الشمس، على الرغم من اختلاف نتائجهما النهائية. يهدف هذا البحث إلى الإجابة على الأسئلة التالية: (1) ما هي طريقة حساب كسوف الشمس العالمي لمحمد واصل وكياي الحاج أحمد غزالي؟ (2) كيف يمكن مقارنة مستوى دقة طرق حساب كسوف الشمس العالمي لمحمد واصل وكياي الحاج أحمد غزالي؟ (3) ما هي مميزات وعيوب طريقة حساب كسوف الشمس العالمي لمحمد واصل وكياي الحاج أحمد غزالي؟ تتم مناقشة المشاكل من خلال دراسة الأدبيات من خلال جمع البيانات من خلال الوثائق والمقابلات. ويتم تحليل جميع البيانات ومقارنتها بنتائج وكالة ناسا كمرجع لمستويات الدقة.

ويخلص هذا البحث إلى ما يلي: أولاً، هناك أوجه تشابه بين طريقتي الحساب لمحمد واصل وكياي الحاج أحمد غزالي باستخدام مفهوم نظام الإحداثيات الكسوف لمركز الأرض، عدا عن ذلك هناك اختلافات بين طريقتي الحساب بما في ذلك مفهوم شكل الأرض المستخدم. ومصادر البيانات وأحكام دلنا $T(\Delta T)$ والنهج المستخدم في طريقة الحساب. ثانياً، مستوى دقة طريقة حساب كسوف الشمس العالمي لكياي الحاج أحمد غزالي أعلى من طريقة حساب محمد واصل في التنبؤ بظاهرة كسوف الشمس. ويعتمد هذا المستوى من الدقة على حساب حالة الكسوف الأكبر الذي له تأثير مباشر على تنفيذ صلاة الكسوف. ثالثاً، تتميز طريقة محمد واصل لحساب كسوف الشمس العالمي بميزة احتساب الاتصالات بشكل أكثر اكتمالاً، والقدرة على تصوير خريطة لحركة الكسوف، ومستوى أعلى من الدقة في حساب الاتصالات الظلية، في حين أن هناك عيوب، وهي أن فمن الصعب تنفيذها دون مساعدة البرنامج كأداة. تتميز طريقة كياي حاج أحمد غزالي لحساب كسوف الشمس العالمي بمزايا، بما في ذلك طريقة حسابية أكثر عملية، وجود مستوى عالٍ من الدقة

في الاتصال شبه الظلي وذروة الكسوف (الكسوف الأكبر)، في حين أن العيب هو انخفاض الدقة في حساب الاتصال الظلي لكسوف الشمس العالمي.
الكلمات المفتاحية: محمد واصل، أحمد غزالي، كسوف الشمس العالمي.

HALAMAN TRANSLITERASI

Transliterasi huruf Arab ke dalam huruf latin berdasarkan Keputusan Bersama Menteri Agama dan Menteri Pendidikan Republik Indonesia No. 158/1987 dan No. 0543 b/U/1987, tanggal 2 Januari 1988

A. Konsonan Tunggal

Huruf Arab	Nama	Huruf Latin	Nama
ا	Alif	Tidak Dilambangkan	Tidak Dilambangkan
ب	Ba'	B	Be
ت	Ta'	T	Te
ث	ša'	ṡ	Es (dengan titik di atas)
ج	Jim	J	Je
ح	ḥa	ḥ	Ha (dengan titik di bawah)
خ	Kha'	Kh	Ka dan Ha
د	Dal	D	De
ذ	ḡal	ḡ	Zt (dengan titik di atas)
ر	Rā'	R	Er
ز	Za	Z	Zet
س	Sin	S	Es

ش	Syin	Sy	Es dan Ye
ص	Ṣad	ṣ	Es (dengan titik di bawah)
ض	Ḍad	ḍ	De (dengan titik di bawah)
ط	Ṭa	ṭ	Te (dengan titik di bawah)
ظ	Za	ẓ	Zet (dengan titik di bawah)
ع	‘ain	‘ _	Apostrof terbalik
غ	Gain	G	Ge
ف	Fa’	F	Ef
ق	Qaf	Q	Qi
ك	Kaf	K	Ka
ل	Lam	L	El
م	Mim	M	Em
ن	Nun	N	En
و	Wawu	W	We
هـ	Ha’	H	Ha
ء	Hamzah	_ ’	Apostrof

ي	Ya	Y	Ye
---	----	---	----

Hamzah (ء) yang terletak di awal kata mengikuti vokalnya tanpa diberi tanda apapun. Jika ia terletak di tengah atau di akhir, maka di tulis dengan tanda (‘).

B. Vokal

Vokal Bahasa Arab, seperti vokal dalam Bahasa Indonesia, terdiri atas vokal tunggal dan vokal rangkap. Vokal tunggal Bahasa Arab yang lambangnya berupa tanda harakat, transliterasinya sebagai berikut:

Tanda	Nama	Huruf Latin	Nama
اَ	<i>Faḥah</i>	A	A
اِ	<i>Kasrah</i>	I	I
اُ	<i>Ḍammah</i>	U	U

Vokal rangkap bahasa Arab yang lambangnya berupa gabungan antara harakat dan huruf, transliterasinya berupa gabungan huruf, yaitu:

Tanda	Nama	Huruf Latin	Nama
اَي	<i>Faḥah dan ya</i>	Ai	A dan I
اِو	<i>Faḥah dan wau</i>	Au	A dan U

C. Maddah

Maddah atau vokal panjang yang lambangnya berupa harakat dan huruf, transliterasinya berupa huruf dan tanda, yaitu:

Harakat dan Huruf	Nama	Huruf dan Tanda	Nama
اَ...ا	<i>Faḥah dan alif</i>	Ā	A dan garis di atas

ي ...	<i>Kasrah dan ya</i>	Ī	I dan garis di atas
و ...	<i>Ḍammah dan wau</i>	Ū	U dan garis di atas

D. Syahadah

Syaddah atau *tasydīd* yang dalam penulisan Arab dilambangkan dengan tanda *tasydīd* (ّ), dalam transliterasi ini dilambangkan dengan pengulangan huruf (kosonan ganda) yang diberi tanda *tasydīd*.

Jika huruf *ya* (ي) ber- *tasydīd* di akhir sebuah kata didahului harakat *kasrah* (ِ), maka ia ditransliterasi seperti huruf *maddah* (ī).

E. Kata Sandang

Kata sandang dalam system tulisan Arab dilambangkan dengan huruf *alif lam ma'rifah* (ِ). Dalam pedoman transliterasi ini, kata sandang ditransliterasi seperti biasa [al-], baik ketika diikuti oleh huruf syamsiah maupun huruf qamariah. Kata sandang ditulis terpisah dari kata yang mengikutinya dan dihubungkan dengan garis mendatar (-).

F. Hamzah

Aturan transliterasi huruf *hamzah* menjadi apostrof (') hanya berlaku bagi *hamzah* yang terletak di tengah dan akhir kata. Namun, bila *hamzah* terletak di awal kata, maka ia dilambangkan, karena dalam tulisan Arab ia berupa *alif*.

G. Penulisan Kata Arab yang Lazim digunakan dalam Bahasa Indonesia

Kata, istilah atau kalimat Arab yang ditransliterasi merupakan kata, istilah atau kalimat yang belum dibakukan dalam bahasa Indonesia. Kata, istilah atau kalimat yang sudah lazim dan menjadi bagian dari pembendaharaan bahasa Indonesia atau sudah sering ditulis dalam bahasa Indonesia tidak lagi ditulis menurut cara transliterasi ini. Namun, apabila kata, istilah atau kalimat tersebut menjadi bagian dari suatu rangkaian teks Arab, maka harus ditransliterasi secara utuh.

H. Lafz al-Jalālah (الله)

Kata “Allah” yang didahului parikel seperti huruf *jarr* atau huruf lainnya atau berkedudukan sebagai *muḍāf ilaih* (frasa nominal), ditransliterasi tanpa huruf *hamzah*. Adapun *ta marbūʿah* diakhir kata disandarkan pada *lafẓ al-jalālah* ditransliterasi dengan huruf [t].

I. Huruf Kapital

Walau system tulisan Arab tidak mengenal huruf kapital, dalam transliterasinya huruf- huruf tersebut dikenai ketentuan tentang penggunaan huruf kapital berdasarkan pedoman ejaan bahasa Indonesia yang berlaku (EYD). Huruf kapital digunakan untuk menuliskan huruf awal nama, dan huruf pertama pada permulaan kalimat. Apabila kata nama tersebut diawali oleh kata sandang (al-), maka yang ditulis kapital adalah huruf awal nama tersebut, kata sandang ditulis kapital (Al-) apabila berada diawal kalimat.

MOTTO

وَمِنْ آيَاتِهِ اللَّيْلُ وَالنَّهَارُ وَالشَّمْسُ وَالْقَمَرُ لَا تَسْجُدُوا لِلشَّمْسِ وَلَا لِلْقَمَرِ وَاسْجُدُوا
لِلَّهِ الَّذِي خَلَقَهُنَّ إِن كُنتُمْ إِيَّاهُ تَعْبُدُونَ

Sebagian dari tanda-tanda (kebesaran)-Nya adalah malam, siang, matahari, dan bulan. Janganlah bersujud pada matahari dan jangan (pula) pada bulan. Bersujudlah kepada Allah yang menciptakannya jika kamu hanya menyembah kepada-Nya. (QS. Fuṣṣilat:37)¹

¹ Departemen Agama Republik Indonesia, al-Qur'an dan Terjemahnya, (Semarang: CV. AL-WAAH, 1993), 778.

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum warahmatullah wabarakatuh

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT. Atas segala limpahan rahmat, taufik, hidayah serta inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Uji Komparasi perhitungan gerhana Matahari Global Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali”. Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Magister Ilmu Falak Fakultas Syari'ah dan Hukum Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang. Bersama ini penulis haturkan rasa terima kasih yang setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Dr. H. Amir Tajrid, M.Ag., selaku pembimbing I, dan bapak Dr. Ahmad Adib Rofiuddin M.S.I., selaku pembimbing II terima kasih atas bimbingan dan arahan yang diberikan dalam penyusunan tesis ini.
2. Kedua orang tua penulis beserta segenap keluarga, atas segala do'a, perhatian, dukungan dan curahan kasih sayang yang tidak dapat penulis ungkapkan dengan untaian kata.
3. Dekan Fakultas Syari'ah dan Hukum UIN Walisongo Semarang, beserta para wakil Dekan, yang telah memberikan izin kepada penulis untuk melakukan penelitian dan memberikan fasilitas selama masa perkuliahan.
4. Ketua jurusan S2 Ilmu Falak UIN Walisongo beserta staf-stafnya, terima kasih atas kesabaran dan kebesaran hatinya serta bimbingan dan dukungannya.
5. Para Dosen di lingkungan Magister Ilmu Falak Fakultas Syari'ah dan Hukum UIN Walisongo, yang telah mengajarkan berbagai ilmu pengetahuan sehingga penulis mampu menyelesaikan penulisan tesis
6. Semua pihak yang tak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah membantu terselesainya tesis ini.

Penulis tidak mampu membalas apa-apa, hanya ucapan terima kasih teriring doa semoga apa yang mereka berikan kepada penulis akan mendapatkan balasan dari Allah SWT dengan balasan yang lebih baik. Ditinjau dari banyak aspek, baik penulisan, substansi isi, materi penyusunan, pengetikan, dan aspek lainnya, tentu karya tulis ini masih banyak kekurangan dan kelemahan. Untuk itu, segala bentuk koreksi kritik, saran dan masukan yang membangun untuk menyempurnaan tesis ini, sangat diharapkan.

Wassalamu'alaikum warahmatullah wabarakatuh

Semarang, 28 Juni 2024



Muhammad Farih al Husna

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	i
PENGESAHAN TESIS	ii
NOTA PEMBIMBING	iii
NOTA PEMBIMBING	iv
ABSTRAK	v
المخلص	ix
HALAMAN TRANSLITERASI	xi
MOTTO	xvi
KATA PENGANTAR.....	xvii
DAFTAR ISI.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
DAFTAR GAMBAR.....	xxiii
 BAB I: PENDAHULUAN	 1
A. Latar belakang.....	1
B. Rumusan masalah.....	8
C. Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	9
D. Kajian Pustaka.....	9
E. Metode Penelitian.....	12
F. Sistematika Penulisan	15
 BAB II: GERHANA MATAHARI DAN SISTEM	
PEREDARAN BENDA LANGIT.....	17
A. Pengertian Gerhana	17
B. Gerhana dalam Tinjauan Fikih.....	21
C. Pembagian Gerhana Matahari	24
D. Konsep Perhitungan Gerhana Matahari Global.....	29
E. Sistem Peredaran Koordinat Benda Langit.....	35

BAB III: METODE PERHITUNGAN GERHANA MATAHARI GLOBAL MUHAMMAD WASIL DAN K.H. AHMAD GHOZALI	40
A. Biografi Muhammad Wasil.....	40
B. Metode Tracking Gerhana Matahari.....	43
C. Biografi K.H. Ahmad Ghozali	59
D. Metode Perhitungan Gerhana Matahari Global K.H. Ahmad Ghozali (al-Durru al-Anîq).....	61
E. Data Hasil Perhitungan Gerhana Matahari Global Menggunakan Metode Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali.....	79
 BAB IV: ANALISIS KOMPARASI PERHITUNGAN GERHANA MATAHARI MUHAMMAD WASIL DAN K.H. AHMAD GHOZALI	 90
A. Analisis metode perhitungan gerhana Matahari global Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali.....	90
B. Analisis perbandingan akurasi antara metode Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali.	97
C. Analisis Kelebihan dan Kekurangan antara Metode Perhitungan Gerhana Matahari Global Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali	114
 BAB V: PENUTUP	 125
A. Kesimpulan	125
B. Penutup	126
 DAFTAR PUSTAKA.....	 127
RIWAYAT HIDUP.....	132

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1	Hasil Perhitungan Metode Muhammad Wasil dan K. H. Ahmad Ghozali	8
Tabel 3. 1	Hasil Perhitungan Metode Muhammad Wasil Desember 2021	4 80
Tabel 3. 2	Hasil perhitungan Metode K.H. Ahmad Ghozali ... Desember 2021.....	4 83
Tabel 3. 3	Hasil NASA 4 Desember 2021	84
Tabel 3. 4	Hasil perhitungan Metode Muhammad Wasil 25 Oktober 2022.....	85
Tabel 3. 5	Hasil perhitungan Metode K.H. Ahmad Ghozali ... Oktober 2022.....	25 86
Tabel 3. 6	Hasil NASA 25 Oktober 2022	86
Tabel 3. 7	Hasil perhitungan Metode Muhammad Wasil 20 April 2023.....	87
Tabel 3. 8	Hasil Perhitungan Metode K.H. Ahmad Ghozali 20 April 2023.....	87
Tabel 3. 9	Hasil NASA 20 April2023.....	88
Tabel 3. 10	Hasil Perhitungan Metode Muhammad Wasil 14 Oktober 2023.....	88
Tabel 3. 11	Hasil Perhitungan Metode K.H. Ahmad Ghozali 14 Oktober 2023.....	89
Tabel 3. 12	Hasil Nasa 14 Oktober 2023	90
Tabel 3. 13	Hasil Perhitungan Metode Muhammad Wasil 2 Oktober 2043.....	91
Tabel 3. 14	Hasil Perhitungan Metode K.H. Ahmad Ghozali 2 Oktober 2043.....	92
Tabel 3. 15	Hasil NASA 2 Oktober 2043	93
Tabel 4. 1	Perbandingan Delta T	95
Tabel 4. 2	Perbandingan Kontak yang dihitung	97
Tabel 4. 3	Perbandingan Kontak Penumbra 4 Desember 2021	98
Tabel 4. 4	Perbandingan Kontak Umbra 4 Desember 2021	100
Tabel 4. 5	Perbandingan Puncak Gerhana 4 Desember 2021...	101
Tabel 4. 6	Perbandingan Kontak Penumbra 25 Oktober 2022 .	102

Tabel 4. 7	Perbandingan Puncak Gerhana 25 Oktober 2022....	103
Tabel 4. 8	Perbandingan Kontak Penumbra 20 April	104
Tabel 4. 9	Perbandingan Kontak Umbra 20 April2023.....	105
Tabel 4. 10	Perbandingan Puncak Gerhana 20 April 2023	106
Tabel 4. 11	Perbandingan Kontak Penumbra 14 Oktober 2023 .	107
Tabel 4. 12	Perbandingan Kontak Umbra 14 Oktober 2023	108
Tabel 4. 13	Perbandingan Puncak Gerhana 14 Oktober 2023....	109
Tabel 4. 14	Perbandingan Kontak Penumbra 3 Oktober 2043 ...	110
Tabel 4. 15	Perbandingan Kontak Umbra 3 Oktober 2043	111

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Matahari-Bulan-Bumi ketika Gerhana.....	31
Gambar 3. 1	Elongasi Matahari-Bumi-Bulan	45
Gambar 3. 2	Azimuth B'	47
Gambar 3. 3	Jarak Penumbra pada Bidang Gerhana	49
Gambar 3. 4	Awal Penumbra P'	50
Gambar 3. 5	Kontak P_2	51
Gambar 3. 6	Kerucut Umbra.....	52
Gambar 3. 7	Awal Umbra U_1'	53
Gambar 3. 8	Kontak U_2'	54
Gambar 3. 9	Awal Umbra ketika Cincin	56
Gambar 3. 10	Kontak U_2 ketika Cincin	57

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar belakang

Gerhana merupakan suatu fenomena alam periodik yang terjadi berdasarkan pergerakan Matahari, Bumi dan Bulan. Ketika posisi matahari bumi dan matahari berada pada satu garis bujur, maka saat itulah memungkinkan terjadinya gerhana. Gerhana yang terjadi di siang hari disebut gerhana Matahari, sedangkan terjadi saat malam hari dinamakan gerhana bulan. Gerhana bulan terjadi saat *istiqbal* (oposisi), dan gerhana matahari terjadi pada saat *ijtima* ¹.

Pada zaman dahulu fenomena gerhana sering kali dianggap berkaitan dengan berbagai mistis. Saat zaman Rasulullah fenomena gerhana sering dikait-kaitkan dengan kematian dan kelahiran seseorang.² Ada juga mitos di Jawa, terjadi gerhana karena Bulan sedang ditelan oleh Buto Ijo, sehingga warga beramai-ramai membuat bebunyian supaya Bulan tidak jadi dimakan Buto Ijo. Warga juga percaya bahwa ketika terjadi gerhana akan membawa petaka sehingga para wanita yang sedang hamil dianjurkan untuk bersembunyi di bawah kolong

¹ *Ijtima*’ terdapat dua kemungkinan seperti halnya dalam awal bulan kamariah, yaitu sebelum matahari terbenam dan sesudah matahari terbenam. Lihat Ahmad Adib Rofiuddin, “Penentuan Hari dalam Sistem Kalender Hijriah,” *al-Ahkam* 26 (2016), 120.

² Ainul Yaqin dan Fahmi Fatwa Rosyadi, *Hadist Gerhana dan Wafatnya Ibrahim ibn Muhammad, Tahkim*, No. 1 Vol. 1, (2018), 55.

tempat tidur atau bangku supaya bayi yang sedang dikandung lahir tidak dalam keadaan cacat (wajahnya hitam sebelah).³

Bila dikaitkan dengan fikih hisab rukyat, persoalan gerhana tidak begitu menjadi perdebatan yang mencolok antara madzhab hisab dan rukyat seperti perdebatan awal Ramadan, Syawal dan Dzulhijjah. Adapun madzhab hisab yang dimaksud ialah mereka yang memakai cara menghitung kapan terjadi gerhana, dan madzhab rukyat yang ialah mereka menyatakan terjadi gerhana dengan langsung melihatnya.⁴

Secara umum gerhana Matahari dapat terjadi dua hingga lima kali dalam satu tahun, namun yang dapat menyaksikan hanya wilayah permukaan Bumi tertentu saja. Sedangkan gerhana Bulan dapat terjadi dua hingga tiga kali dalam satu tahun, dan dapat disaksikan oleh seluruh wilayah yang menghadap Bulan. Meskipun begitu, bisa juga dalam satu tahun sama sekali tidak terjadi gerhana Bulan.⁵

Gerhana Matahari menjadi fenomena yang lebih menarik perhatian khalayak umum dibandingkan dengan fenomena gerhana Bulan. Ini dikarenakan gerhana Matahari terjadi pada siang hari, saat itu akan ada wilayah yang tidak mendapatkan

³ Syaiful Mujab, *Gerhana; Antara Mitos, Sains, dan Islam*, Yudisia, No.1 Vol. 5, (2014), 84.

⁴ Ahmad Izzuddin, *Ilmu Falak (Metode Hisab-Rukyat dan Solusi Permasalahannya)*, (Semarang: Komala Grafika, 2006), 79.

⁵ Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*, (Yogyakarta: FMIPA UGM, 2012), 126-127.

sinar Matahari dikarenakan piringan Matahari tertutup oleh Bulan. Saat itulah bisa dikatakan Matahari, Bulan dan Bumi berada pada satu garis lurus dan pada fase Bulan baru.

Jenis gerhana Matahari secara umum diantaranya, gerhana Matahari sebagian, lokal, dan cincin. Gerhana Matahari sebagian terjadi apabila sebagian Bulan menghalangi cahaya Matahari. Gerhana matahari total terjadi apabila seluruh cahaya Matahari terhalang oleh Bulan. Gerhana cincin terjadi jika daerah umbra tidak sampai pada permukaan Bumi. Hal ini dapat terjadi karena jarak Bumi-Bulan selalu berubah-ubah. Jadi Panjang kerucut umbra juga bervariasi sesuai dengan perubahan jarak Bumi-Bulan. Ini juga yang mengakibatkan luas daerah pada permukaan Bumi yang terkena gerhana Matahari bervariasi. Lebar wilayah gerhana total dapat mencapai 300 km.⁶

Jika ditinjau sebuah gerhana Matahari untuk bumi secara global terdapat enam tipe gerhana. Yang pertama, tipe P atau gerhana Matahari parsial. Yang kedua, tipe T atau gerhana Matahari total. Yang ketiga, Tipe A atau gerhana Matahari cincin. Yang keempat, tipe A-T atau gerhana Matahari cincin-total. Yang kelima, gerhana non-sentral total. Yang keenam, gerhana non-sentral cincin. Tipe gerhana yang paling sering muncul adalah gerhana parsial, total, dan gerhana cincin. Ketika sebuah gerhana Matahari bukan gerhana sentral, tipe yang paling sering muncul

⁶ Adriana Wisni Ariasti, dkk, *Perjalanan Mengenal Astronomi*, (Bandung: Penerbit ITB, 1995), 35-36.

adalah tipe P. Perlu diketahui bahwa gerhana Matahari total maupun cincin terlihat sebagai gerhana total atau gerhana cincin hanya dari lintasan garis sentral di permukaan Bumi. Di sebelah utara maupun selatan lintasan tersebut, sebagian besarnya hanya dapat menyaksikan gerhana parsial atau sebagian.⁷

Seiring perkembangan zaman tingkat ilmu pengetahuan makin meningkat, termasuk dalam bidang perhitungan yang dapat memprediksi terjadinya fenomena gerhana Matahari. Metode perhitungan ini terus berkembang dari zaman ke zaman, dengan terus melakukan pembaharuan dan koreksi mengikuti temuan terbaru. Koreksi tersebut bertujuan untuk menghasilkan perhitungan dengan tingkat akurasi yang makin tinggi, dimulai dengan penggunaan metode hisab *urfi* yang sederhana hingga metode hisab *hakiki* yang lebih akurat. Adapun metode hisab *hakiki* dalam perkembangannya terbagi menjadi tiga periode, yaitu periode metode hisab *hakiki takribi*, periode hisab *hakiki tahkiki* dan periode hisab *hakiki kontemporer*.⁸

Metode perhitungan atau hisab bukanlah sesuatu yang muncul secara tiba-tiba. Perhitungan berasal dari pengamatan yang panjang. Benar atau tidaknya sebuah perhitungan tentunya harus diuji secara langsung dengan melalui pengamatan terhadap fenomena alam yang dihitung. Sebagus dan sebaik apa pun

⁷ Anugraha, *Mekanika Benda Langit*, 126-127.

⁸ Ahmad Izzuddin, *Fiqh Hisab Rukyat*, (Jakarta: Erlangga, 2007),

sebuah metode perhitungan, jika tidak sesuai dengan fenomena alam yang dihitung tentu tidak dapat dikatakan benar.⁹

Muhammad Wasil merupakan seorang ahli falak asal Sleman yang juga pernah menjadi santri dari Kiai Noor Ahmad S S Jepara, pengarang kitab falak *Nur al-Anwar*. Salah satu pemikiran Muhammad Wasil ialah sebuah metode dalam perhitungan gerhana Matahari. Metode perhitungan ini diberi nama *Tracking* Gerhana Matahari yang telah dituangkan kedalam sebuah program dengan nama serupa. Program ini selesai dirancang pada tahun 2013 dengan basis pemrograman Microsoft Visual Basic, dan telah dijadikan materi pada seminar PWNU Kaderisasi Ulama Hisab di Surabaya, Jawa Timur pada tahun 2016.

Sesuai dengan namanya, *tracking* gerhana Matahari berfungsi untuk melacak kontak-kontak penting yang terjadi saat gerhana Matahari. Metode ini dapat digunakan untuk perhitungan gerhana Matahari global dan lokal. Perhitungan gerhana Matahari global bertujuan untuk mengetahui jalur gerhana atau untuk memprediksi waktu dan koordinat tempat yang dilewati gerhana Matahari. Metode perhitungan Muhammad Wasil atau *tracking* gerhana Matahari menggunakan *ephemeris* sebagai sumber data algoritmanya. Meskipun begitu, metode ini memiliki tingkat

⁹ Hendro Setyanto, *Membaca Langit*, (Jakarta: al-Ghuraba, 2008), 26.

akurasi yang tinggi dan sering digunakan dalam memprediksi fenomena gerhana Matahari.

K.H. Ahmad Ghozali ialah seorang ulama dan ahli falak yang sudah tidak diragukan lagi keilmuannya. Hal ini berdasar pada banyaknya kitab falak yang telah diterbitkan, diantaranya *Faidl al-Karîm ar-Rau*, *Az-Zaij al-Muyassar*, *Bughyat al-Rofiq Al-Durru al-Anîq*, *Irsyad al-Murîd* dan *Jami' al-Adillah*. Dalam memperdalam keilmuan falaknya, K.H. Ahmad Ghozali belajar kepada banyak guru diantaranya K.H. Hasan Basri Sa'îd (alm), KH. Zubair Bungah Gresik, Muhyidin Khazin, Kiai Noor Ahmad dari Jepara, dan Muhammad Odeh dari Jordan dan masih banyak lagi.¹⁰

Pada kitab *al-Durru al-Anîq* tercantum dua pembahasan terkait gerhana Matahari yaitu, metode perhitungan gerhana Matahari lokal dan metode perhitungan gerhana Matahari global. Metode perhitungan gerhana Matahari K.H. Ahmad Ghozali dalam kitab *al-Durru al-Anîq* sering dijadikan salah satu referensi dalam perhitungan gerhana Matahari. Metode ini menggunakan elemen *bessel* sebagai sumber datanya. Angka-angka *bessel* adalah algoritma untuk penentuan posisi Matahari dan Bulan,

¹⁰ Lukman, "Studi Analisis Rashdul Kiblat Bulan dalam Kitab *Jami'u al-Adillah* karya KH. Ahmad Ghozali", (Skripsi, UIN Walisongo, Semarang, 2016), 45.

yang dicetuskan oleh Chapront dan G. Francou dari pusat astronomi Bureau Des Longitudes Paris, Prancis.¹¹

Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali memiliki riwayat pernah belajar ilmu falak kepada Kiai Noor Ahmad Jepara (alm) pengarang kitab falak *Nur al-Anwar*. Meski begitu, kedua tokoh memiliki metode yang berbeda dalam memprediksi fenomena gerhana Matahari. Perbedaan metode perhitungan tersebut menyebabkan adanya perbedaan pada hasil akhir untuk memprediksi terjadinya gerhana Matahari. Sebagai contoh, penulis tampilkan hasil perhitungan gerhana Matahari global menggunakan metode Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali pada fenomena gerhana Matahari tanggal 20 April 2023.

Fase gerhana	Metode Muhammad Wasil	Metode K.H. Ahmad Ghozali
Awal penumbra (UT)	01:34:19,29	01:34:08,1
Awal umbra (UT)	02:37:00,38	02:36:33,7
<i>Greatest eclipse</i> (UT)	04:16:43,95	04:16:41,8
Akhir umbra (UT)	05:56:27	05:56:49,9

¹¹ Jean Meeus, *Elements of Solar Eclipses*, (Virginia: Willmann Bell Inc., th 1989), 3.

Akhir Penumbra (UT)	06:59:13,5	06:59:15,5
Lintang (GE)	-09° 34' 36,07"	-09° 35' 46"
Bujur (GE)	125° 48' 50,22	125° 47' 41"

Tabel 1. 1

Pada tabel 1.1 menunjukkan bahwa adanya selisih pada hasil akhir perhitungan menggunakan kedua metode hingga 32 detik. Perbedaan hasil ini perlu di analisa lebih dalam untuk mengetahui metode yang memiliki tingkat akurasi lebih tinggi diantara metode perhitungan Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali. Ini yang menjadi landasan penulis untuk mengkaji metode perhitungan Muhammad Wasil dan K.H.Ahmad Ghozali mengingat tujuan utama dari sebuah metode perhitungan gerhana Matahari ialah untuk mempermudah dalam pelaksanaan salat gerhana.

B. Rumusan masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, penulis akan berfokus untuk membahas pada permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana metode perhitungan gerhana Matahari global Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali?
2. Bagaimana perbandingan tingkat akurasi dari metode Muhammad Wasil dan metode K.H. Ahmad Ghozali dalam perhitungan gerhana Matahari global?

3. Bagaimana kelebihan dan kekurangan dari metode perhitungan gerhana Matahari global Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali?

C. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui spesifikasi metode perhitungan gerhana global Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali.
2. Mengetahui seberapa jauh tingkat keakurasian antara metode Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali.dalam perhitungan gerhana Matahari global.
3. Mengetahui kelebihan dan kekurangan metode Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali.dalam perhitungan gerhana Matahari global.

Adapun manfaat penelitian ini adalah:

1. Menambah wawasan dalam lingkup ilmu falak dan astronomi perihal metode perhitungan gerhana Matahari.
2. Memberikan pandangan baru terkait spesifikasi dalam metode perhitungan gerhana Matahari.
3. Mengetrahui tingkatan akurasi metode dalam perhitungan gerhana Matahari.

D. Kajian Pustaka

Sebelum melakukan peneilitian, penulis telah melakukan kajian terkait penelitian terdahulu yang membahas perhitungan

gerhana Matahari. Berikut ini diantara beberapa penelitian yang pernah mengkaji tentang perhitungan gerhana Matahari:

1. Muhammad Farid Azmi, “Menelisik Akurasi Hisab Gerhana Matahari dalam Kitab *al-Durru al-Anīq*”. Dalam *Al-Marshad: Jurnal Astronomi Islam dan Ilmu-ilmu Berkaitan* tahun 2021.¹² Jurnal ini menyajikan tentang perhitungan gerhana Matahari dalam kitab *al-Durru al-Anīq* kemudian melakukan perbandingan dengan data hasil perhitungan NASA. Dari hasil penelitiannya, menunjukkan bahwa hasil perhitungan kitab *al-Durru al-Anīq* memiliki tingkat akurasi tinggi hanya mempunyai selisih dari kenyataan observasi sekitar 0 sampai 4 detik saja (orde detik). Persamaan dengan penelitian yang penulis lakukan yaitu meneliti tingkat akurasi kitab *al-Durru al-Anīq* dalam perhitungan gerhana Matahari. Perbedaannya yaitu Farid Azmi berfokus pada gerhana Matahari local, sedangkan penulis bukan hanya membahas kitab *al-Durru al-Anīq*, namun juga ada variabel lain yaitu program Tracking Gerhana Matahari.
2. Alfian Maghfuri, “Reformulasi Algoritma Hisab Gerhana Matahari Menggunakan Data Ephemeris Hisab Rukyat”. Tesis Magister Ilmu Falak UIN Walisongo Semarang tahun

¹² Muhammad Farid Azmi, “Menelisik Akurasi Hisab Gerhana Matahari dalam Kitab *al-Durru al-Anīq*”, *al-Marshad: Jurnal Astronomi Islam dan Ilmu-ilmu Berkaitan*, 7 (2021): 64.

2019.¹³ Penelitian ini membahas tentang penyebab tidak akuratnya perhitungan gerhana Matahari dengan menggunakan sumber data *ephemeris* Hisab Rukyat dan reformulasi algoritma hisab gerhana Matahari dengan data *ephemeris* Hisab Rukyat. Hasil dari penelitiannya menemukan penyebab tidak akuratnya perhitungan gerhana Matahari dengan data *ephemeris* Hisab Rukyat dikarenakan masih menggunakan algoritma klasik dengan alur perhitungan yang sederhana, seperti konversi koordinat yang mengabaikan salah satu sumbu dan tidak adanya iterasi. Hasil penelitian yang kedua, setelah direformulasi hasil perhitungan gerhana Matahari bisa ditingkatkan yang awalnya melenceng hingga 15 menit menjadi hanya 29 detik saja. Persamaan dengan penelitian yang penulis lakukan yaitu, membahas akurasi perhitungan gerhana matahari yang menggunakan *ephemeris* sebagai datanya. Perbedaanya yaitu penulis menggunakan metode perhitungan gerhana Matahari program Tracking gerhana Matahari dan kitab *al-Durru al-Anīq*.

3. Khotibul Umam, “Reformulasi Metode Hisab Gerhana Matahari Global saat Awal dan Akhir Umbra dalam Kitab *al-Durru al-Anīq*”. Tesis Magister Imu Falak UIN Walisongo

¹³ Alfani Maghfuri, “Reformulasi Algoritma Hisab Gerhana Matahari Menggunakan Data *Ephemeris* Hisab Rukyat”, (Tesis, UIN Walisongo Semarang, 2019).

Semarang tahun 2022. Penelitian ini membahas tentang reformulasi akurasi perhitungan gerhana Matahari saat awal dan akhir Umbra. Dari hasil penelitiannya menunjukkan hasil perhitungan gerhana Matahari global saat awal dan akhir umbra termasuk low accuracy (tidak akurat) karena memiliki selisih dengan NASA dalam orde menit (1-3 menit 12 detik). Kemudian setelah dilakukan reformulasi, menghasilkan selisih maksimal 31 detik pada perhitungan waktu awal dan akhir umbra gerhana Matahari. Persamaan dengan penelitian yang penulis lakukan yaitu, membahas kitab *al-Durru al-Anīq* dalam perhitungan gerhana Matahari global. Perbedaannya yaitu Khotibul Umam lebih berfokus pada awal dan akhir Umbra dan mereformulasikannya.¹⁴

Berdasarkan penelitian diatas, penulis menyimpulkan tidak ada kesamaan terhadap kajian yang penulis lakukan. Dengan demikian, menurut penulis perlu dilakukan kajian lebih lanjut.

E. Metode Penelitian

1. Jenis dan Pendekatan Penelitian

Jenis penelitian ini termasuk penelitian *library research* (penelitian kepustakaan), karena teknis penelitiannya lebih menekankan pada kajian dokumen atau

¹⁴ Khotibul Umam, “Reformulasi Metode Hisab Gerhana Matahari Global saat Awal dan Akhir Umbra dalam Kitab *al-Durru al- Anīq*”, (Tesis, UIN Walisongo Semarang, 2022).

teks¹⁵ yang berfokus pada dua sumber data primer. Selain itu, pendekatan komparatif digunakan dalam penelitian untuk membandingkan metode *tracking* gerhana Matahari dan metode perhitungan kitab *al-Durru al-Anīq*.

2. Sumber Data

a. Data Primer

Data primer ini merupakan data yang berasal langsung dari sumber data yang dikumpulkan dan juga berkaitan dengan permasalahan yang diteliti.¹⁶ Sumber data primer yang digunakan dalam penelitian, yaitu Muhammad Wasil sebagai penemu salah satu metode perhitungan yang dikaji.

b. Data sekunder

Data sekunder merupakan data yang dijadikan data pendukung dan pelengkap.¹⁷ Data sekunder yang penulis gunakan diantaranya, *e-book* “Gerhana Matahari” karya Muhammad Wasil, “*Al-Durru al-Anīq*” karya K.H. Ahmad Ghozali, “Mekanika Benda Langit” karya Rinto Anugraha, “Elements of Solar Eclipses 1951-2200” karya Jean Meeus, “Prediction and Analysis

¹⁵ V. Wiratna Sujarweni, *Metodologi Penelitian Lengkap, Praktis, dan Mudah Dipahami*, (Yogyakarta: Pustaka Baru Press, 2014), 23.

¹⁶ Jusuf Soewadji, *Pengantar Metodologi Penelitian*, (Jakarta: Mitra Wacana Media, 2012) 91.

¹⁷ Saifuddin Azwar, *Metode Penelitian*, (Yogyakarta: Pustaka Pelajar, Cet.5, 2004), 36.

of solar Eclipse Circumstances” karya Wentworth Williams, JR, “Pengantar Ilmu Falak” karya Slamet Hambali, “Ilmu Falak: dalam Teori dan Praktik” karya Muhyiddin Khazin, “Ilmu Falak Praktis” karya Ahmad Izzuddin, “Perjalanan Mengenal Astronomi” karya Adriana Ariasti, dkk.

3. Fokus Penelitian

Penelitian ini berfokus pada mengkaji perbandingan metode perhitungan gerhana Matahari global Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali, kemudian membandingkan keakurasian kedua metode dengan hasil perhitungan NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) sebagai parameter untuk mengetahui metode mana yang lebih akurat.

4. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan ialah dokumentasi dan wawancara (*interview*). Wawancara dilakukan untuk mengumpulkan, memverifikasi dan memperluas informasi terhadap dua narasumber utama, yaitu Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali.

Penelaahan pustaka ialah salah satu cara pengumpulan data yang mengumpulkan dokumen-dokumen sebagai sumber data.¹⁸ Untuk memperoleh data yang diperlukan, penulis melakukan telaah dari buku-buku dan kajian tentang

¹⁸ Arikunto Suharsimi, *Metodologi Penelitian*, (Yogyakarta: Bina Aksara, 2006), 177.

gerhana Matahari, diantaranya kitab *al-Durru al-Anīq*, *e-book* Gerhana Matahari karya Muhammad Wasil, buku Ephemeris Hisab Rukyat, buku Mekanika Benda Langit, buku *Textbook on Spherical Astronomy* dan buku *Elements of Solar Eclipses*.

5. Teknik Analisis Data

Penulis menganalisis data dengan pendekatan *descriptif analytics*,¹⁹ deskriptif untuk menggambarkan mengenai hasil pengumpulan data dari metode Muhammad Wasil dan metode K.H. Ahmad Ghozali setelah dipilah sesuai dengan fokus penelitian.

Setelah pemaparan data dari metode perhitungan gerhana Matahari global dari Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali, selanjutnya penulis menggunakan metode analisis komparatif, yaitu membandingkan dua data tersebut dan menganalisis ke akurasiannya dengan parameter data gerhana Matahari hasil perhitungan NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) sebagai tolok ukur.

F. Sistematika Penulisan

Garis besar sistematika pembahasan dalam penelitian ini dibagi menjadi lima bab, yaitu:

Bab I, merupakan pendahuluan yang berisi tentang uraian latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan dan manfaat

¹⁹ Syaifuddin Azwar, *Metodologi Penelitian*, 8.

penelitian, kajian Pustaka, metode penelitian dan sistematika penulisan.

Bab II, merupakan landasan teori yang membahas tinjauan umum tentang gerhana Matahari meliputi pengertian gerhana, gerhana perspektif fikih, tinjauan astronomi gerhana, penjelasan gerhana Matahari global, dan sekilas tentang sistem peredaran benda langit.

Bab III, terdiri dari 4 sub bab pokok. Yang pertama biografi Muhammad Wasil. Yang kedua metode perhitungan gerhana Matahari global Muhammad Wasil. Yang ketiga, biografi K.H. Ahmad Ghozali. Yang keempat, metode perhitungan K.H. Ahmad Ghozali. Yang kelima, Hasil perhitungan gerhana Matahari global dari metode Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali, dan NASA.

Bab IV, yaitu analisis komparasi metode perhitungan Muhammad Wasil dan metode K.H. Ahmad Ghozali. Bab ini berisi tentang pembahasan analisis komparasi kedua metode perhitungan yang telah dipaparkan pada bab sebelumnya dan analisis hasil perhitungan kedua metode tersebut.

Bab V, merupakan bab akhir dalam penelitian ini yang berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan penutup.

BAB II

GERHANA MATAHARI DAN SISTEM PEREDARAN BENDA LANGIT

A. Pengertian Gerhana

Gerhana atau bisa disebut 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).¹

Dalam bahasa Arab, *kusūf* dan *khusūf* digunakan untuk menyebut gerhana Matahari maupun Bulan, namun kata *kusūf* lebih dikenal untuk gerhana Matahari (*kusūf al-syams*) dan kata *khusūf* untuk penyebutan gerhana Bulan (*khusūf al-qamar*).² Istilah *kusūf* terbentuk dari kata dasar *kasafa* yang mempunyai dua arti pokok. Pertama, yang mengikuti wazan (*fa'ala-yaf'ilu-fa'lan*) yaitu *kasafa-yaksifu-kasfan* mempunyai arti menutup, sebagai contoh *kasfu al-sya'i* artinya menutup sesuatu. Kedua, kata *kasafa* yang mengikuti wazan (*fa'ala-yaf'ilu-fu'ūlan*) yaitu menjadi *kasafa-yaksifu-kusūfan*. Contoh *kusūf al-syams* memiliki arti gerhana Matahari. Meski demikian, kata *kasafa* ini juga bisa digunakan untuk penyebutan gerhana Bulan sebagaimana contoh

¹ KBBI Daring, diakses pada 15 Mei 2024, pukul 21:06 wib, <https://kbbi.kemdikbud.go.id/entri/eklips>.

² Ahmad Izzuddin, Ilmu Falak Praktis, (Semarang: PT. Pustaka Rizki Putra, 2012), 105.

inkasafa al-qamar yang artinya bulan gerhana. Kata dasar *kasafa* ini bisa berubah menjadi *kisfah-kisaf* dan *aksaf* yang artinya sekeping, sepotong sesuatu.³

Menurut Zubair Umar al-Jaelany gerhana Bulan adalah terjadinya sesuatu yang menimpa Bulan, yakni Bulan berada di tengah-tengah bayangan Bumi, sehingga sinar Matahari tidak bisa sampai ke Bulan. Sedangkan gerhana Matahari adalah terhalangnya sinar Matahari ke Bumi, disebabkan adanya Bulan yang menutupi Matahari.⁴

Menurut Muhyiddin Khazin gerhana Bulan adalah sebagian atau seluruh piringan bulan memasuki umbra atau kerucut bayangan inti Bumi. Oleh sebab itu, Bulan menjadi tampak gelap sebagian pada gerhana sebagian dan tampak gelap seluruhnya pada gerhana total. Dan gerhana Matahari adalah piringan Bulan menutupi piringan Matahari dilihat dari Bumi baik sebagian atau seluruhnya.⁵ Gerhana juga bisa diartikan sebagai suatu kejadian dimana tertutupnya sumber cahaya oleh benda lain.⁶

³ Ahmad Warson Munawwir, *Al-Munawwir Kamus Arab-Indonesia*, (Surabaya: Pustaka Progressif, 1997), 339.

⁴ Zubair Umar al-Jaelany, *al-Khulashah al-Wafiyyah*, (Surakarta: Melati, 1935), 139.

⁵ Muhyiddin Khazin, *Kamus Ilmu Falak*, (Yogyakarta: Buana Pustaka, 2005), 45-47.

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

Gerhana Matahari secara etimologi adalah tertutupnya piringan Matahari oleh Bulan jika dilihat dari Bumi karena Bulan saat itu persis diantara Matahari dan Bumi. Sedangkan gerhana Bulan adalah tertutupnya sinar Matahari oleh Bumi sehingga Bulan berada di bayang-bayang Bumi.⁷

Fenomena gerhana Matahari terjadi ketika *ijtima*⁸, yaitu saat matahari dan bulan berada pada satu bujur astronomi. Namun tidak setiap ijtima akan terjadi gerhana. Hal ini karena bidang *ellips*⁹ lintasan Bumi dan bidang *ekliptika*¹⁰ membentuk sudut 0°, artinya kedua bidang ini berimpit. Sedangkan bidang lintasan bulan dan bidang ekliptika tidak berimpit, melainkan berpotongan dan membentuk sudut rata-rata sebesar 5° 8' yang

⁷ Tim Majlis Tarjih dan Tajdid PP Muhammadiyah, *Pedoman Hisab Muhammadiyah*, (Yogyakarta: Majlis Tarjih dan Tarjih PP Muhammadiyah, 2009, Cet. ke II), 97.

⁸ *Ijtima* yang artinya “kumpul” atau *iqtiran* artinya “bersama”, yaitu suatu keadaan alam yang menggambarkan posisi Matahari dan bulan berada pada satu bujur astronomi. Dalam astronomi dikenal dengan istilah *conjunction* (konjungsi). Baca Muhyiddin Khazin, *Kamus*, 32.

⁹ Ellips adalah bentuk lingkaran yang tidak bundar, melainkan bulat seperti telur. Benda-benda langit beredar pada falaknya masing-masing dalam bentuk *ellips*, misalnya Bumi. Muhyiddin Khazin, *Kamus*, 23.

¹⁰ Bidang ekliptika adalah lingkaran perjalanan Matahari tahunan di bola langit, lingkaran ini berpotongan dengan equator pada titik aries (*vernal equinox* = titik musim semi) dan titik libra (*autumnal equinox* = titik musim gugur) dan membentuk sudut 23,4 derajat dengan equator. Baca Maskufa, Ilmu Falaq, (Jakarta: Gaung Persada Press, 2009), hlm. 62.

bervariasi antara $4^{\circ} 27'$ hingga $5^{\circ} 20'$. Adapun ekliptika sendiri membentuk sudut sekitar $23^{\circ} 27'$ dengan ekuator langit.¹¹

Ketika gerhana Matahari terjadi, cahaya Matahari yang sampai ke Bumi akan terhalang oleh Bulan yang berada diantara Matahari dan Bumi. Terhalangnya cahaya Matahari oleh Bulan ini menyebabkan munculnya bayangan Bulan yang jatuh ke Bumi. Karena ukuran Matahari yang lebih besar daripada Bulan, maka bayangan Bulan ini selalu berbentuk kerucut. Kerucut bayangan Bulan yang terbentuk dari sinar Matahari ini hanya jatuh di beberapa permukaan Bumi saja. Tempat-tempat yang menerima bayang-bayang Bulan inilah yang akan mengalami gerhana Matahari.¹² 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.¹³

Dalam satu tahun kalender (1 Januari - 31 Desember) gerhana Matahari dapat terjadi dua hingga lima kali, tetapi hanya tempat-tempat tertentu yang bisa menyaksikannya. Berbeda dengan gerhana Bulan yang bisa disaksikan oleh seluruh

¹¹ Watni Marpaung, Pengantar Ilmu Falak, Jakarta: Prenadamedia Grup, cet I, 2015, hlm. 88. Baca juga bukunya M. Yusuf Harun, Pengantar Ilmu Falak, (Banda Aceh: Yayasan Pena), 2008, hlm. 96.

¹² Danang Endarto, Kosmografi, (Yogyakarta: Ombak, 2014), 376.

¹³ Slamet Hambali, Pengantar Ilmu Falak Menyimak Proses Pembentukan Alam Semesta, (Banyuwangi: Bismillah Publisher, 2012), 114.

penduduk Bumi yang menghadap Bulan. Satu fenomena gerhana Matahari pun akan berbeda penampakkannya jikadi lihat dari berbagai tempat di permukaan Bumi. Hal ini karena variasi *lintang*¹⁴ dan *bujur*¹⁵ tempat yang berbeda dan Bulan yang menjadi penghalang ukurannya lebih kecil daripada Bumi yang lebih kecil dibanding dengan Matahari.¹⁶

B. Gerhana dalam Tinjauan Fikih

Secara langsung peristiwa gerhana tidak disebut di dalam al-Qur'an. Namun secara tersirat ada ayat yang dapat dikaitkan dengan fenomena gerhana.

1. Dalil al-Qur'an

Firman AllaQur'an QS. Fuṣṣilat ayat 37:

وَمِنْ آيَاتِهِ اللَّيْلُ وَالنَّهَارُ وَالشَّمْسُ وَالْقَمَرُ لَا تَسْجُدُوا لِلشَّمْسِ وَلَا لِلْقَمَرِ وَاسْجُدُوا لِلَّهِ الَّذِي خَلَقَهُنَّ إِن كُنتُمْ إِيَّاهُ تَعْبُدُونَ ۝ ٣٧.

*“Dan di antara tanda-tanda kekuasaan-Nya ialah malam, siang, matahari dan bulan. Janganlah sembah matahari maupun bulan, tapi sembahlah Allah Yang menciptakannya, Jika Ialah yang kamu hendak sembah.”*¹⁷(QS. Fuṣṣilat, ayat 37).

¹⁴ Lintang adalah jarak busur diatas permukaan Bumi yang dihitung dari equator bola Bumi, dan dapat juga diartikan sebagai jarak busur antara zenith dan equator bola langit. Maskufa, Ilmu Falaq, (Jakarta: Gaung Persada Press, 2009), 63.

¹⁵ Bujur adalah jarak sudut dari meridian yang melalui tempat tersebut dengan meridian yang melalui titik acuan. Maskufa, Ilmu..., 64.

¹⁶ Ahmad Ghazali, Bugyah al-Rafiq, (Madura: LAFAL, 1437), 43

¹⁷ Departemen Agama RI Al-Qur'an dan Terjemahan, (Jakarta: Cahaya Qur'an, 2011), 480.

Ayat di atas memerintahkan bersujud kepada Allah saat disebutkan masalah-masalah Matahari dan Bulan, yaitu perintah shalat ketika terjadi peristiwa pada Matahari dan Bulan. Selain itu juga mengandung larangan bersujud kepada keduanya.¹⁸

Terdapat benang merah dari ungkapan tersebut yang dapat mengindikasikan bahwa pertama, hendaklah mengerjakan shalat ketika terjadi gerhana Matahari dan Bulan, Yang kedua, tidak diperintahkan mengerjakan shalat pada setiap ayat selain ayat (keduanya) sebagaimana perintah shalat ketika terjadi gerhana Matahari dan Bulan, karena Allah tidak menyinggung tentang shalat dalam ayat-ayat itu. Dan shalat dalam segala keadaan, merupakan ketaatan kepada Allah dan kegembiraan bagi yang menjalankannya.¹⁹

2. Dalil hadis

Hadis riwayat al-Bukhari dari Abu Bakrah:

عن أبي بكرة قال : كُنَّا عِنْدَ رَسُولِ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ فَأَنكَسَفَتِ الشَّمْسُ فَقَامَ النَّبِيُّ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ يُبْرِئُ رِءَاءَهُ حَتَّى دَخَلَ الْمَسْجِدَ فَدَخَلْنَا فَصَلَّى بِنَا رُكْعَتَيْنِ حَتَّى اجْتَلَتِ الشَّمْسُ فَقَالَ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ إِنَّ الشَّمْسَ وَالْقَمَرَ لَا يَنْكَسِفَانِ لِمَوْتِ أَحَدٍ

¹⁸ Imam Asy-Syafi'i, Al- Umm, Terj. Misbah, jilid 3, (Jakarta: Pustaka Azzam, 2014), 107.

¹⁹ Ahmad Musthafa al-Farran, Tafsir Imam Syafi'i, jilid 3, (Jakarta Timur: Almahira, Cet. I, 2008), 353-354.

فَإِذَا رَأَيْتُمُوهَا فَصَلُّوا وَادْعُوا حَتَّى يُكْشَفَ مَا بَكُمْ. وَذَٰكَ أَنَّ ابْنَ النَّبِيِّ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ

وَسَلَّمَ مَاتَ يُقَالُ لَهُ إِبْرَاهِيمُ فَقَالَ النَّاسُ فِي ذَٰكَ.²⁰

“Dari Abu Bakrah, dia berkata: Suatu ketika kami sedang berada bersama Rasulullah, dan tiba-tiba terjadi gerhana Matahari. Rasulullah segera berdiri dan mengenakan serbannya (dalam riwayat lain mengenakan bajunya dengan terburu-buru. Lalu beliau pergi ke masjid dan orang-orang pun pergi menyusulnya, dan kami masuk ke dalam masjid dan mengikutinya. Kemudian beliau salat dua rakaat bersama kami sehingga Matahari terang kembali. Selanjutnya beliau menghadap ke arah kami, seraya bersabda, “Sesungguhnya Matahari dan Bulan adalah dua tanda dari tanda-tanda kekuasaan Allah, dan keduanya tidak akan bertemu (yang mengakibatkan terjadinya gerhana) dikarenakan kematian seseorang, akan tetapi Allah menakut-nakuti (memperingatkan) para hamba-Nya dengan keduanya. Jika kamu melihat keduanya terjadi gerhana, maka hendaklah kamu salat dan berdoa hingga sekelilingmu terang kembali. (Hal ini terkait dengan kematian putra Rasulullah bernama Ibrahim, sehingga beliau merasa perlu menyampaikan hal tersebut)” (HR. Bukhari-Muslim).²¹

Makna secara keseluruhan dari hadis di atas, bahwa gerhana merupakan tanda-tanda kebesaran Allah yang menunjukkan hikmah dan kekuasaan-Nya. Femonema gerhana tidak ada hubungannya dengan kelahiran atau kematian orang besar seperti yang diyakini oleh orang

²⁰ Abdullah Muhammad bin Ismail al-Bukhari, Sahih al-Bukhari Juz 1, (Beirut: Dar al Kotob Al Ilmiyah, 1992), 184.

²¹ Zaghlul an-Najjar, Pembuktian Sains dalam Sunnah Buku I, terj. A. Zidni Ilham Faylasufa, (Jakarta: Amzah, 2006), 24.

jahiliyah. Dengan itu Rasulullah menuntun kaumnya untuk melaksanakan shalat dan berdoa sampai gerhana selesai.²²

Intisari dari hadis di atas adalah, 1). Disunnahkan shalat dan berdoa saat terjadi gerhana Matahari dan Bulan untuk kembali kepada Allah, 2). Shalat berakhir saat Matahari atau Bulan muncul kembali, 3). Berdasarkan tekstual hadis menunjukkan, bahwa Nabi dan para shahabat shalat, dan tetap sah meski terjadi pada waktu terlarang. Sebab, shalat kusūf adalah shalat yang memiliki sebab, dan secara mutlak dilaksanakan saat sebabnya muncul.²³

C. Pembagian Gerhana Matahari

Gerhana Matahari terjadi ketika fase Bulan mati atau ijtimak serta posisi Matahari dan Bulan berada di sekitar titik simpul (*node*)²⁴. Adapaun titik simpul beregresi ke barat oleh karena itu Matahari lebih cepat mencapai titik simpul. Periode Matahari dari titik simpul kembali lagi ke titik simpul yang sama dinamakan satu tahun gerhana = 346.62 hari (rata-rata). Periode ini lebih pendek 18.63 hari dengan periode Sideris (365.25 hari). Kemungkinan terjadi gerhana hanya jika Matahari-Bulan berada

²² Abdullah Alu Bassam, Fiqih Hadits Bukhari-Muslim, (Jakarta: Ummul Qura, Cet. I, 2013), 386.

²³ Bassam, Fiqih Hadits Bukhari, 386-387.

²⁴ Node - Orbit Bulan memiliki kemiringan sekitar $5,1^\circ$ terhadap orbit Bumi mengelilingi Matahari. Dua titik di mana orbit Bulan melintasi orbit Bumi disebut node. Lihat Fred Espenak, "Glossary of Solar Eclipse Terms" , diakses pada 3 Juni 2024, pukul 22:41 wib. <https://eclipsewise.com/solar/SEhelp/SEGlossary.html#central>.

pada bujur ekliptika dekat titik simpul ($15.35^\circ < \Delta\lambda < 18.51^\circ$). Satu hari dalam peredaran semunya, Matahari bergerak pada ekliptika $(360^\circ/365.25) = 0.985626283^\circ$ per hari. Dalam satu Bulan sinodis $(360^\circ/346,62) \times 29,53 = 30,67^\circ$. Syarat minimal terjadinya gerhana Matahari $\Delta\lambda = 15,35^\circ$. Fase gerhana dicapai $2 \times \Delta\lambda$ adalah 30,7. Matahari bergerak $30,67^\circ$ terhadap titik node/simpul $29,53 \times 360^\circ/346,62$.²⁵

Jika dilihat berdasarkan garis sumbu gerhana, gerhana Matahari dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu:²⁶

1. Gerhana sentral

Gerhana sentral adalah gerhana yang terjadi dengan garis penghubung Matahari-Bulan berpotongan dengan permukaan Bumi. Syarat maksimal jarak bulan dari ekliptika untuk terjadi gerhana Matahari sentral (gerhana matahari total/cincin) ialah 1 derajat.²⁷

2. Gerhana Non Sentral²⁸

²⁵ Tim Penyusun Naskah IDI Hukum, Islam Untuk Disiplin Ilmu Astronomi; Buku Dasar Pendidikan Agama Islam Pada Perguruan Tinggi Umum Jurusan/Program Studi Astronomi, (Jakarta: Depag RI, 2000), 89.

²⁶ Ahmad Ghozali, *Al-Durru Al-Anîq*, (Sampang: LAFAL (Lajnah Falakiyah Lanbulan), Cet. II, 1437 H), 47.

²⁷ T. Djamaluddin, "Memahami Gerhana Matahari dan Gerhana Bulan", diakses pada 15 Juni pukul 22:36 wib, <https://tdjamaluddin.com/2013/05/07/memahami-gerhana-matahari-dan-gerhana-bulan/>.

²⁸ Ghozali, *Al-Durru Al-Anîq*, 47.

Gerhana non sentral adalah gerhana yang terjadi dengan garis penghubung Matahari-Bulan tidak berpotongan dengan permukaan Bumi.

Secara spesifik berdasarkan pada kontak gerhana, gerhana Matahari dibagi menjadi enam macam²⁹, yaitu:

1. Gerhana Matahari parsial.

Tipe gerhana matahari parsial, ketika hanya sebagian dari kerucut umbra Bulan yang mengenai Bumi. Pengamat di daerah yang memungkinkan melihat (*region of visibility*) hanya dapat melihat sebuah gerhana sebagian. pada gerhana ini terjadi dua kontak. Pertama adalah ketika piringan Bulan mulai menyentuh piringan Matahari atau awal gerhana. Kemudian kontak kedua ketika piringan Bulan sudah keluar lagi dari piringan Matahari, pada posisi ini gerhana sebagian telah berakhir.

2. Gerhana Matahari total.

Tipe gerhana total (*total eclipse*) 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. Gerhana Matahari total sentral terjadi ketika

²⁹ Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*, (Yogyakarta: Jurusan Fisika FMIPA UGM, 2012), 126-127.

Bumi-Bulan-Matahari pada satu garis lurus dan posisi Bulan dengan Bumi pada jarak yang dekat (*perigee*)³⁰. Walaupun ukuran Bulan sebenarnya lebih kecil daripada Matahari, namun karena jarak Bulan ke Bumi dengan jarak rata-rata 384.400 km ini lebih dekat daripada jarak Bumi dengan Matahari yang mempunyai jarak rata-rata 149.680.000 km,³¹ maka Bulan dapat sepenuhnya menutupi piringan Matahari. Pada gerhana ini terjadi empat kontak, meliputi:

- a) Kontak pertama, ketika piringan Bulan mulai menyentuh piringan Matahari, pada posisi ini mulai menyentuh gerhana.
- b) Kontak kedua, ketika seluruh piringan Bulan sudah menutupi piringan Matahari atau mulai total.
- c) Kontak ketiga, ketika piringan Bulan mulai bergeser untuk keluar dari piringan Matahari, pada posisi ini merupakan waktu akhir total.
- d) Kontak keempat, ketika seluruh piringan Bulan sudah keluar dari piringan Matahari, posisi ini menandakan waktu akhir gerhana.

³⁰ *Peri* dalam Bahasa Yunani berarti dekat, *go* berarti Bumi. Baca Bayong Tjasyono, *Ilmu Kebumian dan Antariksa*, (Bandung: PT Remaja Rosdakarya, 2013), 34.

³¹ Alimuddin, “Gerhana Matahari Perspektif Astronomi”, *al-Daulah*, 3, (2014), 73.

3. Gerhana Matahari cincin (tipe A).³²

Tipe gerhana Matahari cincin (*annular eclipse*) yaitu gerhana sentral yang mana perpanjangan kerucut umbra mengenai Bumi. Pada posisi seperti ini bayangan kerucut (umbra) Bulan menjadi pendek dan tidak dapat menyentuh permukaan Bumi. Jarak yang jauh antara Bulan dengan Bumi ini juga menyebabkan diameter Bulan terlihat lebih kecil dari pada diameter Matahari, sehingga ada bagian tepi piringan Matahari yang masih terlihat di Bumi. Pada gerhana ini terdapat empat kontak penting meliputi:

- a) Kontak pertama, ketika piringan Bulan mulai menyentuh piringan Matahari, pada posisi ini mulai menyentuh gerhana.
- b) Kontak kedua, ketika seluruh piringan Bulan sudah menutupi piringan Matahari atau mulai total.
- c) Kontak ketiga, ketika piringan Bulan mulai bergeser untuk keluar dari piringan Matahari, pada posisi ini merupakan waktu akhir total.
- d) Kontak keempat, ketika seluruh piringan Bulan sudah keluar dari piringan Matahari, posisi ini menunjukkan waktu akhir gerhana.

4. Gerhana Matahari *hybrid* (tipe A-T)

³² Anugraha, *Mekanika Benda*, 126-127.

Tipe gerhana Matahari cincin total (*hybrid*) yaitu gerhana sentral dimana sebagian gerhana berupa gerhana total sedang sebagian lainnya berupa gerhana cincin.

5. Gerhana Matahari non-sentral total.

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 non-sentral cincin.

Gerhana non-sentral cincin, dimana hanya sebagian dari perpanjangan kerucut umbra yang mengenai (yaitu daerah kutub), tetapi sumbu kerucut umbra tidak mengenai permukaan Bumi.³³

D. Konsep Perhitungan Gerhana Matahari Global

Metode perhitungan gerhana Matahari secara umum dapat dibagi menjadi dua tipe, yaitu metode perhitungan gerhana Matahari global dan gerhana Matahari lokal (*toposentris*). Perhitungan gerhana Matahari global ialah metode perhitungan untuk mengetahui jalur dan kontak – kontak penting gerhana Matahari yang terjadi secara keseluruhan di permukaan Bumi meliputi waktu dan koordinat wilayah yang dilalui gerhana

³³ Anugraha, *Mekanika Benda*, 126-127.

Matahari.³⁴ Sedangkan gerhana Matahari lokal ialah perhitungan gerhana Matahari pada koordinat wilayah tertentu.

Salah satu metode perhitungan gerhana Matahari global yang populer saat ini ialah menggunakan elemen besel didalam metode perhitungannya, karena dianggap paling kuat ketepatannya dalam prediksi gerhana. Metode *bessellian*³⁵ ini juga digunakan oleh NASA dan Jean Meeus untuk prediksi gerhana Matahari.³⁶ Kunci dari metode Bessel adalah ekspresi dari ephemeris Matahari dan Bulan dalam bentuk bayangan Bulan terhadap pusat Bumi. Perubahan kerangka acuan ini sangat menyederhanakan matematika dan geometri tanpa mengorbankan akurasi.³⁷

Bayangan Bulan yang jatuh ke Bumi terdiri dari dua komponen kerucut, satu berada di dalam yang lain. Bayangan luar atau penumbra adalah zona di mana sinar Matahari terhalang sebagian. Sebaliknya, bayangan bagian dalam atau umbra adalah

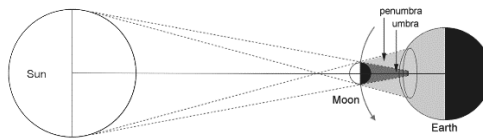
³⁴ Wawancara dengan Muhammad Wasil pada tanggal 6 Juni 2024, pukul 20:00 wib, dirumahnya, Gamping, Sleman.

³⁵ Elemen Besselian adalah angka – angka yang digunakan untuk menghitung dan memprediksi keadaan okultasi lokal bagi pengamat di Bumi. Lihat *Abu Sabda Utsman, Ilmu Falak Rumusan Syar'i & Astronomi seri 02, (Bandung: Persis Pers, 2019), 133.*

³⁶ Jean Meeus, *Elements of Solar Eclipse 1951-2200*, (Virginia: Willman-Bell, Inc., 1989), 47.

³⁷ Fred Espenak, NASA/GSFC, *Besselian elements of Solar Eclipse*, diakses pada 11 Juni 2024, pukul 00: 48 wib, <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEcat5/beselm.html>.

daerah dimana sinar langsung dari Matahari terhalang sepenuhnya.³⁸



Gambar 2. 1

Simulasi penggambaran simpel dari fenomena gerhana Matahari ialah seperti pada gambar 2.1, namun pada kenyataannya jika ditarik garis lurus dari titik pusat Matahari dan pusat Bulan menuju bidang datar Bumi, garis tersebut tidak akan tepat mengenai titik pusat Bumi, karena Matahari-Bumi-Bulan selalu memiliki nilai sudut elongasi³⁹ jika dilihat dari pusat Bumi.⁴⁰

Dalam gerhana Matahari terdapat unsur – unsur penting yang berkaitan dengan perhitungan gerhana Matahari global, diantaranya:⁴¹

1. Penumbra

³⁸ Fred Espenak, “Solar Eclipse Basics”, diakses pada 1 Juni 2024 pukul 23:54 wib, <https://eclipsewise.com/solar/SEhelp/SEbasics.html>.

³⁹ elongasi merupakan sudut antar planet, sudut elongasi berkisar antara 0 derajat – 180 derajat. Ketika Bulan dan Matahari konjungsi maka sudut elongasi 0 derajat, ketika oposisi maka sudut elongasi 180 derajat. Lihat: Ian R idpath, *Dictionary of Astronomy*, (New York: Oxford University Press, 1997), 147

⁴⁰ Muhammad Wasil, *Gerhana Matahari*, (e-book materi pelatihan Kaderisasi Ulama Hisab PWNu Jawa Timur, 2016), 10.

⁴¹ Fred Espenak, *Glossary of Solar Eclipse Terms*, diakses pada 10 Juni 2024, pukul 20:37 wib, <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEhelp/SEglossary.html>.

Penumbra adalah bagian bayangan Bulan yang lemah atau pucat (bagian luar kerucut). Dari dalam penumbra, Matahari hanya terhalang sebagian oleh Bulan seperti pada kasus gerhana sebagian. Dalam perhitungan, biasa disimbolkan (P) yang terdiri dari P1, P2, P3, dan P4.

- a) P1, untuk kontak awal penumbra atau awal bayangan penumbra menyentuh Bumi.
- b) P2, ketika sisi lain kerucut penumbra mulai memasuki Bumi atau cakram bayangan penumbra mulai tercetak utuh.
- c) P3, ketika cakram penumbra mulai teriris kembali.
- d) P4, ketika penumbra meninggalkan Bumi, atau akhir gerhana.

2. Umbra (U)

Umbra merupakan bagian paling gelap dari bayangan Bulan (bagian dalam kerucut bayangan). Dari dalam umbra, Matahari dapat tertutup seluruhnya oleh piringan Bulan seperti pada kasus gerhana Matahari total. Umbra dapat diklasifikasikan menjadi empat kontak, yaitu:⁴²

- e) U1, merupakan kontak awal saat bayangan umbra mulai menyentuh Bumi,
- f) U2, ketika sisi lain bayangan umbra masuk ke Bumi atau cakram bayangan umbra mulai tercetak seluruhnya,
- g) U3, ketika bayangan umbra mulai teriris kembali,

⁴² Wasil, Gerhana Matahari, 54.

- h) U4, kontak ketika bayangan umbra meninggalkan Bumi atau akhir gerhana total.

3. Antumbra

Antumbra adalah bagian bayangan Bulan yang melampaui umbra. Hampir sama dengan penumbra, yaitu Matahari hanya terhalang sebagian oleh Bulan. Dari dalam antumbra, Matahari tampak lebih besar dibandingkan Bulan yang terlihat dalam siluet utuh. Antumbra akan terbentuk ketika saat gerhana cincin atau bisa dikatakan gerhana cincin akan terlihat ketika pengamat melewati antumbra.

4. Garis sentral (*central line*)

Garis sentral merupakan sumbu pusat kerucut bayangan bulan yang ditarik dari pusat Matahari. Garis sentral tidak selalu menyentuh Bumi, adakalanya garis sentral tidak menyentuh Bumi, saat itu disebut gerhana Matahari non-sentral. Dalam perhitungan gerhana Matahari global dilambangkan dengan symbol S1 untuk awal sentral atau sumbu gerhana mulai memasuki Bumi, dan S2 untuk akhir sentral atau sumbu gerhana telah meninggalkan Bumi.

5. *Greatest eclipse* (GE)

Dalam gerhana matahari global, *greatest eclipse* (GE) atau bisa disebut juga puncak gerhana didefinisikan sebagai

momen ketika sumbu kerucut bayangan Bulan (*central line*) memiliki jarak terdekat dengan pusat Bumi.⁴³

6. Delta T (ΔT)

Delta T (ΔT) merupakan selisih antara *Terrestrial Dynamical Time* dan *Universal Time*. Nilai delta T berfungsi untuk mengubah satuan waktu dari waktu umum yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari atau yang disebut dengan *Universal Time* menjadi waktu yang seragam untuk keperluan perhitungan astronomi atau yang disebut dengan *Terrestrial Time*. Perubahan menjadi waktu seragam ini sangat penting karena *Universal Time* tidak bisa digunakan untuk perhitungan astronomi disebabkan *Universal Time* mempunyai waktu yang konstan, sedangkan faktanya pergerakan Bumi semakin lama semakin melambat.⁴⁴

7. Magnitudo gerhana

Magnitudo adalah fraksi diameter Matahari yang ditutupi oleh Bulan ketika terjadi gerhana. Dalam perhitungan gerhana, magnitudo adalah rasio diameter matahari terhadap jarak garis yang melalui pusat Matahari dan Bulan yang berakhir di Matahari dan Bulan yang terdekat dengan titik pusat yang berlawanan (satuan diameter

⁴³ Fred Espenak, *Glossary of Solar Eclipse Terms*, diakses pada 10 Juni 2024, pukul 20:37 wib, <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEhelp/SEglossary.html>.

⁴⁴ M. khalid, dkk, "Delta T: Polynomial Approximation of Time Period 1620-2013", *Journal of Astrophysic*, (2014), 1.

Matahari). Magnitudo satu atau lebih besar menandakan gerhana Matahari total. Magnitudo kurang dari satu tetapi lebih besar dari nol adalah gerhana Matahari parsial.⁴⁵

E. Sistem Peredaran Koordinat Benda Langit

Teori sistem peredaran benda langit (Matahari-Bumi-Bulan) yang masih populer hingga saat ini ialah teori geosentris dan teori heliosentris.

1. Teori *geocentris*

Teori *geocentris* berasumsi bahwa Bumi sebagai pusat dari tata surya, gagasan ini dimunculkan oleh Ptolomeus. Geosentris berasal dari kata *geo* (Bumi) dan *center* (Pusat). Teori ini bertentangan dengan pemahaman yang menyatakan manusia sebagai pusat tata surya.⁴⁶ Ptolomeus menyusun sebuah buku besar tentang astronomi tentang Syntaxis. Pandangan Ptolomeus tentang geosentrik berlaku sampai abad ke 6 M.⁴⁷

Sebelum Ptolomeus, Aristoteles (384-322 SM) berpendapat bahwa pusat jagad raya adalah Bumi. Bumi selalu dalam keadaan diam. Semua benda-benda angkasa yang mengitari Bumi dengan lintasan yang berbentuk lingkaran. Sehingga peristiwa gerhana tidak lagi dipandang

⁴⁵ Fred Espenak, *Glossary of Solar Eclipse Terms*, diakses pada 10 Juni 2024, pukul 20:37 wib, <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEhelp/SEglossary.html>.

⁴⁶ Hambali, *Pengantar Ilmu Falak*, 178-179.

⁴⁷ Khazin, *Ilmu Falak dalam Teori*, 14.

sebagai adanya raksasa menelan Bulan, melainkan fenomena alam.⁴⁸

2. Teori *heliocentris*

Nicolas Copernicus menjadi pengisi teori setelah Plotomeus yang dikenal dengan teori *heliosentris*. Nicolas Copernicus lahir pada tanggal 19 Februari 1473 di Torun. Pada tahun 1491-1496, ia belajar di Universitas Cracow. Copernicus beranggapan bahwa Matahari merupakan pusat peredaran tata surya atau planet – planet. Pada abad ke 13 sebelum Masehi, Nicolas Copernicus sudah berkenalan dengan ide-ide Filosof Aristarchus dari Samos, kemudian dia melakukan pengamatan terhadap bintang-bintang yang dilakukannya dengan cermat selama bertahun-tahun, Nicolas Copernicus menulis sebuah buku besar yang amat kontroversial dengan judul: “*De Revolutionibus Orbium Coelestium*” melakukan pengamatan bertahun-tahun tentang revolusi bulatan benda-benda langit.⁴⁹

Dalam sistem peredaran benda langit, dibutuhkan sistem koordinat untuk dapat melacak benda langit. Sistem koordinat dapat dibagi menjadi dua, yaitu sistem koordinat terestial dan sitem koordinat langit. Sistem koordinat terrestrial digunakan untuk menentukan posisi spasial titik-titik di Bumi, sistem ini

⁴⁸ Khazin, Ilmu Falak dalam Teori, 22.

⁴⁹ Slamet Hambali, “Astronomi Islam dan Teori Heliocentris Nicolaus Copernicus”, dalam *al-Ahkam*, XXIII, Nomor 2, Oktober 2013, 228.

terdiri dari sistem koordinat geografik dan sistem koordinat geodetik. Sistem koordinat bola langit digunakan untuk menentukan posisi benda-benda langit.⁵⁰

Setiap sistem koordinat memiliki koordinat benda langit masing-masing. Posisi benda langit seperti Matahari dapat dinyatakan dalam sistem koordinat tertentu. Selanjutnya nilainya dapat diubah ke dalam sistem koordinat yang lain melalui transformasi koordinat.⁵¹

Sistem koordinat bola langit diantaranya ialah sistem koordinat ekliptika heliosentrik (*Heliocentric Ecliptical Coordinate*), sistem koordinat ekliptika geosentrik (*Geocentric Ecliptical Coordinate*), sistem Koordinat Ekuator Geosentrik (*Geocentric Equatorial Coordinate*) dan sistem koordinat horizon (*Horizontal Coordinate*). Berikut ini penjelasan singkat mengenai macam sistem koordniat bola langit, yaitu:

1. Sistem koordinat ekliptika heliosentrik

Pada sistem koordinat Ekliptika Heliosentrik ini, Matahari (*sun*) menjadi pusat koordinat, dan benda langit lainnya seperti Bumi (*earth*) dan planet bergerak mengitari

⁵⁰ Laboratorium Geodesi, Geometri, dan Geodesi Fisis, “Sistem Koordinat langit”, (pdf *e-book*, Teknik Geodesi – FT Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, 2016), 2-3. Baca juga Djawahir Fahrurrazi, *Sistem Acuan Geodetik: Dari Bigbang sampai Kerangka Acuan Terrestrial*, (Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2011).

⁵¹ M. Basthoni, “Karakteristik Data Ephemeris Gerhana Matahari Berbasis *Jet Propulsion Laboratory* NASA”, (Tesis, UIN Walisongo Semarang, 2017), 39.

Matahari. Bidang orbit Bumi mengitari Matahari / bidang ekliptika menjadi bidang datar referensi. *Vernal equinox* menjadi titik referensi.

2. Sistem koordinat ekliptika geosentrik

Pada sistem koordinat ekliptika geosentrik, Bumi menjadi titik pusat koordinat dan benda langit lain berada di sekelilingnya (nampak mengitari). Bujurnya adalah bujur ekliptika, sedangkan lintangnya adalah lintang ekliptika., bidangnya bidang ekliptika yaitu bidang orbit Bumi mengitari Matahari.

3. Sistem koordinat ekuator geosentrik

Pada sistem koordinat ekuator geosentrik, Bumi menjadi titik pusat koordinat dan benda langit berada di sekelilingnya. Bujurnya adalah asensio rekta atau biasa disebut *right ascension*, sedangkan lintangnya adalah deklinasi. Bidang datarnya adalah bidang ekuator yaitu bidang datar yang mengiris Bumi menjadi dua bagian melewati khatulistiwa. (Catatan untuk *right ascension*, nilainya dinyatakan dalam jam, dari pukul 0 hingga pukul 24).

4. Sistem koordinat horizon

Pada sistem koordinat ini, pusat koordinat adalah posisi pengamat (bujur dan lintang) yang terletak di permukaan Bumi. Adakalanya ketinggian pengamat dari permukaan

Bumi juga ikut diperhitungkan.⁵² Bidang datar yang menjadi referensi adalah bidang horizon, bujunya adalah azimuth, sedangkan lintangnya adalah altitude (ketinggian).⁵³

⁵² Basthoni, “Karakteristik Data Ephemeris,” 44.

⁵³ Rinto Anugraha, “Konjungsi dengan Bujur Ekliptika dan Right Ascension”, diakses pada 16 Juni 2024, pukul 01:16 wib, <https://rintoanugraha.staff.ugm.ac.id/konjungsi-dengan-bujur-ekliptika-dan-right-ascension/>.

BAB III

METODE PERHITUNGAN GERHANA MATAHARI GLOBAL MUHAMMAD WASIL DAN K.H. AHMAD GHOZALI

A. Biografi Muhammad Wasil

Muhammad Wasil merupakan seorang ahli falak asal Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia. Beliau lahir pada tanggal 23 Oktober tahun 1973 di Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta dari pasangan Bapak Jumaini dan Ibu Jariyah. Saat ini Muhammad Wasil berprofesi sebagai seorang guru di Sekolah Menengah Pertama Ma'arif Gamping, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta.

Pendidikan formal beliau berawal di Sekolah Dasar Kejambon 1 Sleman, kemudian melanjutkan di Sekolah Menengah Pertama Trihanggo Sleman (sekarang menjadi SMP Negeri 2 Gamping, Sleman) lulus pada tahun 1989. Setelah itu melanjutkan di Madrasah Aliah Nurul Islam, Kriyan, Kabupaten Jepara.⁷⁴

Muhammad Wasil mulai mengenal ilmu falak saat berumur 16 tahun. Saat itu beliau sedang menempuh pendidikan Madrasah Aliah, sekaligus menjadi santri dari almarhum kiai Noor Ahmad S S di Jepara, pengarang kitab *Nur al-Anwar*. Pada masa itu beliau berhasil memecahkan perhitungan pada kitab falak klasik namun dengan pendekatan rumus matematika

⁷⁴ Wawancara dengan Muhammad Wasil pada tanggal 6 Juni 2024, pukul 19:09 WIB di Gamping, Sleman.

geometri. Ini menjadi kepuasan dan titik awal beliau pada ketertarikan untuk mempelajari ilmu falak lebih mendalam.⁷⁵

Setelah lulus dari Madrasah Aliyah, Muhammad Wasil sempat belajar kepada ahli falak di Wonosobo. Menurut beliau belajar ilmu falak terutama dalam hal hitung-menghitung merupakan suatu hal keasyikan dan tidak menimbulkan kebosanan. Pendalaman ilmu falak Muhammad Wasil lebih banyak dilakukan belajar secara mandiri dan diskusi kepada sesama pegiat falak. Muhammad Wasil juga mempelajari kalkulus (*calculus*)⁷⁶ secara mandiri, karena menurutnya masih berkaitan dengan ilmu falak. Salah satu teman diskusi beliau pada masa itu ialah pegiat ilmu falak yang saat itu menjadi tangan kanan Muhyidin Khazin (beliau tidak ingat namanya).⁷⁷

Awal ketertarikan Muhammad Wasil untuk menyusun metode perhitungan gerhana Matahari ialah muncul pada tahun 2006. Saat itu beliau belum menemukan perhitungan gerhana Matahari baik dari buku – buku klasik maupun modern yang

⁷⁵ Wawancara dengan Muhammad Wasil pada tanggal 6 Juni 2024, pukul 19:10 WIB di Gamping, Sleman.

⁷⁶ *Calculus* ialah cabang ilmu matematika yang mencakup limit, turunan, integral, dan deret tak terhingga, mempelajari perubahan, sebagaimana geometri yang mempelajari bentuk dan aljabar yang mempelajari operasi dan penerapannya untuk memecahkan persamaan. Baca Latorre, Donald R, Kenelly, John W, dkk, *Calculus Concepts: An Applied Approach to the Mathematics of Change*, (e-book, Cengage Learning, 2017), 2.

⁷⁷ Wawancara dengan Muhammad Wasil pada tanggal 6 Juni 2024, pukul 19:16 WIB di Gamping, Sleman.

secara lengkap, utuh serta akurat membahas kontak – kontak penting proses gerhana secara global beserta lokasi yang mengalaminya dan kontak – kontak gerhana Matahari secara lokal. Adapun saat itu yang membahas gerhana secara global dan dan utuh hanya bisa didapatkan dari laman luar negeri dan berupa aplikasi (*software*), namun tidak dijabarkan metode perhitungannya. Berawal dari misteri inilah beliau bermaksud menyusun rumus perhitungan gerhana Matahari sendiri.⁷⁸

Dalam penyusunan metode perhitungan gerhana Matahari, Muhammad Wasil melibatkan beberapa pihak sesama pegiat ilmu falak, diantaranya Ustadz Ali Mustofa, Gus Ahmad Rifa'i, dan Muhammad Sahlan Rosyidi yang berperan dalam penyusunan data ephemeris. Meskipun saat itu sudah ada data ephemeris yang diterbitkan oleh Kementrian Agama, namun data ephemeris tersebut dirasa kurang fleksibel untuk diolah ke dalam metode perhitungan gerhananya. Oleh karena itu, Muhammad Wasil meminta bantuan dari Muhammad Sahlan Rosyidi untuk menyusun data ephemeris yang sesuai kebutuhan terkait rumus perhitungan Gerhana Matahari tersebut. Proses diskusi ini terjadi melalui grup Pembelajaran Falak di media sosial Facebook.⁷⁹

Metode perhitungan gerhana Matahari selesai disusun serta dirancang menjadi sebuah program dengan nama program

⁷⁸ Wawancara dengan Muhammad Wasil pada tanggal 6 Juni 2024, pukul 19:09 WIB di Gamping, Sleman.

⁷⁹ Wawancara dengan Muhammad Wasil pada tanggal 6 Juni 2024, pukul 10.47 di Gamping, Sleman.

Tracking gerhana Matahari pada tahun 2013. Metode perhitungan ini beliau sebut metode *tracking*, karena pada dasarnya metode ini dapat melacak dan menghitung setiap kontak penting gerhana Matahari beserta wilayah yang dilalui oleh gerhana Matahari.⁸⁰

B. Metode *Tracking* Gerhana Matahari Muhammad Wasil

Sudut yang dibentuk antara matahari, Bumi dan Bulan dinamakan sudut elongasi. Jika pusat matahari dan pusat bulan ditarik garis lurus sebagai sumbu bayangan maka jatuhnya sumbu tersebut tidak bisa tepat di pusat bumi, namun selalu berjarak. Karena matahari dan bulan selalu mempunyai elongasi jika dilihat dari pusat bumi. Inilah yang menjadi kunci utama untuk penyusunan rumus perhitungan.

Metode *tracking* gerhana Matahari menggunakan perhitungan dengan pendekatan geometri posisi Matahari Bumi dan Bulan. Sehingga di dalamnya banyak menggunakan rumus serta kaidah astronomi bola dan Matematika dasar seperti trigonometri, geometri, teorema *pythagoras*⁸¹, dan rumus – rumus turunannya.

⁸⁰ Wawancara dengan Muhammad Wasil pada tanggal 6 Juni pukul 19:09 WIB di Gamping, Sleman.

⁸¹ Teorema *Pythagoras* yaitu sebuah teorema dalam bidang geometri yang menyatakan bahwa jumlah luas bujur sangkar pada kaki sebuah segitiga siku-siku sama dengan luas bujur sangkar di hipotenusa. Baca Christoph Riedweg, *Pythagoras: His Life, Teachings, and Influence*, (New York: Cornell University Press, 2005), 25.

Metode *tracking* gerhana Matahari menerapkan rumus delta T (ΔT) dalam pengolahan data ephemeris sebelum dimasukkan kedalam perhitungan gerhana Matahari. Rumus delta T (ΔT) yang digunakan mengacu pada rumus delta T (ΔT) yang tersedia pada laman NASA.⁸²

Data-data yang dibutuhkan untuk perhitungan, meliputi:

- Deklinasi Bulan (db)
- Deklinasi Matahari (dm)
- Asensio rekta bulan (Rab)
- Asensio rekta matahari (Ram)
- Jarak Bumi Matahari dalam satuan jari-jari bumi (jm)
- Jarak Bumi Bulan dalam satuan jari-jari bumi (jb)
- Jari-jari matahari dalam satuan jari-jari bumi (rm)⁸³
- Jari-jari bulan dalam satuan jari-jari bumi (rb)⁸⁴
- Jam Universal Time
- Perata Waktu (PW) / Equation of Time

Berikut penjabaran rumus dalam metode *tracking* gerhana Matahari untuk gerhana Matahari global.⁸⁵

⁸² Wawancara dengan Muhammad Wasil pada tanggal 6 Juni 2024, pukul 19:09 WIB di Gamping, Sleman.

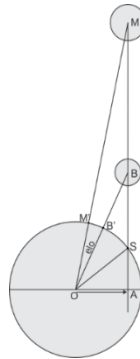
⁸³ Jari-jari matahari dalam satuan jari-jari bumi = 109,2. Lihat: David R. Williams, “*Sun Fact Sheet*”, diakses pada 1 Juni 2024, pukul 03:18 wib, <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/sunfact.html>,

⁸⁴ Jari-jari bulan dalam satuan jari-jari bumi = 0,2371. Lihat: David R. Williams, “*Moon Fact Sheet*”, diakses pada 1 Juni 2024, pukul 03:17 wib, <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/moonfact.html>.

⁸⁵ Muhammad Wasil, “Gerhana Matahari”, (*e-book* materi Seminar Pelatihan Kaderisasi Ulama Hisab PWNU Jawa Timur, 2016), 15.

1. Menghitung elongasi Matahari-Bulan

Perlu diketahui bahwa saat gerhana Matahari terjadi, pertengahan gerhana ditunjukkan ketika nilai elongasi Matahari-Bulan mencapai nilai terkecil, karena pada saat itu titik pusat Bulan terlihat sangat dekat dengan Matahari. Saat itu juga piringan bulan menutup piringan Matahari lebih luas daripada saat sebelum ataupun sesudahnya.⁸⁶



Gambar 3. 1

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

2. Menghitung jarak jatuhnya sumbu bayangan gerhana Matahari dari pusat Bumi (OA).

Jika jari-jari bumi = 1, maka

OM = b (jarak Bumi-Matahari dalam satuan jari-jari Bumi)

OB = m (jarak Bumi-Bulan dalam satuan jari-jari Bumi)

o = jarak Matahari-Bulan

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

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

⁸⁶ Wasil, “Gerhana Matahari,” 12.

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

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

- Jika $OA > 1$ maka termasuk gerhana matahari tidak sentral, karena sumbu gerhana tidak menyentuh Bumi,
 - Jika $OA < 1$ maka termasuk gerhana matahari sentral. karena sumbu menyentuh bumi,
 - Jika $OA = 1$ maka jam itu adalah saat sumbu mulai menyentuh / meninggalkan bumi (bukan awal/akhir gerhana).
3. Menghitung sudut SOA, sudut B'OA, sudut M'OA, sudut M'OS

$$\cos(\text{SOA}) = \frac{OA}{OS}$$

$$\angle M'OA = \angle B'OA + \text{elongasi}$$

$$\angle M'OS = \angle M'OA - \angle SOA$$

$$= \angle B'OA - \angle SOA + \text{elongasi}$$

4. Menghitung koordinat M' dan B'

$$\text{Lintang}(\varphi) M' = \text{deklinasi Matahari}$$

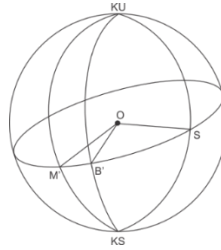
$$\text{Bujur}(\lambda) M' = 180 - 15 \times (\text{UT} + \text{PW})$$

$$\text{Lintang}(\varphi) B' = \text{deklinasi Bulan}$$

$$\text{Bujur}(\lambda) B' = \lambda M' + \text{Rab} - \text{Ram}$$

- Jika $\text{rab} > \text{ram}$ maka B' di sebelah timur M'
- Jika $\text{Rab} < \text{Ram}$ maka B' di sebelah barat M'
- Jika $\text{rab} = \text{ram}$ maka B' dan M' segaris utara selatan

5. Menghitung nilai Azimut B'⁸⁷



Gambar 3. 2

$$KUM' = 90 - \phi M'$$

$$KUB' = 90 - \phi B'$$

$M'B' = \text{elongasi} = \text{jarak zenith kedua titik}$

$$\angle M'KUB = Rab - Ram$$

$$= \text{selisih bujur } M' - B'$$

Yang perlu dihitung adalah azimuth B' yang sama dengan sudut M'

Segitiga M'KUS

$$KUM' = 90 - \phi M'$$

$$KUS = 90 - \phi S$$

$M'S = M'OA - SOA = \text{jarak zenith kedua titik}$

$$\angle M'KUS = \text{selisih bujur } M' - S'$$

$$\cos AzB' = -\tan(dm) / \tan(\text{elongasi}) + \sin(db) / \cos(dm) / \sin(\text{elongasi})$$

- Jika $rab < ram$, maka titik B' berada disebelah kiri M', sehingga azimuth B' = $360 - AzB'$
- Jika $rab > ram$, maka titik B' berada di sebelah kanan M', sehingga $M' = AzB'$

6. Menghitung lintang dan bujur S⁸⁸

S = titik jatuhnya sumbu gerhana Matahari pada permukaan Bumi

⁸⁷ Wasil, "Gerhana Matahari," 33.

⁸⁸ Wasil, "Gerhana Matahari," 39-40.

Jika $OA > 1$ maka langkah ini tidak perlu dilakukan

Lintang S

$$\sin(\varphi S) = \cos(dm) \times \sin(M'OS) \times \cos(AzB') + \sin(dm) \times \cos((M'OS))$$

Bujur S

$$\cos(\Delta\lambda) = -\tan(\varphi M') \times \tan(\varphi S) + \cos(M'OS) / \cos(\varphi M') / \cos(\varphi S)$$

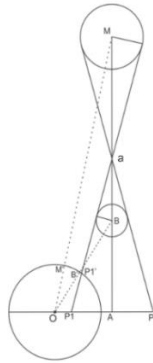
- Jika $rab < ram$, maka bujur(λ) S = $\lambda M' - \Delta\lambda$
- Jika $rab > ram$, maka bujur(λ) S = $\lambda M' + \Delta\lambda$

Karena ketentuan nilai bujur geografis bernilai antara (-180) hingga (180), maka

- Jika bujur S < -180 maka bujur S + 360
- Jika bujur S > 180 maka bujur S – 360

Kemudian proses perhitungan dapat dilakukan secara berulang kali dengan mengambil data pada jam-jam (interval waktu tertentu) sebelum dan setelah tengah gerhana. Sehingga dapat mengetahui kontak awal (sebelum tengah gerhana) sumbu gerhana mengenai Bumi (S1), dan kontak akhir sumbu gerhana meninggalkan Bumi setelah tengah gerhana (S2). Dari hasil perhitungan tersebut akan diketahui jam dan koordinat lokasi yang dilalui sumbu gerhana Matahari.

7. Menghitung jarak lingkaran penumbra pada bidang gerhana



Gambar 3. 3

$$\sin(a) = \frac{rm + rb}{MB}$$

$$\sin(\text{BOA}) = \frac{BA}{OB}$$

$$BA = \sin(\text{BOA}) \times OB$$

$$Aa = Ba + BA$$

$$\tan(a) = \frac{AP1}{Aa}$$

$$AP1 = \tan(a) \times Aa$$

$$OP1 = OA - AP1$$

$$OP2 = OA + AP2$$

OP1 merupakan jarak batas lingkaran penumbra terdekat dengan pusat Bumi di bidang gerhana.

OP2 merupakan jarak batas lingkaran penumbra terjauh dengan pusat Bumi di bidang gerhana.

- Jika $OP1 < 1$, maka terjadi gerhana matahari.
- Jika $OP1 > 1$, maka tidak terjadi gerhana matahari dan perhitungan tidak perlu dilanjutkan.

$$\sin(\varphi P2) = \cos(dm) \times \sin(M'OP2') \times \cos(AzB') + \sin(dm) \times \cos(M'OP2')$$

$$\cos \Delta\lambda = \frac{-\tan(\varphi M') \times \tan(\varphi P2) + \cos(M'OP2')}{\cos(\varphi P2)}$$

Jika $rab < ram$ maka bujur $P2 = \text{bujur } M' - \Delta\lambda$

Jika $rab > ram$ maka bujur $P2 = \text{bujur } M' + \Delta\lambda$

Ketentuan nilai bujur geografis bernilai $-180 - 180$, maka

Jika bujur $P2 < -180$ maka bujur $P2 + 360$

10. Menghitung nilai sudut b pada kerucut umbra⁹¹



Gambar 3. 6

$$\sin(b) = \frac{rb}{Bb} = \frac{rm}{(MB+Bb)}$$

$$rb(MB + Bb) = rm \times Bb$$

$$rb.MB + rb.Bb = rm.Bb$$

$$rb.MB = rm.Bb - rb.Bb$$

$$rb.MB = Bb.(rm-rb)$$

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

$$\sin(b) = \frac{rb}{Bb}$$

$$\sin(b) = \frac{rb.(rm-rb)}{rb.Mb}$$

$$\sin(b) = \frac{(rm-rb)}{MB}$$

⁹¹ Wasil, "Gerhana Matahari," 67.

$$\sin(\phi U1') = \cos dm \times \sin M'OU1' \times \cos AzB + \sin dm \times \cos M'OU1'$$

$$\cos \Delta\lambda = -\tan(\phi M') \times \tan(\phi U1') + \cos M'OU1' / \cos(\phi M') / \cos(U1')$$

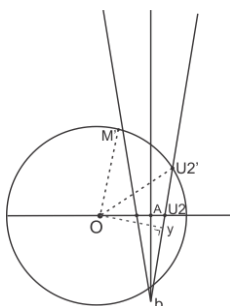
Jika $rab < ram$ maka bujur $U1 = \text{bujur } M' - \Delta\lambda$

Jika $rab > ram$ maka bujur $U1 = \text{bujur } M' + \Delta\lambda$

Ketentuan nilai bujur geografis bernilai $-180 - 180$, maka

Jika bujur $PU1 < -180$ maka bujur $U1 + 360$

12. Menghitung $U2$ ⁹²



Gambar 3. 8

$$\text{Sudut } OU2U2' = 180 - bU2A$$

$$\text{Sudut } OU2U2' = 180 - (90 - b)$$

$$\text{Sudut } OU2U2' = 90 + b$$

$$\text{Sudut } OU2y = 90 - b$$

$$\text{Maka sudut } U2Oy = b$$

$$\cos b = Oy / OU2$$

$$Oy = \cos(b) \times OU2$$

$$Oy = \sin U2 = \cos(b) \times OU2$$

$$OU2' = 1 = \text{jari} = \text{jari Bumi}$$

$$\text{Sudut } U2' = \arcsin((\cos b) \times OU2)$$

$$\begin{aligned} \text{Sudut } U2'OA &= 180 - \text{sudut } OU2U2' - \text{sudut } U2' \\ &= 180 - (90 + b) - \text{sudut } U2' \end{aligned}$$

⁹² Wasil, "Gerhana Matahari,"¹².

$$= 90 - b - U2'$$

$$\text{Sudut } M'OU2' = M'OA - U2'OA$$

Lintang $U2'$

$$\sin \phi U2' = \cos dm \times \sin M'OU2' \times \cos AzB' + \sin dm \times \cos M'OU2'$$

Bujur $U2'$

$$\cos \Delta\lambda = -\tan \text{lintang } M' \times \tan \text{lintang } U2' + \cos M'OU2' / \cos \text{lintang } M' / \cos \text{lintang } OU2'$$

Bujur $U2' =$

Jika $rab < ram$ maka bujur $U2 = \text{bujur } M' - \Delta\lambda$

Jika $rab > ram$ maka bujur $U2 = \text{bujur } M' + \Delta\lambda$

Ketentuan nilai bujur geografis bernilai $-180 - 180$, maka

Jika bujur $U2 < -180$ maka bujur $U2 + 360$

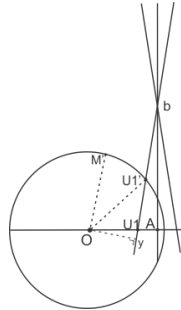
13. Menghitung bayangan umbra untuk gerhana cincin ($U1$)

Gerhana cincin terjadi jika bayangan umbra menyentuh bumi dan jarak pusat Bumi ke titik simpul kerucut umbra lebih kecil dibanding jarak pusat bulan ke bidang dasar gerhana

- Jika $Ab < 0$ maka gerhana biasa (tidak cincin)
- Jika $Ab > 1$ maka seluruh wilayah yang dilalui bayangan umbra menyaksikan gerhana cincin
- Jika $0 < Ab < 1$ maka terjadi gerhana campuran, kemungkinan sebagian wilayah yang dilalui bayangan umbra menyaksikan gerhana cincin sementara yang lain menyaksikan gerhana total biasa.

$$Ab = BA - Bb$$

Dalam kasus gerhana cincin, maka persamaan di atas menghasilkan nilai positif, artinya titik simpul umbra berada di atas bidang dasar gerhana



Gambar 3. 9

$$\begin{aligned}\text{Sudut } \text{OU1U1}' &= 180 - \text{bU1A} \\ &= 180 - (90 - b) \\ &= 90 + b\end{aligned}$$

Sudut OU1y = 90 - b

Maka sudut $U_1Oy = b$

$$\cos b = O_y / OU1$$

$$O_y = \cos(b) \times OU1$$

$$O_y = \sin U_1 = \cos(b) \times OU_1$$

$$\text{OU1}' = 1$$

$$\text{Sudut } U1' = \arcsin((\cos b) \times OU1)$$

$$\begin{aligned}\text{Sudut } U1'OA &= 180 - \text{sudut } OU1U1' - \text{sudut } U1 \\ &= 180 - (90 + b) - U1 \\ &= 90 - b - U1'\end{aligned}$$

$$\text{Sudut } M'OU1' = M'OA - U1'OA$$

Lintang U1'

$$\sin(\phi U1') = \cos dm \times \sin M'OU1' \times \cos AzB' + \sin dm \times \cos M'OU1'$$

Bujur U1'

$$\cos(\Delta\lambda) = -\tan \phi M' \times \tan \phi U1' + \cos M'OU1' / \cos \phi M' / \cos \phi OU1'$$

Bujur $U1' =$

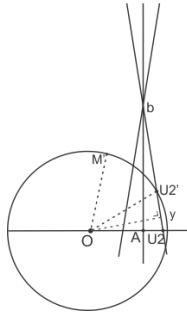
Jika $rab < ram$ maka bujur $U1 = \text{bujur } M' - \Delta\lambda$

Jika $rab > ram$ maka bujur $U1 = \text{bujur } M' + \Delta\lambda$

Ketentuan nilai bujur geografis bernilai $-180 - 180$, maka

Jika bujur $U1 < -180$ maka bujur $U1 + 360$

14. Menghitung $U2$ untuk gerhana cincin⁹³



Gambar 3. 10

$$\text{Sudut } OU2U2' = 90 - a$$

$$\begin{aligned} \text{Sudut } U2'OA &= 180 - OU2U2' - U2' \\ &= 90 + a - P2' \end{aligned}$$

$$\text{Sudut } M'OU2' = M'OA - U2'OA$$

Lintang $U2$

$$\sin(\phi U2) = \cos dm \times \sin M'OU2' \times \cos AzB + \sin(dm) \times \cos M'OU2'$$

Bujur $U2$

$$\begin{aligned} \cos \Delta\lambda &= -\tan \phi M' \times \tan \phi U2 + \cos M'OU2' / \cos \phi M' \\ &\quad / \cos \phi U2 \end{aligned}$$

Bujur $U2 =$

Jika $rab < ram$ maka bujur $U2 = \text{bujur } M' - \Delta\lambda$

Jika $rab > ram$ maka bujur $U2 = \text{bujur } M' + \Delta\lambda$

Ketentuan nilai bujur geografis bernilai $-180 - 180$, maka

⁹³ Wasil, "Gerhana Matahari," 72-25.

Jika bujur $U_2 < -180$ maka bujur $U_2 + 360$

15. Menghitung koordinat daerah yang menyaksikan gerhana paling luas (E)⁹⁴

Jika gerhana sentral, maka daerah yang menyaksikan piringan matahari tertutup paling luas adalah daerah jatuhnya sumbu saat puncak gerhana (*greatest eclipse*).

Jika gerhana non-sentral (sumbu bayangan tidak menyentuh Bumi), maka daerah yang menyaksikan piringan matahari tertutupi paling luas adalah daerah yang paling dekat dengan sumbu bayangan.

Sudut (M'OE) = sudut (M'OA)

Lintang E

$$\sin(\phi E) = \cos(dm) \times \sin(M'OE) \times \cos(AzB') + \sin(dm) \times \cos(M'OE)$$

Bujur E

$$\cos(\Delta\lambda) = -\tan \text{lintang } M' \times \tan(\phi E) + \cos M'OE / \cos \text{lintang } M' / \cos(\phi E)$$

Bujur E =

Jika $rab < ram$ maka bujur E = bujur M' - $\Delta\lambda$

Jika $rab > ram$ maka bujur E = bujur M' + $\Delta\lambda$

Ketentuan nilai bujur geografis bernilai -180 – 180, maka

Jika bujur E < -180 maka bujur E + 360

16. Menghitung manitudo⁹⁵

Lebar gerhana di titik E (jika gerhana Matahari non-sentral)

$$\text{Mag} = 100 \times AP1 / (AP1 - AU1) \%$$

⁹⁴ Wasil, "Gerhana Matahari," 79-80.

⁹⁵ Wasil, "Gerhana Matahari," 81.

Lebar gerhana jika gerhana Matahari sentral

$$J = \tan(a) \times (Aa - \sin(SOA))$$

$$K = \tan(b) \times (Ab - \sin(SOA))$$

$$\text{Mag} = 100 \times J / (J - K) \%$$

C. Biografi K.H. Ahmad Ghozali

K.H. Ahmad Ghozali bin Muhammad bin Fathullah bin Sa'idan lahir di dusun Lanbulan desa Baturasang kecamatan Tambelangan kabupaten Sampang, pulau Madura, Jawa Timur pada tanggal 07 Januari 1959. Beliau lahir dari pasangan KH. Muhammad Fathullah dengan Nyai Hj. Zainab Khoirudin.⁹⁶

K.H. Ahmad Ghozali memulai Pendidikan formal di Sekolah Dasar Baturasang. Namun pada tingkat Pendidikan dasar ini hanya hingga kelas tiga, karena beliau lebih berfokus terhadap pendalaman ilmu agama yang dididik oleh ayahnya di Pondok Pesantren al-Mubarak, Lanbulan, kabupaten Sampang, Jawa Timur.⁹⁷

Pada tahun 1977, selama bulan Ramadhan beliau menimba ilmu pada K.H Maimun Zubair, Sarang Rembang tiga tahun berturut hingga tahun 1980. Pada masa itu beliau juga telah menjadi salah satu guru di Pondok Pesantren Al-Mubarak, Sampang. Beliau juga menyempatkan mengaji pada KH. Hasan Iraqi (alm) Pondok Pesantren Tuwe' Pote kota Sampang setiap

⁹⁶ Khotibul Umam, "Reformulasi Metode Hisab Gerhana Matahari Global saat Awal dan Akhir Umbra dalam Kitab *al-Durru al-Anniq*", (Tesis, UIN Walisongo Semarang, 2022), 42.

⁹⁷ Ilmi Mukarromah, "KH. Ahmad Ghozali; Penghidup Ilmu Falak Masa Kini", Zenith edisi XI / tahun V / April 2014), 22.

hari Selasa dan Sabtu. Kemudian pada tahun 1981, beliau melanjutkan belajar di Mekkah kepada beberapa ulama besar di sana, diantaranya Syaikh Ismail Usman Zain al-Yamani Al-Makky, Syaikh Abdullah Al-Lahjy, Syaikh Yasin bin Isa Al-Fadany dan ulama-ulama lainnya selama 7 tahun.⁹⁸

Kitab falak yang pertama kali dipelajari oleh KH. Ahmad Ghozali di Mekkah ialah kitab *al-Muhtashar al-Muhadzdzab* karya Syaikh Yasin bin Isa Al-Fadany. Beliau mempelajari kitab tersebut dengan berguru kepada Syaikh Mukhtaruddin al-Flimbani (alm). Ketertarikan dan keinginan untuk memperdalam ilmu falak dipicu oleh adanya perbedaan penetapan hari raya di Indonesia. Beliau mulai belajar pertama kali di tanah air kepada kiai Abdun Nashir Syuja'i (alm) di Prajjen Camplong Sampang. Tidak hanya sekedar belajar, namun mulai mencoba untuk mengarang kitab yang membahas tentang ilmu falak, karya pertamanya yaitu kitab Faidl al-Karim.⁹⁹

Selain kiai Abdun Nashir, beliau melanjutkan belajar kepada beberapa ahli falak lainnya, seperti kiai Yahya di Gresik, kemudian belajar kepada ayahnya kiai Yahya, yakni kiai Mushofa, K.H. Kamil Hayyan (alm), K.H. Hasan Basri Sa'id (alm), kemudian pada KH. Zubair Bungah Gresik, Muhyidin

⁹⁸ Umam, "Reformulasi Metode," 43.

⁹⁹ Sukarni, "Metode Hisab Gerhana Bulan Ahmad Ghozali dalam Kitab Irsyad al-Murid", (Skripsi, UIN Walisongo Semarang, 2014, 50-51.

Khazin, kiai Noor Ahmad dari Jepara, dan Muhammad Odeh dari Jordan.¹⁰⁰

Sampai saat ini banyak kitab karangan K.H. Ahmad Ghozali yang telah diterbitkan, baik terkait bidang falak, fikih, hadis ataupun yang lainnya. Kitab falak karangan K.H. Ahmad Ghozali diantaranya ialah *Faidl al-Karîm ar-Rau*, *Az-Zaij al-Muyassar*, *Bughyat al-Rofi'q*, *Anfa' al-Washilah*, *al-Durru al-Anîq*, *Maslak al-Qashîd*, *Irsyad al-Murîd*, dan *Jami' al-Adillah*.

D. Metode Perhitungan Gerhana Matahari Global K.H. Ahmad Ghozali (*al-Durru al-Anîq*)

Metode perhitungan kitab *al-Durru al-Anîq* menggunakan elemen *bessel* sebagai input sumber data yang akan diolah. Didalam kitab, sudah tersedia tabel elemen *bessel* hasil olahan dari K.H. Ahmad Ghozali, sehingga dari data tersebut tinggal dimasukkan kedalam rumus perhitungan.

Data – data yang dibutuhkan, meliputi:

- A0 (koordinat bujur bayangan Bulan)
- B0 (koordinat lintang bayangan Bulan)
- A1 (perata gerak bujur bayangan Bulan)
- B1 (perata gerak lintang bayangan Bulan)
- d0 (deklinasi bayangan Bulan)

¹⁰⁰ Lukman, “Studi Analisis Rashdul Kiblat Bulan dalam Kitab *Jami'u al-Adillah* karya KH. Ahmad Ghozali”, (Skripsi, UIN Walisongo, Semarang, 2016), 45. Lihat juga Sukarni, “Metode Hisab Gerhana”, 46.

- d1 (perata gerak deklinasi bayangan Bulan)
- W0 (sudut waktu bayangan Bulan)
- W1 (perata gerak sudut waktu bayangan Bulan)
- R0 (semidiameter penumbra Bulan)
- R1 (perata gerak semidiameter penumbra Bulan)
- S0 (semidiameter umbra Bulan)
- S1 (perata gerak semidiameter umbra Bulan)
- Z0 (sudut penumbra Bulan)
- Z1 (sudut umbra Bulan)
- a (jari-jari equator Bumi)¹⁰¹
- b (jari-jari kutub Bumi)¹⁰²
- c (besaran speroid Bumi / *eclipticity*)¹⁰³

Berikut algoritma yang digunakan dalam kitab *al-Durru al-Anîq* untuk perhitungan gerhana Matahari global:

1. Rumus pendekatan delta T (ΔT)¹⁰⁴

D = tanggal *milady*

M = bulan *milady*

¹⁰¹ Kaidah (a) merupakan semi mayor *axis ellipsoid (radius equator)*. Lihat KH. Ahmad Ghozali, *Jami''u al-Adillah ila Ma''riti Simt al - Qiblah*, (Sampang: LAFAL (Lajnah Falakiyan Lanbulan), 2017), 113.

¹⁰² Kaidah (b) merupakan semi minor *axis ellipsoid (radius pole)*. Lihat KH. Ahmad Ghozali, *Jami''u al-Adillah ila Ma''riti Simt al-Qiblah*, (Sampang: LAFAL (Lajnah Falakiyan Lanbulan), 2017), 113

¹⁰³ Kaidah (c) merupakan besaran speroid Bumi berdasarkan WGS-84. Lihat International Civil Aviation Organization (ICAO), *World Geodetic System - 1984 (WGS-84) Manual*, (pdf e-book, 2nd edition, 2002, chapter 3), 1.

¹⁰⁴ Ghozali, *al-Durru al-Anîq*, 8-10.

Y = tahun *milady*

Tarikh Milady (TM)

$$TM = Y + (M - 1) / 12 + D / 365$$

Jika $TM \leq -500$, maka

$$T = TM / 100 - 18.2$$

$$\Delta T = -20 + 32 \times T^2$$

Jika $-500 < TM < 500$, maka

$$T = TM / 100$$

$$\Delta T = 10583.6 - 1014.41 \times T + 33.78311 \times T^2 - 5.952053 \times T^3 - 0.1798452 \times T^4 + 0.022174192 \times T^5 + 0.0090316521 \times T^6$$

Jika $500 < TM < 1600$, maka

$$T = TM / 100 - 10$$

$$\Delta T = 1574.2 - 556.01 \times T + 71.23472 \times T^2 + 0.319781 \times T^3 - 0.8503463 \times T^4 - 0.005050998 \times T^5 + 0.0083572073 \times T^6$$

Jika $1600 < TM < 1700$, maka

$$T = TM - 1600$$

$$\Delta T = 120 - 0.9808 \times T - 0.01532 \times T^2 + T^3 / 7129$$

Jika $1700 < TM < 1800$, maka

$$T = TM - 1700$$

$$\Delta T = 8.83 + 0.1603 \times T - 0.0059285 \times T^2 + 0.00013336 \times T^3 - T^4 / 1174000$$

Jika $1800 < TM < 1860$, maka

$$T = TM - 1800$$

$$\Delta T = 13.72 - 0.332447 \times T + 0.0068612 \times T^2 + 0.0041116 \times T^3 - 0.00037436 \times T^4 + 0.0000121272 \times T^5 - 0.0000001699 \times T^6 + 0.000000000875 \times T^7$$

Jika $1860 < TM < 1900$, maka

$$T = TM - 1860$$

$$\Delta T = 7.62 + 0.5737 T - 0.251754 \times T^2 + 0.01680668 \times T^3 - 0.0004473624 \times T^4 + T^5 / 233174$$

Jika $1900 < TM < 1920$, maka

$$T = TM - 1900$$

$$\Delta T = -2.79 + 1.494119 \times T - 0.0598939 \times T^2 + 0.0061966 \times T^3 - 0.000197 \times T^4$$

Jika $1920 < TM < 1941$, maka

$$T = TM - 1920$$

$$\Delta T = 21.2 + 0.84493 \times T - 0.0761 \times T^2 + 0.0020936 \times T^3$$

Jika $1941 < TM < 1961$, maka

$$T = TM - 1950$$

$$\Delta T = 29.07 + 0.407 \times T - T^2 / 233 + T^3 / 2547$$

Jika $1950 < TM < 1986$, maka

$$T = TM - 1975$$

$$\Delta T = 45.45 + 1.067 \times T - T^2 / 260 - T^3 / 718$$

Jika $1986 < TM < 2005$, maka

$$T = TM - 2000$$

$$\Delta T = 63.86 + 0.3345 \times T - 0.060374 \times T^2 + 0.0017275 \times T^3 + 0.000651814 \times T^4 + 0.00002373599 \times T^5$$

Jika $2005 < TM < 2050$, maka

$$T = TM - 2000$$

$$\Delta T = 62.92 + 0.32217 \times T + 0.005589 \times T^2$$

Jika $2050 < TM < 2150$, maka

$$T = (TM - 1820) / 100$$

$$\Delta T = -20 + 32 \times T^2 - 0.5628 (2150 - TM)$$

Jika $TM > 2150$, maka

$$T = (TM - 1820) / 100$$

$$\Delta T = -20 + 32 \times T^2$$

2. Perhitungan tengah gerhana

a) Menghitung waktu terjadinya puncak gerhana

$$M = al\text{-}mahfūz\ al\text{-}awal$$

$$M = \tan^{-1}(A0 / B0)$$

Jika $B0$ negatif (-), maka hasil ditambah 180,

jika $B0$ positif (+) dan $A0$ negatif(-), maka hasil ditambah 360.

$$m = bu' du al-zil$$

$$m = (A0^2 + B0^2)^{0.5}$$

$$N = al-mahfūz al-šānī$$

$$N = \tan^{-1} (A1 / B1)$$

Jika $B1 < 0$, maka hasil ditambah 180,

Jika $B1 > 0$ dan $A1 < 0$, maka hasil ditambah 360,

jika tidak, maka N.

$$n = sabaq al-zil$$

$$n = (A12 + B12)0.5$$

$$tm = ta'dīl sāl'ah wasat al-kusūf$$

$$tm = -(m \times \cos (M - N)) / n$$

$$SWK = sāl'ah wasat al-kusūf bi al-sāl'ah al'ālamiyah$$

$$SWK = TD + tm - \Delta T$$

$$R = nişfu qaṭr syibhi al-zil$$

$$R = R0 + R1 tm$$

$$S = nişfu qaṭr al-zil$$

$$S = S0 + S1 tm$$

b) Menentukan tipe dan jenis gerhana

- i. Jika $m < 0.9972$, maka terjadi gerhana sentral, dan;
 - Jika $S < 0$, atau bernilai negative, maka sentral total,
 - Jika $0 < S < 0.0047$, maka sentral-hybrid,
 - Jika $S > 0.0047$, maka sentral-cincin.
- ii. Jika $m > 0.9972$ dan lebih kecil dari jumlah 0.9972 dan S, maka terjadi gerhana non sentral, dan;
 - Jika $S < 0$ atau bernilai negative, maka non sentral-total,

- Jika $S > 0$ atau bernilai positif, maka non sentral-cincin,
 - Jika $0.9972 < m < 1.5433$ dan S , maka parsial.
- iii. Jika $m > (1.5433 + S)$, maka tidak terjadi gerhana.
- c) Menghitung posisi koordinat tempat saat tengah gerhana global

$$a = 6378137$$

$$b = 6356752$$

$$c = 0.0066944782$$

$$A = t\tilde{u}l\ al\text{-}z\tilde{i}l$$

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

$$B = 'ar\dot{d}\ al\text{-}z\tilde{i}l$$

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

$$d = mail\ al\text{-}z\tilde{i}l$$

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

$$W = z\tilde{a}wiyah\ waqt\ al\text{-}z\tilde{i}l$$

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

$$\rho_0 = al\text{-}bu'\ du\ al\text{-}awwal$$

$$\rho_0 = 1 - c \times \cos(d)^{0.5}$$

$$d_1 = mail\ al\text{-}z\tilde{i}l\ al\text{-}awwal$$

$$d_1 = \tan^{-1}(\sin(d) / (\cos d (b/a)))$$

$$\rho_1 = al\text{-}bu'\ du\ al\text{-}\dot{s}\tilde{a}n\tilde{i}$$

$$\rho_1 = ((\sin d (b/a))^2 + (\cos d)^2)^{0.5}$$

$$d_2 = mail\ al\text{-}z\tilde{i}l\ al\text{-}\dot{s}\tilde{a}n\tilde{i}$$

$$d_2 = \tan^{-1}((b/a) \sin d / \cos d)$$

$$y_1 = 'ar\dot{d}\ al\text{-}z\tilde{i}l\ al\text{-}mar'\tilde{i}\ al\text{-}awwal$$

$$y_1 = B / \rho_0$$

i. Gerhana sentral

$$z = al\text{-}mahf\tilde{u}z\ al\text{-}\dot{s}\tilde{a}l\tilde{i}s$$

$$z = (1 - A^2 - y_1^2)^{0.5}$$

$$\phi_1 = ta'\ d\tilde{i}l\ 'ar\dot{d}\ al\text{-}balad$$

$$\phi_1 = \sin^{-1}(y_1 \times \cos d_1 + z \times \sin d_1)$$

$$\phi = \tan^{-1}((a / b) \times \tan \phi_1)$$

$$x_2 = -y_1 \sin d_1 + z \cos d_1$$

$$\theta = \tan^{-1}(A / x_2)$$

Jika x_2 negatif, maka hasil $\theta + 180$,

jika x_2 positif dan A negatif, maka $\theta + 360$,

jika tidak maka $\theta = \theta$.

$$\lambda = \theta - W + 0.004178 \Delta T$$

Jika nilai λ lebih besar dari 180 , maka $\lambda - 360$,

jika λ lebih kecil dari -180 , maka $\lambda + 360$,

jika tidak maka $\lambda = \lambda$.

ii. Gerhana non sentral

$$m_1 = (A^2 + y_1^2)^{0.5}$$

$$x_1 = A / m_1$$

$$y_2 = y_1 / m_1$$

$$\phi_1 = \sin^{-1}(y_2 \cos d_1)$$

$$\phi = \tan^{-1}((a / b) \tan \phi_1)$$

$$x_2 = -y_2 \sin d_1$$

$$\theta = \tan^{-1}(x_1 / x_2)$$

Jika x_2 negatif, maka hasil $\theta + 180$,

jika x_2 positif dan A negatif, maka $\theta + 360$,

jika tidak maka $\theta = \theta$.

$$\lambda = \theta - W + 0.004178 \Delta T$$

Jika nilai λ lebih besar dari 180 , maka $\lambda - 360$,

jika λ lebih kecil dari -180 , maka $\lambda + 360$,

jika tidak maka $\lambda = \lambda$.

- d) Menghitung tinggi(h) dan azimuth(A_z) saat puncak gerhana

$$h = \sin^{-1}(\sin \phi \sin d + \cos \phi \cos d \cos \theta)$$

$$x = \sin d \cos \phi - \cos d \sin \phi \cos \theta$$

$$y = -\cos d \sin \theta$$

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

Jika x negatif, maka $Az + 180 = Az$,

jika x positif dan y negatif, maka $Az + 360 = Az$,

jika tidak maka $Az = Az$.

e) Menghitung lama total / cincin

$$\zeta = \rho_1 (z \cos (d_1 - d_2) - y_1 \sin (d_1 - d_2))$$

$$\xi' = (w_1 \pi / 180) \times (-B \sin d + \zeta \cos d)$$

$$\eta' = (w_1 A \sin d - d_1 \zeta) \pi / 180$$

$$n_1 = ((A_1 - \xi')^2 + (B_1 - \eta')^2)^{0.5}$$

$$L_1 = S - \zeta Z_1$$

$$\text{Lama} = \text{abs}(2 L_1) / n_1$$

f) Menghitung lebar (dalam satuan kilometer)

$$a_1 = 6378.137$$

$$k = (z^2 + (A (A_1 - \xi') + B (B_1 - \eta'))^2 / n_1^2)^{0.5}$$

$$\text{Lebar} = (2 \times a_1 \times \text{abs}(L_1)) / k$$

g) Menghitung magnitudo

i. Gerhana sentral

$$L_2 = R - \zeta Z_0$$

$$\text{Mag} = (L_2 - L_1) / (L_2 + L_1)$$

ii. Gerhana non sentral

$$\rho = m / m_1$$

$$\Delta = m - \rho$$

$$\text{Mag} = (R - \Delta) / (2R - 0.5459)$$

3. Perhitungan penumbral

a) Menghitung awal dan akhir penumbral

$$\psi p = \sin^{-1}(m \sin (M - N) / (R + \rho_0))$$

$$tp = ((R + 1) \cos \psi_p) / n$$

$$tmp1 = tm - tp$$

$$tmp2 = tm + tp$$

$$\text{Awal Penumbral UT} = TD + tmp1 - \Delta T$$

$$\text{Akhir Penumbral UT} = TD + tmp2 - \Delta T$$

b) Menghitung koordinat tempat awal penumbral

$$A = A_0 + A_1 \times tmp1$$

$$B = B_0 + B_1 \times tmp1$$

$$d = d_0 + d_1 \times tmp1$$

$$W = W_0 + W_1 \times tmp1$$

$$d_1 = \tan^{-1}(\sin d / ((b / a) \cos(d)))$$

$$\rho_1 = ((\sin d)^2 + ((b / a) \cos d)^2)^{0.5}$$

$$y_1 = B / \rho_1$$

$$m_1 = (A^2 + y_1^2)^{0.5}$$

$$x_1 = A / m_1$$

$$y_2 = y_1 / m_1$$

$$\phi_1 = \sin^{-1}(y_2 \times \cos d_1)$$

$$\phi = \tan^{-1}((a / b) \times \tan(\phi_1))$$

$$x_2 = -y_2 \times \sin(d_1)$$

$$\theta = \tan^{-1}(x_1 / x_2)$$

Jika x_2 negatif, maka hasil $\theta + 180$,

jika x_2 positif dan x_1 negatif, maka $\theta + 360$,

jika tidak maka $\theta = \theta$.

$$\lambda = \theta - W + 0.004178 \Delta T$$

Jika nilai λ lebih besar dari 180, maka $\lambda - 360$,

jika λ lebih kecil dari -180, maka $\lambda + 360$,

jika tidak maka $\lambda = \lambda$

c) Menghitung koordinat tempat akhir penumbral

$$A = A_0 + A_1 \times tmp2$$

$$B = B_0 + B_1 \times tmp2$$

$$d = d_0 + d_1 \text{ tmp1}$$

$$W = W_0 + W_1 \text{ tmp2}$$

$$d_1 = \tan^{-1}(\sin d / ((b / a) \cos d))$$

$$\rho_1 = ((\sin d)^2 + ((b / a) \cos d)^2)^{0.5}$$

$$y_1 = B / \rho_1$$

$$m_1 = (A^2 + y_1^2)^{0.5}$$

$$x_1 = A / m_1$$

$$y_2 = y_1 / m_1$$

$$\phi_1 = \sin^{-1}(y_2 \cos(d_1))$$

$$\phi = \tan^{-1}((a / b) \tan \phi_1)$$

$$x_2 = -y_2 \times \sin(d_1)$$

$$\theta = \tan^{-1}(x_1 / x_2)$$

Jika x_2 negatif, maka hasil $\theta + 180$,

jika x_2 positif dan x_1 negatif, maka $\theta + 360$,

jika tidak maka $\theta = \theta$

$$\lambda = \theta - W + 0.004178 \Delta T$$

Jika nilai λ lebih besar dari 180, maka $\lambda - 360$,

jika λ lebih kecil dari -180, maka $\lambda + 360$,

jika tidak maka $\lambda = \lambda$

4. Perhitungan Awal dan Akhir Umbra¹⁰⁵

a) Menentukan saat awal dan akhir Umbra

$$\psi u = \sin^{-1}(m \times \sin(M - N) / (S_0 - \rho_0))$$

(jika S_0 bernilai negatif)

$$\psi u = \sin^{-1}(m \times \sin(M - N) / (S_0 + \rho_0))$$

(jika S_0 bernilai positif)

$$t_u = \cos \psi u / n$$

$$tmu_1 = tm - t_u$$

$$tmu_2 = tm + t_u$$

¹⁰⁵ Ghazali, *al-Durru al-Anîq*, 59-62.

$$tmu3 = tu - tu (S0 + 1.0025)$$

$$\text{Awal Umbral UT} = TD + tmu1 - \Delta T + tmu3$$

$$\text{Akhir Umbral UT} = TD + tmu2 - \Delta T - tmu3$$

Jika jenis gerhana sentral-hybrid, maka tidak ketentuan

+/- tmu3 (tmu3 tidak digunakan).

b) Menghitung koordinat lokasi saat awal Umbra

$$A = A0 + A1 \times tmu1$$

$$B = B0 + B1 \times tmu1$$

$$d = d0 + d1 \times tmu1$$

$$W = W0 + W1 \times tmu1$$

$$d_1 = \tan^{-1}(\sin d / ((b / a) \cos d))$$

$$\rho_1 = ((\sin d)^2 + ((b / a) \cos d)^2)^{0.5}$$

$$y_1 = B / \rho_1$$

$$m_1 = (A^2 + y_1^2)^{0.5}$$

$$x_1 = A / m_1$$

$$y_2 = y_1 / m_1$$

$$\phi_1 = \sin^{-1}(y_2 \times \cos d_1)$$

$$\phi = \tan^{-1}((a / b) \times \tan \phi_1)$$

$$x_2 = -y_2 \times \sin(d_1)$$

$$\theta = \tan^{-1}(x_1 / x_2)$$

Jika x_2 negatif, maka hasil $\theta + 180$,

jika x_2 positif dan x_1 negatif, maka $\theta + 360$,

jika tidak maka $\theta = \theta$

$$\lambda = \theta - W + 0.004178 \times \Delta T$$

Jika nilai λ lebih besar dari 180, maka $\lambda - 360$,

jika λ lebih kecil dari -180, maka $\lambda + 360$,

jika tidak maka $\lambda = \lambda$

c) Menghitung koordinat tempat akhir umbra

$$A = A0 + A1 \times tmu2$$

$$B = B0 + B1 \times tmu2$$

$$d = d_0 + d_1 \times \text{tmu}_2$$

$$W = W_0 + W_1 \times \text{tmu}_2$$

$$d_1 = \tan^{-1}(\sin d / ((b / a) \cos d))$$

$$\rho_1 = ((\sin d)^2 + ((b / a) \cos d)^2)^{0.5}$$

$$y_1 = B / \rho_1$$

$$m_1 = (A^2 + y_1^2)^{0.5}$$

$$x_1 = A / m_1$$

$$y_2 = y_1 / m_1$$

$$\phi_1 = \sin^{-1}(y_2 \times \cos d_1)$$

$$\phi = \tan^{-1}((a / b) \tan \phi_1)$$

$$x_2 = -y_2 \times \sin(d_1)$$

$$\theta = \tan^{-1}(x_1 / x_2)$$

Jika $x_2 < 0$ atau bernilai negatif, maka hasil $\theta + 180$,

jika $x_2 > 0$ atau bernilai positif dan $x_1 < 0$, maka $\theta + 360$,

jika tidak maka $\theta = \theta$

$$\lambda = \theta - W + 0.004178 \times \Delta T$$

Jika nilai $\lambda > 180$, maka $\lambda - 360$,

jika $\lambda < -180$, maka $\lambda + 360$,

jika tidak maka $\lambda = \lambda$

5. Perhitungan Awal dan akhir sentral

a) Menghitung saat awal dan akhir sentral

$$\psi_s = \sin^{-1}(m \times \sin (M - N))$$

$$t_s = \cos \psi_s / n$$

$$t_{ms1} = t_m - t_s$$

$$t_{ms2} = t_m + t_s$$

$$t_{ms3} = t_s - \cos (\sin^{-1}(\sin \psi_s / (S_0 + \rho_0))) / n$$

$$\text{Awal Sentral UT} = TD + t_{ms1} - \Delta T + t_{ms3}$$

$$\text{Akhir Sentral UT} = TD + t_{ms2} - \Delta T - t_{ms3}$$

Jika gerhana sentral hybrid, maka tidak +/- t_{ms3} (t_{ms3} tidak digunakan).

b) Menghitung koordinat tempat saat awal sentral

$$A = A_0 + A_1 \times t_{ms1}$$

$$B = B_0 + B_1 \times t_{ms1}$$

$$d = d_0 + d_1 \times t_{ms1}$$

$$W = W_0 + W_1 \times t_{ms1}$$

$$d_1 = \tan^{-1}(\sin d / ((b / a) \cos d))$$

$$\rho_1 = ((\sin d)^2 + ((b / a) \cos d)^2)^{0.5}$$

$$y_1 = B / \rho_1$$

$$m_1 = (A^2 + y_1^2)^{0.5}$$

$$x_1 = A / m_1$$

$$y_2 = y_1 / m_1$$

$$\phi_1 = \sin^{-1}(y_2 \cos d_1)$$

$$\phi = \tan^{-1}((a / b) \tan \phi_1)$$

$$x_2 = -y_2 \times \sin(d_1)$$

$$\theta = \tan^{-1}(x_1 / x_2)$$

Jika x_2 negatif, maka hasil $\theta + 180$,

jika x_2 positif dan x_1 negatif, maka $\theta + 360$,

jika tidak maka $\theta = \theta$

$$\lambda = \theta - W + 0.004178 \times \Delta T$$

Jika nilai λ lebih besar dari 180, maka $\lambda - 360$,

jika λ lebih kecil dari -180, maka $\lambda + 360$,

jika tidak maka $\lambda = \lambda$

c) Menghitung koordinat saat akhir sentral

$$A = A_0 + A_1 \times t_{ms2}$$

$$B = B_0 + B_1 \times t_{ms2}$$

$$d = d_0 + d_1 \times t_{ms2}$$

$$W = W_0 + W_1 \times t_{ms2}$$

$$d_1 = \tan^{-1}(\sin d / ((b / a) \cos d))$$

$$\rho_1 = ((\sin d)^2 + ((b / a) \cos d)^2)^{0.5}$$

$$y_1 = B / \rho_1$$

$$m_1 = (A^2 + y_1^2)^{0.5}$$

$$x_1 = A / m_1$$

$$y_2 = y_1 / m_1$$

$$\phi_1 = \sin^{-1}(y_2 \cos d_1)$$

$$\phi = \tan^{-1}((a / b) \tan \phi_1)$$

$$x_2 = -y_2(\sin d_1)$$

$$\theta = \tan^{-1}(x_1 / x_2)$$

Jika $x_2 < 0$, maka hasil $\theta + 180$,

jika x_2 positif dan x_1 negatif, maka $\theta + 360$,

jika tidak maka $\theta = \theta$

$$\lambda = \theta - W + 0.004178 \times \Delta T$$

Jika nilai λ lebih besar dari 180, maka $\lambda - 360$,

jika λ lebih kecil dari -180, maka $\lambda + 360$,

jika tidak maka $\lambda = \lambda$

6. Perhitungan jalur lintas gerhana sentral¹⁰⁶

a) Menghitung koordinat jalur titik pusat gerhana sentral

Jam Rentang Sentral (JRS) merupakan jam dalam interval antara awal hingga akhir sentral. Nilai jam ini dapat diisi secara bebas asal dalam interval sentral.

$$tmts = JRS + \Delta T - TD$$

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

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

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

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

$$R = R_0 + R_1 \times tmts$$

$$S = S_0 + S_1 \times tmts$$

$$\rho_1 = (1 - c \times \cos(d)^2)^{0.5}$$

$$y_1 = B / \rho_1$$

¹⁰⁶ Ghazali, al-Durru al-Anîq ..., 64-67.

$$m_1 = (1 - A^2 - y_1^2)^{0.5}$$

$$ds_1 = \sin d / \rho_1$$

$$dc_1 = (1 - c)^{0.5} \times \cos(d) / \rho_1$$

$$\phi_1 = \sin^{-1}(y_1 dc_1 + m_1 ds_1)$$

$$\phi = \tan^{-1}((a / b) \tan \phi_1)$$

$$x_1 = -y_1 \times ds_1 + m_1 + dc_1$$

$$\theta = \tan^{-1}(A / x_1)$$

Jika $x_2 < 0$ atau x_2 negatif, maka hasil $\theta + 180$,

jika $x_2 > 0$ atau x_2 positif dan x_1 negatif, maka $\theta + 360$,

jika tidak maka $\theta = \theta$.

$$\lambda = \theta - W + 0.004178 \Delta T$$

Jika nilai λ lebih besar dari 180, maka $\lambda - 360$,

jika λ lebih kecil dari -180, maka $\lambda + 360$,

jika tidak maka $\lambda = \lambda$

- b) Menghitung tinggi(h) dan azimuth (Az) pada jalur titik pusat gerhana sentral

$$t = \theta$$

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

$$x = \sin d \cos \phi - \cos d \sin \phi \cos t$$

$$y = -\cos d \sin t$$

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

Jika x negatif, maka $Az = Az, + 180$,

jika x positif dan y negatif, maka $Az = Az + 360$,

jika tidak maka $Az = Az$

- c) Menghitung lama, lebar, magnitudo jalur titik pusat gerhana sentral

$$\rho_2 = \sqrt{(1 - c (\sin d)^2)}$$

$$ds_2 = (c \times \sin(d) \times \cos(d)) / (\rho_1 \times \rho_2)$$

$$dc_2 = \sqrt{(1 - c)} / (\rho_1 \times \rho_2)$$

$$\zeta = \rho_2 (m_1 dc_2 - y_1 ds_2)$$

$$\mu = W1 \times \pi / 180$$

$$\xi' = (-B \sin(d) + \zeta \cos(d)) \mu$$

$$\eta' = (W1 \times A \times \sin(d) - d_1 \times \zeta) \pi / 180$$

$$L_1 = R - \zeta Z0$$

$$L_2 = S - \zeta Z1$$

$$ns = A1 - \xi'$$

$$nc = B1 - \eta'$$

$$n' = \sqrt{(ns^2 + nc^2)}$$

$$Lama = 2 (\text{abs } L_2 / n')$$

$$k = (m_1^2 + (A \times ns + B \times nc)^2 n'^2)^{0.5}$$

$$\text{Lebar} = (12756 \times \text{abs}(L_2)) / k$$

$$\text{Mag} = (L_1 - L_2) / (L_2 + L_1)$$

d) Menghitung koordinat batas sentral

$$a' = -B1 + \mu \times A \times \sin(d)$$

$$b' = A1 + \mu \times B \times \sin(d) + \mu \times L_2 \times Z1 \times \cos(d)$$

$$Q = \tan^{-1}(a' / b')$$

Jika nilai b' negatif, maka $b' + 180 = Q$,

jika b' positif dan a' negatif, maka $b' + 360 = Q$,

jika tidak maka $Q = Q$.

$$\xi = A - L_2 \times \sin(Q)$$

i. Batas utara

Jika L_2 negatif, maka

$$\eta = (B - L_2 \times \cos(Q)) / \rho_1$$

jika L_2 positif, maka

$$\eta = (B - L_2 (-\cos(Q))) / \rho_1$$

$$\zeta_1 = (1 - \xi^2 - \eta^2)^{0.5}$$

$$\zeta = -\eta \times ds_1 + \zeta_1 \times dc_1$$

$$\phi_1 = \sin^{-1}(\eta \times dc_1 + \zeta_1 \times ds_1)$$

$$\phi = \tan^{-1}((a / b) \tan \phi_1)$$

$$\theta = \tan^{-1}(\xi / \zeta)$$

Jika nilai ζ negatif, maka $\theta + 180 = \theta$,

jika ζ positif dan ξ negatif, maka $\theta + 360 = \theta$,

jika tidak maka $\theta = \theta$

$$\lambda = \theta - W + 0.004178 \times \Delta T$$

Jika nilai λ lebih besar dari 180, maka $\lambda - 360$,

jika λ lebih kecil dari -180, maka $\lambda + 360$,

jika tidak maka $\lambda = \lambda$

ii. Batas selatan

jika L_2 negatif, maka

$$\eta = (B - L_2 (-\cos Q)) / \rho_1$$

jika L_2 positif, maka

$$\eta = (B - L_2 \times \cos(Q)) / \rho_1$$

$$\zeta_1 = (1 - \xi^2 - \eta^2)^{0.5}$$

$$\zeta = -\eta \times ds_1 + \zeta_1 \times dc_1$$

$$\phi_1 = \sin^{-1}(\eta \times dc_1 + \zeta_1 \times ds_1)$$

$$\phi = \tan^{-1}((a / b) \times \tan(\phi_1))$$

$$\theta = \tan^{-1}(\xi / \zeta)$$

Jika nilai ζ negatif, maka $\theta + 180 = \theta$,

jika ζ positif dan ξ negatif, maka $\theta + 360 = \theta$,

jika tidak maka $\theta = \theta$

$$\lambda = \theta - W + 0.004178 \times \Delta T$$

Jika nilai λ lebih besar dari 180, maka $\lambda - 360$,

jika λ lebih kecil dari -180, maka $\lambda + 360$,

jika tidak maka $\lambda = \lambda$.

e) Menghitung koordinat batas penumbra

$$a' = -B1 + \mu \times A \times \sin(d)$$

$$b' = A1 + \mu \times B \times \sin(d) + \mu \times L_1 \times Z0 \times \cos(d)$$

$$Q = \tan^{-1}(a' / b')$$

Jika nilai b' negatif, maka $b' + 180 = Q$,

jika b' positif dan a' negatif, maka $b' + 360 = Q$,

jika tidak maka $Q = Q$

$$\xi = A - L_1 \times \sin(Q)$$

i. Batas utara

$$\eta = B - L_1 - \cos(Q)$$

$$\zeta_1 = (1 - \xi^2 - \eta^2)^{0.5}$$

$$\zeta = -\eta \times ds_1 + \zeta_1 \times dc_1$$

$$\phi_1 = \sin^{-1}(\eta \times dc_1 + \zeta_1 \times ds_1)$$

$$\phi = \tan^{-1}((a / b) \tan(\phi_1))$$

$$\theta = \tan^{-1}(\xi / \zeta)$$

Jika nilai ζ negatif, maka $\theta + 180 = \theta$,

jika ζ positif dan ξ negatif, maka $\theta + 360 = \theta$,

jika tidak maka $\theta = \theta$

$$\lambda = \theta - W + 0.004178 \times \Delta T$$

Jika nilai λ lebih besar dari 180, maka $\lambda - 360$,

jika λ lebih kecil dari -180, maka $\lambda + 360$,

jika tidak maka $\lambda = \lambda$

ii. Batas selatan

$$\eta = B - L_1 \times \cos(Q)$$

$$\zeta_1 = (1 - \xi^2 - \eta^2)^{0.5}$$

$$\zeta = -\eta \times ds_1 + \zeta_1 \times dc_1$$

$$\phi_1 = \sin^{-1}(\eta \times dc_1 + \zeta_1 \times ds_1)$$

$$\phi = \tan^{-1}((a / b) \times \tan(\phi_1))$$

$$\theta = \tan^{-1}(\xi / \zeta)$$

Jika nilai ζ negatif, maka $\theta + 180 = \theta$,

jika ζ positif dan ξ negatif, maka $\theta + 360 = \theta$,

jika tidak maka $\theta = \theta$

$$\lambda = \theta - W + 0.004178 \times \Delta T$$

Jika nilai λ lebih besar dari 180, maka $\lambda - 360$,

jika λ lebih kecil dari -180, maka $\lambda + 360$,

jika tidak maka $\lambda = \lambda$

E. Data Hasil Perhitungan Gerhana Matahari Global Menggunakan Metode Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali.

Data gerhana Matahari global yang diperoleh dari hasil perhitungan menggunakan metode Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali akan ditampilkan ke dalam sebuah tabel, namun tidak semua kontak, melainkan hanya kontak – kontak penting yang dapat dibandingkan dengan NASA. Berikut ini contoh hasil perhitungan gerhana Matahari global menggunakan metode perhitungan Muhammad Wasil, metode K.H. Ahmad Ghozali dan hasil dari NASA.

1. Fenomena gerhana Matahari total sentral 4 Desember 2021
 - a. Hasil perhitungan menggunakan metode Muhammad Wasil (*tracking* gerhana Matahari)

OA = 0,952945, (OA < 1, maka gerhana sentral)

Ab = -1,88989055 (Ab < 0, maka gerhana biasa atau bukan gerhana cincin)

OU2 = 0,9618620, (OU2 < 1, maka gerhana total)

Kontak	Waktu (UT)	Lintang	Bujur
P1 (awal penumbra)	05:29:30.55	23° 04' 28.19'' S	5° 11' 56.64'' B

U1 (awal umbra)	06:59:37.91	51° 21' 07.58'' S	48° 41' 39,60'' B
GE (puncak gerhana)	07:33:41,95	76° 53' 51.65'' S	44° 13' 03,45'' B
U4 (akhir umbra)	08:07:46.58	66° 40' 40.06'' S	140° 04' 30.92'' B
P4 (akhir penumbra)	09:37:53.64	46° 03' 44.32'' S	148° 42' 26.26'' T
Durasi (<i>greatest eclipse</i>)	00:01:59,54	-	-
Magnitudo	1.0168328	-	-

Tabel 3. 1

- b. Hasil perhitungan menggunakan metode K.H. Ahmad Ghozali (*al-Durru al-Anîq*)

$m = 0,983894823$, ($m < 0.9972$, maka gerhana sentral)

$S = -0,00825$, ($S < 0$, maka gerhana total)

Kontak	Waktu (UT)	Lintang	Bujur
P1 (awal penumbra)	05:29:23.78	23° 23' 37.62'' S	5° 00' 27.35'' B
U1 (awal umbra)	07:00:35.99	52° 09' 56.85'' S	49° 25' 35.63'' B
GE (puncak gerhana)	07:33:26.56	76° 46' 58.07'' S	46° 22' 51.17'' B
U4 (akhir umbra)	08:06:17,12	67° 05' 47.45'' S	138° 11' 44.72'' B
P4 (akhir penumbra)	09:37:29.34	46° 23' 50.11'' S	148° 39' 57.62'' T
Durasi (<i>greatest eclipse</i>)	00:01:53.9	-	-
Magnitudo	1,03657152	-	-

Tabel 3. 2

c. hasil perhitungan NASA¹⁰⁷

Kontak	Waktu (UT)	Lintang	Bujur
P1 (awal penumbra)	05:29:11.3	-	-
U1 (awal umbra)	07:00:01.0	-	-
U2 (Awal sentral)	07:05:48.9	-	-
GE (puncak gerhana)	07:33:22.5	76° 46' 42'' S	46° 11' 54'' B
U3 (akhir sentral)	08:00:40.9	-	-
U4 akhir umbra	08:06:29.2	-	-
P4 (akhir penumbra)	09:37:23.9	-	--
Durasi (greatest eclipse)	00:01:54.4	--	--
Magnitudo	1.0367	-	

Tabel 3. 3

2. Fenomena gerhana Matahari parsial 25 Oktober 2022

a. Hasil perhitungan menggunakan metode Muhammad Wasil (*tracking* gerhana Matahari)

OA = 1,071506, (OA > 1, maka gerhana non-sentral)

OU1 = 1.0684, (OU1 > 1, maka gerhana parsial)

Kontak	Waktu (UT)	Lintang	Bujur
P1 (awal penumbra)	08:57:56,91	66° 27' 13.9'' U	19° 39' 12.24'' B

¹⁰⁷ F. Espenak, NASA's GSFC, "Total Solar Eclipse of 2021 Dec 04", diakses pada 6 Juni 2024, pukul 01:42 wib, <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEplot/SEplot2001/SE2021Dec04T.GIF>.

GE (puncak gerhana)	10:59:56,17	61° 41' 27,07'' U	77° 25' 27,12'' T
P4 (akhir penumbra)	13:02:01,9	17° 33' 38.91'' U	66° 51' 57.38'' T
Durasi (greatest eclipse)	- (Matahari telah tenggelam)	-	-
Magnitudo	0,875083635	-	-

Tabel 3. 4

- b. Hasil perhitungan menggunakan metode K.H. Ahmad Ghozali (*al-Durru al-Anîq*)

$$m = 1,070244862$$

$S = 0,003767379$, ($0.9972 < m$, $m < S + 0.9972$, dan $m < 1.5433$, maka gerhana non-sentral parsial)

Kontak	Waktu (UT)	Lintang	Bujur
P1 (awal penumbra)	08:58:05.97	66° 25' 48.54'' U	18° 56' 32.56'' B
GE (puncak gerhana)	11:00:5.43	61° 46' 43.78'' U	77° 17' 38.4'' T
P4 (akhir penumbra)	13:02:04.89	17° 36' 25.04'' U	66° 33' 29.08'' T
Durasi (greatest eclipse)	- (Matahari telah tenggelam)	-	-
Magnitudo	0.861237427	-	-

Tabel 3. 5

c. Hasil perhitungan NASA¹⁰⁸

Kontak	Waktu (UT)	Lintang	Bujur
P1 (awal penumbra)	08:58:10.3	-	-
GE (puncak gerhana)	11:00:00.4	-	-
P4 (akhir penumbra)	13:02:07.7	-	-
Durasi (greatest eclipse)	-- (Matahari telah tenggelam)	-	-
Magnitudo	0,8611	-	-

Tabel 3. 6

3. Fenomena gerhana Matahari *hybrid* 20 april 2023a. Hasil perhitungan menggunakan metode Muhammad Wasil (*tracking* gerhana Matahari)

OA = 0,3960514, (OA < 1, maka gerhana sentral)

Ab = 0,0163050, (0 < Ab < 1, maka gerhana campuran)

OU2 = 0,395975, (OU2 < 1, maka gerhana total)

Kontak	Waktu (UT)	Lintang	Bujur
P1 (awal penumbra)	01:34:19,29	40° 11' 32.09'' S	75° 37' 09.95'' T
U1 (awal umbra)	02:37:00,385	48° 21' 32.33'' S	63° 12' 10.07'' T
U2 (Awal sentral)	02:37:02,52	48° 12' 31.8'' S	63° 57' 22.2'' T
GE (puncak gerhana)	04:16:43,93	09° 34' 36,03'' S	125° 48' 50.22'' T

¹⁰⁸ F. Espenak, NASA's GSFC, "Partial Solar Eclipse of 2022 Oct 25", diakses pada 6 Juni 2024, pukul 01:42 wib <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEplot/SEplot2001/SE2022Oct25P.GIF>.

U3 (akhir sentral)	05:56:23,75	02° 48' 01.17'' U	178° 31' 01.75'' B
U4 akhir umbra	05:56:27,003	02° 54' 58.38'' U	179° 02' 44.07'' B
P4 (akhir penumbra)	06:59:12,724	11° 07' 59.57'' U	167° 29' 56.06'' T
Durasi (greatest eclipse)	00:01:32,34	-	-
Magnitudo	1,00013786	-	-

Tabel 3. 7

- b. Hasil perhitungan metode K.H. Ahmad Ghozali (*al-Durru al-Anīq*).

$m = 0,375459915$, ($m < 0.9972$, maka terjadi gerhana sentral)

$S = 0,000702856$, ($0 < S < 0.0047$, maka gerhana sentral *hybrid*)

Kontak	Waktu (UT)	Lintang	Bujur
P1 (awal penumbra)	01:34:08,13	40° 15' 52.48'' S	76° 02' 47.85'' T
U1 (awal umbra)	02:36:33,71	48° 24' 43.93'' S	63° 40' 01.73'' T
GE (puncak gerhana)	04:16:41,79	09° 35' 46.15'' S	125° 47' 41.2'' T
U4 (akhir umbra)	05:56:49,88	02° 55' 53.53'' U	178° 47' 01.91'' B
P4 (akhir penumbra)	06:59:15,46	11° 17' 39.99'' U	167° 15' 07.85'' T
Durasi (greatest eclipse)	00:01:15,91		
Magnitudo	1,01317126		

Tabel 3. 8

c. Hasil perhitungan gerhana Matahari NASA¹⁰⁹

Kontak	Waktu (UT)	Lintang	Bujur
P1 (awal penumbra)	01:34:15,8	-	-
U1 (awal umbra)	02:36:56,2	-	-
GE (puncak gerhana)	04:16:37,5	09° 35' 24'' S	125° 48' 24'' T
U4 akhir umbra	05:56:35,2	-	-
P4 (akhir penumbra)	06:59:13,5	-	-
Durasi (greatest eclipse)	00:01:16,1	-	-
Magnitudo	1,0132	-	-

Tabel 3. 9

4. Fenomena gerhana Matahari Cincin 14 Oktober 2023

a. Hasil perhitungan metode Muhammad Wasil (*tracking* gerhana Matahari)

OA = 0,37560269, (OA < 1, maka gerhana sentral)

Ab = 3,747850 (Ab > 1, maka gerhana cincin)

Kontak	Waktu (UT)	Lintang	Bujur
P1 (awal penumbra)	15:03:44,54	41° 11' 09.14'' U	132° 32' 07'' B
U1 (awal umbra)	16:10:07,89	48° 41' 09.09'' U	146° 08' 41.84'' B
GE (puncak gerhana)	17:59:30,86	11° 18' 27,53'' U	83° 06' 26,95'' B
U4 akhir umbra	19:48:51,97	06° 03' 45.05'' S	30° 06' 55.51'' B

P4 (akhir penumbra)	20:55:13	13° 40' 28.45'' S	45° 00' 34.69'' B
Durasi (greatest eclipse)	00:05:02,61	-	-
Magnitudo	1,03191039	-	-

Tabel 3. 10

- b. Hasil perhitungan K.H. Ahmad Ghozali (*al-Durru al-Anîq*)

$m = 0,428171511$, ($m < 0.9972$, maka terjadi gerhana sentral)

$S = 0,018089014$, ($S > 0.0047$, maka gerhana sentral-cincin)

Kontak	Waktu (UT)	Lintang	Bujur
P1 (awal penumbra)	15:03:35,92	41° 18' 48.08'' U	132° 06' 47.78'' B
U1 (awal umbra)	16:11:50,73	49° 15' 17.27'' U	146° 48' 21.17'' B
GE (puncak gerhana)	17:59:25,73	11° 22' 22.2'' U	83° 05' 06.21'' B
U4 (akhir umbra)	19:47:00,73	05° 44' 06.67'' S	29° 25' 25.96'' B
P4 (akhir penumbra)	20:55:15,54	13° 48' 45.45'' S	45° 16' 25.35'' B
Durasi (greatest eclipse)	00:05:17,34	-	-
Magnitudo	0,951997	-	-

Tabel 3. 11

- c. Hasil perhitungan NASA¹¹⁰

Kontak	Waktu (UT)	Lintang	Bujur
P1 (awal penumbra)	15:03:38,4	-	-
U1 (awal umbra)	16:09:59,1	-	-
GE (puncak gerhana)	17:59:21	11° 21' 42'' U	83° 04' 18'' B
U4 akhir umbra	19:48:53,5	-	-
P4 (akhir penumbra)	20:55:06,9	-	-
Durasi (greatest eclipse)	00:05:17,2	-	-
Magnitudo	0,9520	-	-

Tabel 3. 12

5. Fenomena gerhana matahari non-sentral cincin tanggal 3 Oktober 2043

- a. Hasil perhitungan metode Muhammad Wasil (*tracking* gerhana Matahari)

OA = 1,0113266, (OA > 1, maka gerhana non-sentral)

Ab = 3,39269591 (Ab > 1, maka gerhana cincin)

Kontak	Waktu (UT)	Lintang	Bujur
P1 (awal penumbra)	00:42:56,09	11° 27' 22,28'' S	75° 30' 53,25'' T
U1 (awal umbra)	02:49:25,56	55° 40' 55,36'' S	39° 42' 44,14'' T
GE (puncak gerhana)	03:00:25,78	60° 59' 52,54'' S	35° 09' 03,33'' T
U4 (akhir umbra)	03:11:19,61	66° 19' 05,35'' S	31° 13' 22,08'' T
P4 (akhir penumbra)	05:17:51,66	68° 41' 08,02'' S	161° 19' 58,61'' B

Durasi (greatest eclipse)	- (Matahari telah tenggelam)	-	-
Magnitudo	1,008106	-	-

Tabel 3. 13

- b. Hasil perhitungan metode K.H. Ahmad Ghozali (*al-Durru al-Anîq*)

$m = 1,010278413$, ($m > 0.9972$, dan $m < S + 0.9972$, maka gerhana non-sentral)

$S = 0,016412986$, ($S > 0$ maka gerhana non-sentral cincin)

Kontak	Waktu (UT)	Lintang	Bujur
P1 (awal penumbra)	00:42:57,32	11° 33' 56'' S	75° 46' 26'' T
U1 (awal umbra)	02:51:35,74	56° 53' 12'' S	38° 25' 26'' T
GE (puncak gerhana)	03:00:19,8	61° 07' 14,27'' S	35° 08' 27,61'' T
U4 (akhir umbra)	03:09:03,86	65° 20' 21'' S	31° 31' 09'' T
P4 (akhir penumbra)	05:17:42,28	68° 53' 45'' S	161° 55' 25'' B
Durasi (greatest eclipse)	- (Matahari telah tenggelam)	-	-
Magnitudo	0,949142	-	-

Tabel 3. 14

- c. Hasil perhitungan NASA¹¹¹

Kontak	Waktu (UT)	Lintang	Bujur
P1 (awal penumbra)	00:42:36	-	-
U1 (awal umbra)	02:50:01,2	-	-
GE (puncak gerhana)	03:00:25,78	60° 57' 42'' S	35° 14' 18'' T
U4 (akhir umbra)	03:09:37,6	-	-
P4 (akhir penumbra)	05:17:18,9	-	-
Durasi (greatest eclipse)	- (Matahari telah tenggelam)	-	-
Magnitudo	0,9434	-	-

Tabel 3. 15

BAB IV

ANALISIS KOMPARASI PERHITUNGAN GERHANA MATAHARI MUHAMMAD WASIL DAN K.H. AHMAD GHOZALI

A. Analisis Metode Perhitungan Gerhana Matahari Global Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali

Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali memiliki metode yang berbeda dalam perhitungan gerhana Matahari global. Berikut ini analisis metode perhitungan Muhammad Wasil (*tracking* gerhana Matahari) dan K.H. Ahmad Ghozali (*al-Durru al-Anîq*) untuk perhitungan gerhana Matahari global meliputi konsep teori, sumber data, kaidah delta T (ΔT), dan pendekaatan dalam metode perhitungan gerhana Matahari.

1. Konsep sistem koordinat langit

Metode perhitungan gerhana Matahari dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu metode perhitungan gerhana Matahari global dan perhitungan gerhana Matahari lokal (*toposentrik*). Untuk perhitungan gerhana Matahari global, metode perhitungan bertujuan untuk menemukan atau menggambarkan sirkulasi bayangan Matahari-Bulan di permukaan Bumi secara keseluruhan. Sedangkan perhitungan gerhana lokal (*toposentrik*), metode perhitungan berfokus untuk menghitung pada satu koordinat lokasi saja.

a) Metode perhitungan gerhana Matahari Muhammad Wasil

Sistem koordinat bola langit yang digunakan pada metode perhitungan Muhammad Wasil (*tracking* gerhana Matahari) adalah sistem koordinat ekliptika geosentrik karena dalam menghitung jalur sumbu bayangan Matahari-Bulan, Bumi dianggap sebagai pusat koordinat (Bulan Matahari seperti mengelilinginya), dan bidang datar yang dipakai dalam perhitungan merupakan bidang ekliptika

Teori bentuk Bumi yang digunakan dalam metode perhitungan gerhana Matahari Muhammad Wasil ialah teori bumi berbentuk bulat karena di dalam metode perhitungannya menggunakan jari-jari rata-rata Bumi, dan tidak terdapat perhitungan besaran *spheroid* Bumi. Itu artinya Bumi dianggap Bulat dan nilai jari-jari Bumi-kutub maupun jari-jari ekuator dianggap sama dengan mengambil rata-rata nya. Data jari-jari rata-rata Bumi yang digunakan mengacu pada laman resmi NASA.

- b) Metode perhitungan gerhana Matahari K.H. Ahmad Ghozali

Sistem koordinat bola langit yang digunakan pada metode perhitungan K.H. Ahmad Ghozali (*al-Durru al-Anîq*) adalah sistem koordinat ekliptika geosentrik karena dalam menghitung jalur bayangan Matahari-Bulan, Bumi dianggap sebagai pusat koordinat (Bulan-Matahari seperti mengelilinginya) dan bidang

ekliptika dijadikan sebagai bidang datar dalam perhitungan.

Teori bentuk Bumi yang digunakan dalam metode perhitungan gerhana Matahari K.H. Ahmad Ghozali ialah bumi berbentuk *ellipsoid*, karena di dalam sistem perhitungannya terdapat kaidah (a), kaidah (b) dan kaidah (c) yang merupakan perhitungan mencari besaran *spheroid* Bumi. Kaidah tersebut bersumber dari *World Geodetic System* - 1984 yang dikenal dengan sebutan WGS-84,¹ dan menjadi acuan bentuk *ellipsoid* Bumi hingga saat ini.

2. Sumber data

a) Metode perhitungan gerhana Matahari Muhammad Wasil

Dalam metode perhitungan Muhammad Wasil (*tracking* gerhana Matahari) data – data yang dibutuhkan untuk dimasukkan ke dalam sistem perhitungan ialah, deklinasi Bulan, deklinasi Matahari, asensio rekta bulan, asensio rekta matahari, jarak bumi matahari dalam satuan jari-jari bumi, jarak bumi bulan dalam satuan jari-jari Bumi, jari-jari Matahari dalam satuan jari-jari Bumi, jari-jari Bulan dalam satuan jari-jari Bumi, perata waktu. Data -data tersebut diambil dari laman NASA

¹ Eddy Prahasta, Sistem Informasi Geografis: Konsep-konsep Dasar Perspektif Geodesi & Geomatika (Bandung: Informatika, 2009), 222.

(*National Aeronautics and Space Administration*) dan dari data ephemeris. Ephemeris yang digunakan oleh Muhammad Wasil sedikit berbeda dengan ephemeris hisab rukyat kemenag, namun telah diolah supaya dapat digunakan kedalam metode perhitungannya,

- b) Metode perhitungan gerhana Matahari K.H. Ahmad Ghozali

Dalam metode perhitungan K.H.Ahmad Ghozali (*al-Durru al-Anîq*) data – data yang dibutuhkan untuk dimasukkan ke dalam sistem perhitungan ialah perata gerak bujur bayangan Bulan, perata gerak lintang bayangan Bulan, deklinasi bayangan Bulan, perata gerak deklinasi bayangan Bulan, sudut waktu bayangan Bulan, perata gerak sudut waktu bayangan Bulan, semi diameter penumbra Bulan, perata gerak semidiameter penumbra Bulan, semi diameter umbra Bulan, perata gerak semi diameter umbra Bulan, sudut penumbra Bulan, sudut umbra Bulan, jari-jari equator Bumi, jari-jari kutub Bumi, dan besaran speroid Bumi. Data – data tersebut merupakan data elemen *bessel*. K.H. Ahmad Ghozali memiliki elemen *bessel* versinya sendiri yang tersedia di dalam kitab *al-Durru al-Anîq* sehingga elemen *bessel*-nya ada sedikit perbedaan dengan versi elemen *bessel* NASA (*National Aeronautics and Space Administration*).

3. Delta T (ΔT)

Delta T merupakan rumus pendekatan waktu.

a) Metode perhitungan gerhana Matahari Muhammad Wasil

Dalam metode perhitungan Muhammad Wasil (*tracking* gerhana Matahari), rumus delta (ΔT) mengadopsi dari rumus delta T (ΔT) versi NASA yang tersedia dalam laman resminya. Suatu saat bisa saja rumus delta T (ΔT) ini akan berubah, karena rumus ini sifatnya pendekatan dan pergerakan Bumi-Bulan juga tidak tetap atau berubah – ubah.

b) Metode perhitungan gerhana Matahari K.H.Ahmad Ghozali

Dalam metode perhitungan K.H.Ahmad Ghozali (*al-Durru al-Anîq*), rumus delta T (ΔT) yang digunakan ada sedikit perbedaan dengan rumus NASA. Pada rumus delta T (ΔT) terdapat kaidah – kaidah dan ketentuan atau kondisi yang berlaku. Kaidah ketentuan dalam rumus delta T (ΔT) ada perbedaan dengan versi NASA, di samping itu banyak juga kaidah yang sama dengan versi NASA. Ini berdampak pada nilai hasil besaran delta (ΔT), ada yang memiliki selisih dengan NASA dan ada yang nilai nya sama NASA.

Tanggal	ΔT NASA	ΔT (DA)	Selisih
21 Juni 2020	71,8	71,8	0
10 Juni 2021	72,3	72,4	0,1
4 Desember 21	72,6	72,67	0,07

Tabel 4. 1

4. Pendekatan dalam metode perhitungan gerhana Matahari
 - a) Metode perhitungan gerhana Matahari Muhammad Wasil

Dalam metode perhitungan Muhammad Wasil (*tracking* gerhana Matahari) pendekatan yang digunakan dalam metode perhitungan ialah berdasarkan geometri langsung Matahari-Bulan-Bumi ketika terjadi gerhana Matahari Artinya ketika gerhana Matahari terjadi, perhitungan didasarkan pada keadaan sebenarnya, kemudian melakukan perhitungan berulang – ulang untuk melacak kontak – kontak penting atau bisa disebut juga melacak pergerakan gerhana Matahari. Perhitungan berulang kali ini juga bertujuan untuk mencari nilai tertentu. Itulah sebabnya metode ini akan hampir mustahil dilakukan tanpa bantuan program pendukung atau hanya menggunakan kalkulator manual saja.

- b) Metode perhitungan gerhana Matahari K.H. Ahmad Ghozali

Dalam metode perhitungan K.H. Ahmad Ghozali (*al-Durru al-Anîq*) pendekatan dalam metode perhitungannya secara paralaks *mar'i* Bulan, ini berdasar pada data – data yang digunakan seperti koordinat bayangan Bulan, perata gerak koordinat bayangan Bulan, perata gerak deklinasi Bulan, dan data lain yang tersedia

di dalam tabel elemen *Bessel*. Sehingga pada metode perhitungan K.H. Ahmad Ghozali dapat langsung menghitung kontak – kontak penting gerhana Matahari. Metode perhitungan ini lebih simpel dan efektif, oleh karenanya dapat diterapkan meski hanya dengan bantuan kalkulator secara manual tanpa bantuan program pendukung.

5. Kontak – kontak gerhana Matahari yang dihitung

Metode perhitungan gerhana Matahari global Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali memiliki *output* yang berbeda terkait kontak – kontak yang dihitung. Berikut penulis tampilkan dalam bentuk tabel kontak – kontak yang dapat dihitung menggunakan metode Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali.

Kontak	Metode Muhammad Wasil	Metode K.H. Ahmad Ghozali
P1 (waktu & koordinat)	√	√
U1 (waktu & koordinat)	√	√
S1 (waktu & koordinat)	√	√
U2 (waktu & koordinat)	√	-
P2 (waktu & koordinat)	√	-
GE (waktu & koordinat)	√	√
P3 (waktu & koordinat)	√	-

U3 (waktu & koordinat)	√	-
S2 (waktu & koordinat)	√	√
U4 (waktu & koordinat)	√	√
P4 (waktu & koordinat)	√	√
Durasi (GE)	√	√
Lebar (GE)	-	√
Tinggi Matahari (GE)	-	√
Azimut Matahari (GE)	-	√
Magnitudo	√	√

Tabel 4. 2

B. Analisis perbandingan akurasi antara metode Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali.

Untuk mengetahui perbandingan tingkat akurasi antara perhitungan gerhana Matahari global metode Muhammad Wasil (*tracking* gerhana Matahari) dan K.H. Ahmad Ghozali (*al-Durru al-Anîq*) penulis menggunakan parameter tolok ukur NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) sebagai lembaga yang telah diakui secara internasional. Perbandingan tingkat akurasi dilakukan terhadap kontak – kontak penting gerhana Matahari meliputi, waktu ketika awal-akhir penumbra, waktu awal-akhir umbra, dan keadaan ketika puncak gerhana (*greatest eclipse*).

Perbandingan dilakukan pada lima tipe fenomena gerhana Matahari yang berbeda yaitu gerhana Matahari total sentral pada tanggal 4 Desember 2021, gerhana Matahari parsial pada tanggal 25 Oktober 2022, gerhana Matahari cincin total (*hybrid*) pada tanggal 20 April 2023, gerhana Matahari cincin pada tanggal 14 Oktober 2023, dan gerhana Matahari non-sentral total pada tanggal 9 April 2043.

Hasil perhitungan disajikan dalam bentuk tabel dengan empat kolom utama meliputi, kolom pertama merupakan kontak gerhana atau nilai, kolom kedua berisi hasil perhitungan NASA, kolom ketiga berisi hasil perhitungan metode Muhammad Wasil (*tracking* gerhana Matahari) serta selisih dengan hasil NASA, dan kolom keempat berisi hasil perhitungan metode K.H. Ahmad Ghozali (*al-Durru al-Anîq*) serta selisih dengan hasil NASA.

Berikut perbandingan hasil perhitungan gerhana Matahari global metode Muhammad Wasil, K.H. Ahmad Ghozali dan NASA.

1. Fenomena gerhana Matahari total sentral tanggal 4 Desember 2021
 - a) Kontak penumbra

Kontak	NASA	Muhammad Wasil (TGM)		K.H. Ahmad Ghozali (DA)	
			Selisih		Selisih
P1	05:29:11.3	05:29:30.55	00:00:19,25	05:29:23.78	00:00:12,48
P4	09:37:23.9	09:37:53.64	00:00:29,74	09:37:29.34	00:00:05,44

Tabel 4. 3

Pada tabel perbandingan kontak penumbra gerhana total sentral menunjukkan bahwa jika dibandingkan dengan NASA, nilai selisih lebih kecil terletak pada hasil perhitungan metode K.H. Ahmad Ghozali daripada metode Muhammad Wasil pada kontak awal (P1) dan akhir penumbra (P4). Pada kontak awal penumbra hasil perhitungan menggunakan metode Muhammad Wasil memiliki selisih 19,25 detik, sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 12,48 detik. Untuk kontak akhir penumbra hasil perhitungan metode Muhammad Wasil memiliki selisih 29,74 detik, sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 5,44 detik.

b) Kontak umbra

Kon tak	NASA	Muhammad Wasil (TGM)		K.H. Ahmad Ghozali (DA)	
			Selisih		Selisih
U1	07:00: 01	06:59: 37,91	00:00: 23,09	07:00: 35,99	00:00: 34,99
U4	08:06: 29,2	08:07: 46,58	00:01: 17,38	08:06: 17,2	00:00: 12,00

Tabel 4. 4

Pada tabel perbandingan kontak umbra gerhana total sentral, menunjukkan bahwa jika dibandingkan dengan NASA, nilai selisih lebih kecil terletak pada hasil perhitungan metode Muhammad Wasil daripada metode K.H. Ahmad Ghozali untuk kontak awal umbra (U1). Pada kontak awal umbra hasil perhitungan menggunakan

metode Muhammad Wasil memiliki selisih 23,09 detik sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 34,99 detik.

Pada kontak akhir umbra (U4), selisih lebih kecil terletak pada hasil perhitungan metode K.H. Ahmad Ghozali daripada metode Muhammad Wasil, yaitu 1 menit 17,38 detik, sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 12 detik.

c) *Greatest eclipse*

Nilai	NASA	Muhammad Wasil (TGM)		K.H. Ahmad Ghozali (DA)	
			Selisih		Selisih
Waktu	07:33:22,5	07:33:41,95	00:00:19,45	07:33:26,56	00:00:04,06
Durasi	00:01:54,4	00:01:59,54	00:00:05,54	00:01:53,9	00:00:00,10
Lintang	76° 46' 42'' S	76° 53' 51.65'' S	00° 07' 09.65''	76° 46' 58.07'' S	00° 00' 16,07''
Bujur	046° 11' 54'' B	44° 13' 03,45'' B	01° 58' 50,55''	46° 22' 51.17'' B	00° 10' 57,17''
Mag.	1,0367	1,016832	0,019868	1,036571	0,000129

Tabel 4. 5

Saat puncak gerhana (*greatest eclipse*) total sentral, hasil perbandingan menunjukkan bahwa nilai selisih lebih kecil terletak pada metode K.H. Ahmad Ghozali daripada metode Muhammad Wasil, baik dari segi waktu, durasi, lintang-bujur wilayah maupun magnitudo gerhana. Dari segi waktu terjadinya puncak

gerhana metode Muhammad Wasil memiliki selisih 19,45 detik sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 4, 06 detik. Durasi puncak gerhana metode Muhammad Wasil memiliki selisih 5 menit 54 detik sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 10 detik. Untuk koordinat lintang wilayah terjadinya puncak gerhana metode Muhammad Wasil memiliki selisih 7 menit 9,65 detik, sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 16,07 detik. Untuk koordinat bujur wilayah terjadinya puncak gerhana metode Muhammad Wasil memiliki selisih 1 derajat 58 menit 50,55 detik, sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 10 menit 57 detik. Untuk magnitudo gerhana, metode Muhammad Wasil memiliki selisih 0,019868, sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 0,000129.

2. Fenomena gerhana Matahari parsial tanggal 25 Oktober 2022

a) Kontak penumbra

Kontak	NASA	Muhammad Wasil (TGM)		K.H. Ahmad Ghozali (DA)	
			Selisih		Selisih
P1	08:58:10,3	08:57:56,91	00:00:13,39	08:58:05,97	00:00:04,30
P4	13:02:07,7	13:02:01,9	00:00:05,80	13:02:04,89	00:00:02,81

Tabel 4. 6

Pada tabel perbandingan kontak penumbra gerhana parsial menunjukkan bahwa jika dibandingkan

dengan NASA, nilai selisih lebih kecil terletak pada hasil perhitungan metode K.H. Ahmad Ghozali daripada metode Muhammad Wasil pada kontak awal (P1) dan akhir penumbra (P4). Pada kontak awal penumbra hasil perhitungan metode Muhammad Wasil memiliki selisih 13,39 detik, sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 4,30 detik. Untuk kontak akhir penumbra hasil perhitungan metode Muhammad Wasil memiliki selisih 5,8 detik, sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 2,81 detik.

b) *Greatest eclipse*

Kontak	NASA	Muhammad Wasil (TGM)		K.H. Ahmad Ghozali (DA)	
			Selisih		Selisih
Waktu	11:00:00,4	10:59:56,17	00:00:04,40	11:00:05,43	00:00:05,03
Magnitudo	0,8611	0,8750836	0,0139836	0,8612374	0,0001374

Tabel 4. 7

Saat terjadinya puncak gerhana (*greatest eclipse*) fenomena gerhana Matahari parsial, nilai selisih lebih kecil terletak pada hasil perhitungan metode Muhammad Wasil daripada metode K.H. Ahmad Ghozali pada waktu terjadinya puncak gerhana, dan untuk magnitudo gerhana selisih lebih kecil terletak pada metode K.H. Ahmad Ghozali. Pada waktu terjadinya puncak gerhana perbedaan antara selisih hasil perhitungan metode Muhammad Wasil dengan NASA dan metode K.H.

Ahmad Ghozali dengan NASA tidak begitu jauh, yaitu selisih 4,40 detik untuk metode Muhammad Wasil, sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 5,03 detik. Untuk magnitudo gerhana, metode Muhammad Wasil memiliki selisih 0,0139836, sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 0,0001374.

3. Fenomena gerhana Matahari sentral cincin total (*hybrid*) tanggal 20 april 2023

a) Kontak penumbra

Kontak	NASA	Muhammad Wasil (TGM)		K.H. Ahmad Ghozali (DA)	
			Selisih		Selisih
P1	01:34:15,8	01:34:19,29	00:00:03,49	01:34:08,13	00:00:07,67
P4	06:59:13,5	06:59:12,72	00:00:00,78	06:59:15,46	00:00:01,96

Tabel 4. 8

Pada tabel perbandingan kontak penumbra gerhana Matahari *hybrid*, menunjukkan bahwa jika dibandingkan dengan NASA nilai selisih lebih kecil terletak pada hasil perhitungan metode Muhammad Wasil daripada metode K.H. Ahmad Ghozali pada kontak awal dan akhir penumbra. Pada kontak awal penumbra hasil perhitungan metode Muhammad Wasil memiliki selisih 3,49 detik, sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 7,67 detik. Untuk kontak akhir penumbra hasil perhitungan metode Muhammad Wasil memiliki

selisih 0,78 detik, sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 1,96 detik.

b) Kontak umbra

Kontak	NASA	Muhammad Wasil (TGM)		K.H. Ahmad Ghozali (DA)	
			Selisih		Selisih
U1	02:36:56,2	02:37:00,38	00:00:04,19	02:36:33,71	00:00:22,49
U4	05:56:35,2	05:56:27,003	00:00:08,20	05:56:49,88	00:00:14,68

Tabel 4. 9

Pada tabel perbandingan kontak umbra gerhana Matahari *hybrid*, menunjukkan bahwa jika dibandingkan dengan NASA, nilai selisih lebih kecil terletak pada hasil perhitungan metode Muhammad Wasil daripada metode K.H. Ahmad Ghozali pada kontak awal umbra (U1) dan akhir umbra (U4). Pada kontak awal umbra metode Muhammad Wasil memiliki selisih 4,19 detik, sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 22,49 detik. Pada kontak akhir umbra (U4), hasil perhitungan metode Muhammad Wasil memiliki selisih 8,20 detik, sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 14,68 detik.

c) *Greatest eclipse*

Nilai	NASA	Muhammad Wasil (TGM)		K.H. Ahmad Ghozali (DA)	
			Selisih		Selisih
Waktu	04:16:37,5	04:16:43,93	00:00:06,43	04:16:41,79	00:00:04,29

Dura si	00:01: 16,1	00:01:3 2,34	00:00:1 6,24	00:01:1 5,91	00:00:0 0,19
Lintang	09° 35' 24'' S	09° 34' 36,03'' S	00° 00' 47,97''	09° 35' 46.15'' S	00° 00' 22,15''
Bujur	125° 48' 24'' T	125° 48' 50.22'' T	00° 00' 26,22''	125° 47' 41.2'' T	00° 00' 42,8''
Mag.	1,0132	1,00013 78	0,01306 2	1,01317	0,00003 0

Tabel 4. 10

Saat terjadinya puncak gerhana (*greatest eclipse*) Matahari *hybrid*, nilai selisih lebih kecil terletak pada hasil perhitungan metode K.H. Ahmad Ghozali daripada metode Muhammad Wasil dari segi waktu terjadinya puncak gerhana, durasi puncak gerhana, koordinat lintang wilayah terjadinya gerhana dan magnitude gerhana. Sedangkan untuk koordinat bujur wilayah saat terjadi puncak gerhana nilai selisih lebih kecil terletak pada metode Muhammad Wasil daripada metode K.H. Ahmad Ghozali.

Pada segi waktu terjadinya puncak gerhana,,metode Muhammad Wasil memiliki selisih yaitu 6,43 detik sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 4,29 detik. Untuk durasi puncak gerhana metode Muhammad Wasil memiliki selisih 16,24 detik, sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 0,19 detik. Pada koordinat lintang wilayah saat terjadinya puncak gerhana, metode Muhammad Wasil memiliki

selisih 47,97 detik, sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 22,15 detik. Untuk koordinat bujur wilayah saat terjadinya puncak gerhana, metode Muhammad Wasil memiliki selisih 26,22 detik, sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 42,8 detik. Untuk magnitudo gerhana, metode Muhammad Wasil memiliki selisih 0,0139836, sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 0,0001374.

4. Fenomena gerhana Matahari cincin tanggal 14 oktober 2023

a) Kontak penumbra

Kontak	NASA	Muhammad Wasil (TGM)		K.H. Ahmad Ghozali (DA)	
			Selisih		Selisih
P1	15:03:38,4	15:03:44,54	00:00:06,14	15:03:35,92	00:00:02,48
P4	20:55:06,9	20:55:13	00:00:06,10	20:55:15,54	00:00:08,64

Tabel 4. 11

Pada tabel perbandingan kontak penumbra gerhana Matahari cincin, menunjukkan bahwa jika dibandingkan dengan NASA, hasil perhitungan metode Muhammad Wasil memiliki selisih yang lebih besar daripada metode K.H. Ahmad Ghozali pada kontak awal penumbra, dan selisih lebih besar untuk kontak akhir penumbra. Pada kontak awal penumbra hasil perhitungan metode Muhammad Wasil memiliki selisih 6,14 detik, sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih

2,48 detik. Untuk kontak akhir penumbra hasil perhitungan metode Muhammad Wasil memiliki selisih 6,10 detik, sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 8,64 detik.

b) Kontak umbra

Kontak	NASA	Muhammad Wasil (TGM)		K.H. Ahmad Ghozali (DA)	
			Selisih		Selisih
U1	16:09:59,1	16:10:07,89	00:00:08,79	16:11:50,73	00:01:51,63
U4	19:48:53,5	19:48:51,97	00:00:01,53	19:47:00,73	00:01:52,77

Tabel 4. 12

Pada tabel perbandingan kontak umbra gerhana Matahari cincin, menunjukkan bahwa jika dibandingkan dengan NASA, hasil perhitungan metode Muhammad Wasil memiliki selisih yang lebih kecil daripada metode K.H. Ahmad Ghozali pada kontak awal umbra (U1) dan akhir umbra (U4). Pada kontak awal umbra metode Muhammad Wasil memiliki selisih 8,79 detik, sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 1 menit 51,63 detik. Pada kontak akhir umbra (U4), hasil perhitungan metode Muhammad Wasil memiliki selisih 1,53 detik, sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 1 menit 52,77 detik

c) *Greatest eclipse*

Nilai	NASA	Muhammad Wasil (TGM)		K.H. Ahmad Ghozali (DA)	
			Selisih		Selisih

Waktu	17:59:21	17:59:30,86	00:00:09,86	17:59:25,73	00:00:04,73
Durasi	00:05:17,2	00:05:02,61	00:00:14,59	00:05:07,34	00:00:00,14
Lintang	11° 21' 42'' U	11° 18' 27,53'' U	00° 03' 14,47''	11° 22' 22,2'' U	00° 00' 40,2''
Bujur	83° 04' 18'' B	83° 06' 26,95'' B	00° 02' 8,95''	83° 05' 06,21'' B	00° 00' 48,21''
Mag.	0,9520	1,031910	0,079910	0,951997	0,000003

Tabel 4. 13

Saat puncak gerhana (*greatest eclipse*) gerhana Matahari cincin, hasil perhitungan metode Muhammad Wasil menunjukkan nilai selisih yang lebih besar daripada metode K.H. Ahmad Ghozali baik dari segi waktu terjadinya puncak gerhana, durasi puncak gerhana, koordinat lintang , bujur wilayah terjadinya gerhana dan magnitude gerhana. Pada waktu terjadinya puncak gerhana,,metode Muhammad Wasil memiliki selisih 9,86 detik sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 4,73 detik. Untuk durasi puncak gerhana metode Muhammad Wasil memiliki selisih 14,59 detik, sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 0,14 detik. Pada koordinat lintang wilayah saat terjadinya puncak gerhana, metode Muhammad Wasil memiliki selisih 3 menit 14,47 detik, sedangkan sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 0 menit 40,2 detik. Untuk koordinat bujur wilayah saat terjadinya puncak

gerhana, metode Muhammad Wasil memiliki selisih 2 menit 8,95 detik, sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 48,95 detik. Untuk magnitudo gerhana, metode Muhammad Wasil memiliki selisih 0,079910, sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 0,000003.

5. Fenomena gerhana Matahari non-sentral cincin 3 Oktober 2043

a) Kontak penumbra

Kontak	NASA	Muhammad Wasil (TGM)		K.H. Ahmad Ghozali (DA)	
			selisih		Selisih
P1	00:42:36	00:42:56,09	00:00:20,09	00:42:57,32	00:00:21,32
P4	05:17:18,9	05:17:51,66	00:00:32,76	05:17:42,28	00:00:23,38

Tabel 4. 14

Pada tabel perbandingan kontak penumbra non-sentral total menunjukkan bahwa jika dibandingkan dengan NASA, hasil perhitungan metode Muhammad Wasil memiliki selisih yang lebih besar daripada metode K.H. Ahmad Ghozali pada kontak awal dan akhir penumbra. Pada kontak awal penumbra hasil perhitungan metode Muhammad Wasil memiliki selisih 25,08 detik, sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 21,44 detik. Untuk kontak akhir penumbra hasil perhitungan metode Muhammad Wasil memiliki selisih

29,46 detik, sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 22,59 detik.

b) Kontak umbra

Kontak	NASA	Muhammad Wasil (TGM)		K.H. Ahmad Ghozali (DA)	
			Selisih		Selisih
U1	02:50:01,2	02:49:25,56	00:00:35,64	02:51:35,74	00:01:34,54
U4	03:09:37,6	03:11:19,61	00:01:42,01	03:09:03,86	00:00:33,74

Tabel 4. 15

Pada tabel perbandingan kontak umbra gerhana Matahari non-sentral total, menunjukkan bahwa jika dibandingkan dengan NASA, hasil perhitungan metode Muhammad Wasil memiliki selisih yang lebih kecil daripada metode K.H. Ahmad Ghozali pada kontak awal umbra (U1). Pada kontak awal umbra metode Muhammad Wasil memiliki selisih 1 menit 1,21 detik sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 1 menit 12,12 detik.

Untuk kontak akhir umbra (U4), hasil perhitungan metode Muhammad Wasil memiliki selisih yang lebih besar daripada metode K.H. Ahmad Ghozali, yaitu 2 menit 07,26 detik, sedangkan pada metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 19,88 detik.

c) *Greatest eclipse*

Nilai	NASA	Muhammad Wasil (TGM)		K.H. Ahmad Ghozali (DA)	
			Selisih		Selisih

Waktu	03:00:07,6	03:00:25,78	00:00:18,18	03:00:19,8	00:00:12,20
Lintang	60° 57' 42'' S	60° 59' 52,54'' S	00° 02' 10,54''	61° 07' 14,27'' S	00° 09' 32,27''
Bujur	035° 14' 18'' T	035° 09' 03,33'' T	00° 05' 14,67''	35° 08' 27,61'' T	00° 05' 50,39''
Mag.	0,9434	1,008106	0,064706	0,949142	0,005742

Tabel 4. 16

Saat puncak gerhana (*greatest eclipse*) gerhana Matahari non-sentral total, hasil perbandingan menunjukkan bahwa nilai selisih lebih kecil terletak pada metode Muhammad Wasil, daripada metode K.H. Ahmad Ghozali dari segi waktu terjadinya puncak gerhana. Sedangkan untuk durasi puncak gerhana, koordinat lintang wilayah, koordinat bujur wilayah terjadinya gerhana dan magnitude gerhana, nilai selisih lebih kecil terletak pada metode K.H. Ahmad Ghozali.

Pada waktu terjadinya puncak gerhana, metode Muhammad Wasil memiliki selisih 14,19 detik sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 9,22 detik. Untuk koordinat lintang wilayah saat terjadinya puncak gerhana, metode Muhammad Wasil memiliki selisih 1 menit 6,49 detik, sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 9 menit 0,2 detik. Untuk koordinat bujur wilayah saat terjadinya puncak gerhana, metode Muhammad Wasil memiliki

selisih 2 menit 52,48 detik, sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 7 menit 56,51 detik. Untuk magnitudo gerhana, metode Muhammad Wasil memiliki selisih 0,028576, sedangkan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih 0,031838.

Berdasarkan perbandingan hasil perhitungan metode Muhammad Wasil (*tracking* gerhana Matahari), K.H. Ahmad Ghozali (*al-Durru al-Anîq*), dan NASA, diperoleh bahwa:

a. Kontak penumbra,

Berdasarkan sepuluh kontak (awal dan akhir) penumbra yang dibandingkan, menunjukan bahwa tujuh kontak hasil perhitungan menggunakan metode dari K.H. Ahmad Ghozali memiliki nilai selisih yang lebih kecil dibanding metode Muhammad Wasil dengan nilai selisih keseluruhan berkisar 1,96 sampai 22,59 detik. Sedangkan hasil perhitungan menggunakan metode Muhammad Wasil memiliki selisih lebih kecil pada tiga kontak lainnya, dengan nilai selisih keseluruhan berkisar antara 0,78 sampai 29,74 detik.

b. Kontak umbra

Berdasarkan delapan kontak umbra (awal dan akhir umbra) yang dibandingkan, enam kontak menunjukkan bahwa hasil perhitungan menggunakan metode Muhammad Wasil memiliki nilai selisih lebih kecil dibanding metode K.H. Ahmad Ghozali dengan nilai selisih keseluruhan berkisar antara 1,53 detik

sampai 1 menit 42 detik. Sedangkan hasil perhitungan menggunakan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih lebih kecil pada dua kontak lainnya dengan nilai selisih keseluruhan berkisar antara 12 detik sampai 1 menit 52,77 detik.

c. Puncak Gerhana (*greatest eclipse*)

Berdasarkan dua puluh satu unsur yang dibandingkan (meliputi waktu, durasi, lintang, bujur, magnitudo) saat puncak gerhana, tujuh belas unsur menunjukkan bahwa hasil perhitungan menggunakan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki nilai selisih lebih kecil dibanding metode Muhammad Wasil. Pada kontak waktu ketika terjadinya puncak gerhana hasil perhitungan menggunakan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih (dengan NASA) berkisar antara 0,1 detik hingga 12 detik, sedangkan menggunakan metode Muhammad Wasil selisih berkisar 4,40 detik hingga 19,45 detik. Pada koordinat wilayah terjadinya puncak gerhana hasil perhitungan menggunakan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki selisih berkisar 16 detik hingga 10 menit 57,17 detik, sedangkan menggunakan metode Muhammad Wasil memiliki selisih berkisar 26,22 detik hingga 1 derajat 58 menit 50,55 detik.

Tujuan utama sebuah metode perhitungan gerhana Matahari global ialah untuk mempermudah dalam pelaksanaan salat gerhana, maka dari itu tingkat

akurasi yang dipakai sebagai acuan utama ialah pada saat keadaan *greatest eclipse*.

C. Analisis Kelebihan dan Kekurangan antara Metode Perhitungan Gerhana Matahari Global Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali

1. Metode perhitungan gerhana Matahari global Muhammad Wasil

Berdasarkan pemaparan dan analisis metode perhitungan gerhana Matahari global Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali, maka terdapat kelebihan pada metode Muhammad Wasil diantaranya:

a) Kontak yang dapat dihitung lebih banyak

Metode perhitungan gerhana Matahari global Muhammad Wasil menyediakan rumus untuk perhitungan kontak U2, P2, P3 dan U3. U3 merupakan kontak ketika sisi lain umbra mulai masuk Bumi atau cakram umbra mulai tercetak utuh di Bumi. P2 merupakan kontak ketika sisi lain kerucut penumbra mulai memasuki Bumi atau cakram bayangan penumbra mulai tercetak utuh di Bumi. P3 merupakan kontak ketika cakram penumbra mulai teriris kembali. U3 merupakan kontak ketika cakram umbra mulai teriris kembali.

b) Dapat menggambarkan pergerakan jalur gerhana Matahari.

Metode perhitungan gerhana Matahari global Muhammad Wasil memiliki konsep perhitungan berulang dengan interval waktu, untuk mendapat nilai ketentuan yang diinginkan. Dari proses berulang tersebut akan menghasilkan titik – titik koordinat yang jika diimplementasikan ke dalam peta dan dihubungkan menjadi sebuah garis akan menggambarkan jalur pergerakan gerhana.

- c) Memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi untuk kontak Umbra

Berdasarkan pada pembahasan perbandingan akurasi, menunjukkan bahwa hasil perhitungan menggunakan metode Muhammad Wasil pada kontak umbra lebih sering mendekati hasil NASA jika dibandingkan dengan metode perhitungan K.H. Ahmad Ghozali.

Sedangkan kekurangan metode perhitungan gerhana Matahari global Muhammad Wasil meliputi:

- a) Metode perhitungan sulit diterapkan jika tanpa bantuan program pendukung

Metode perhitungan gerhana Matahari global Muhammad Wasil sulit digunakan jika tanpa bantuan program pendukung, karena proses perhitungan yang harus dilakukan berulang kali untuk mendapatkan kontak tertentu. Misalnya untuk menghitung kontak awal sentral pada metode Muhammad Wasil ialah

dengan acuan nilai $OA = 1$. Maka perhitungan harus dilakukan berulang kali dengan interval waktu menggunakan yang sama hingga mendapatkan nilai $OA = 1$. OA merupakan jarak jarak antara titik pusat Bumi dengan sumbu bayangan Matahari-Bulan.

- b) Memiliki tingkat akurasi yang lebih rendah untuk perhitungan titik koordinat

Pada metode perhitungan gerhana Matahari global Muhammad Wasil menggunakan kosnep Bumi berbentuk bulat, meski tidak terlalu berpengaruh dalam perhitungan waktu, namun sangat berpengaruh dalam perhitungan titik koordinat. Ini juga berdasar pada pembahasan analisis perbandingan akurasi kedua metode, dimana Metode Muhammad Wasil memiliki selisih 26,22 detik sampai 1 derajat 58 menit keika dibandingkan dengan NASA untuk koordinat saat puncak gerhana (*greatest eclipse*).

2. Metode perhitungan gerhana Matahari global K.H. Ahmad Ghozali

Berdasarkan pemaparan dan analisis metode perhitungan gerhana Matahari global Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali, maka terdapat kelebihan pada metode K.H Ahmad Ghozali diantaranya:

- a) Metode perhitungan lebih praktis

Perhitungan dalam metode perhitungan gerhana Matahari global K.H. Ahmad Ghozali lebih praktis dan

efisien karena rumus – rumus langsung menghitung kontak – kontak penting sehingga metode ini dapat diterapkan hanya dengan menggunakan kalkulator saja.

- b) Memiliki tingkat akurasi yang tinggi pada kontak penumbra dan puncak gerhana (*greatest eclipse*).

Metode perhitungan gerhana Matahari global K.H. Ahmad Ghozali memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi pada kontak penumbra dan puncak gerhana (*greatest eclipse*). Pembahasan pada analisis perbandingan akurasi menunjukkan perhitungan menggunakan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki jarak selisih yang tidak terlalu jauh dengan hasil NASA pada penumbra dan waktu terjadinya puncak gerhana, yaitu 1,96 detik hingga 22 detk dan 0,1 detik hingga 12 detik.

Sedangkan kekurangan metode perhitungan gerhana Matahari global K.H. Ahmad Ghozali meliputi:

- a) Tingkat akurasi dalam perhitungan kontak umbra rendah.

Dalam perhitungan kontak umbra gerhana Matahari global metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki tingkat akuarasi yang lebih rendah dibanding metode perhitungan Muhammad Wasil. Berdasarkan pada pembasahan analisis perbandingan akurasi, metode perhitungan K.H. Ahmad Ghozali memiliki 1,53 detik sampai 1 menit 42 detik dengan NASA.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dan hasil analisis terkait komparasi Metode perhitungan Muhammad Wasil dan K.H. Ahmad Ghozali, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Metode perhitungan gerhana Matahari global Muhammad Wasil dan metode K.H. Ahmad Ghozali memiliki persamaan dalam sistem koordinat langit yang di gunakan yaitu sistem koordinat ekliptika geosentrik. Selain itu, ada juga perbedaannya meliputi konsep bentuk Bumi yang digunakan, sumber input data, rumus delta T (ΔT), pendekatan dalam metode perhitungan serta kontak – kontak yang dapat dihitung. Pada metode Muhammad Wasil konsep bentuk Bumi yang digunakan ialah bentuk Bumi Bulat, kemudian rumus delta T yang digunakan mengadopsi dari NASA, dan pendekatan proses perhitungannya berdasarkan secara geometri langsung Matahari-Bulan-Bumi untuk melacak kontak – kontak penting. Sedangkan pada metode K.H. Ahmad Ghozali konsep bentuk Bumi yang digunakan ialah Bumi berbentuk *ellipsoid*, kemudian rumus delta T (ΔT) berbeda dengan NASA, dan pendekatan metode perhitungannya berdasar paralaks *mar'i* Bulan serta rumus pendekatan untuk menghitung kontak – kontak penting.
2. Tingkat akurasi metode perhitungan gerhana Matahari global K.H. Ahmad Ghozali lebih tinggi daripada metode

perhitungan Muhammad Wasil dalam memprediksi fenomena gerhana Matahari. Tingkat akurasi ini berdasar pada perhitungan keadaan *greatest eclipse* yang berdampak langsung terhadap pelaksanaan salat gerhana.

3. Metode perhitungan gerhana Matahari global Muhammad Wasil memiliki kelebihan diantaranya kontak yang dihitung lebih lengkap, dapat menggambarkan peta pergerakan gerhana, tingkat akurasi lebih tinggi dalam perhitungan kontak umbra, sedangkan terdapat kekurangan yaitu sulit diimplementasikan tanpa bantuan program sebagai alat bantu. Metode perhitungan gerhana Matahari global K.H. Ahmad Ghoazali memiliki kelebihan diantaranya metode perhitungan lebih praktis, memiliki tingkat akurasi tinggi untuk kontak penumbra dan puncak gerhana (*greatest eclipse*), sedangkan kekurangan yang dimiliki, yaitu akurasi rendah dalam perhitungan kontak umbra gerhana Matahari global.

B. Penutup

Alhamdulillah, penulis haturkan ke hadirat *Ilahi Rabbi*, pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada semua elemen yang telah membantu penulis dalam proses pengerjaan tesis ini. Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam tesis yang sederhana ini. Maka dari itu penulis siap menerima kritik dan masukan dari para pembaca dengan lapang hati.

DAFTAR PUSTAKA

Sumber Jurnal Ilmiah

- Alimuddin, “Gerhana Matahari Perspektif Astronomi”, *al-Daulah*, 3, (2014), 71-79.
- Azmi, Muhammad Farid, “Menelisik Akurasi Hisab Gerhana Matahari dalam Kitab al-Durru al-Anīq”, *al-Marshad: Jurnal Astronomi Islam dan Ilmu-ilmu Berkaitan*, 7 (2021): 50-65.
- Hambali, Slamet “Astronomi Islam dan Teori Heliocentris Nicolaus Copernicus”, *al-Ahkam*, XXIII, Nomor 2, Oktober (2013): 225-235.
- M. khalid, dkk, “Delta T: Polynomial Approximation of Time Period 1620-2013”, *Journal of Astrophysic*, (2014), 1.
- Mujab, Syaiful, Gerhana; Antara Mitos, Sains, dan Islam”. *Yudisia* No.1 Vol. 5, (2014): 83-101.
- Rofiuddin, Ahmad Adib, “Penentuan Hari dalam Sistem Kalender Hijriah”. *al-Ahkam* 26 (2016): 117-136.
- Yaqin, Ainul Yaqin dan Fahmi Fatwa Rosyadi, “*Hadist Gerhana dan Wafatnya Ibrahim ibn Muhammad*”. *Tahkim*, No. 1 Vol. 1, (2018): 54-67.

Sumber Buku

- Al-bukhari, Abdullah Muhammad bin Ismail, *Sahih al-Bukhari Juz 1*, Beirut: Dar al Kutub Al Ilmiah, 1992.
- Al-Jaelany, Zubair Umar, *al-Khulashah al-Wafiiyyah*, Surakarta: Melati, 1935.
- al-Farran, Ahmad Musthafa, *Tafsir Imam Syafi'i*, jilid 3, Jakarta Timur: Almahira, 2008, Cet. I.
- an-Najjar, Zaghlul, *Pembuktian Sains dalam Sunnah Buku I*, terj. A. Zidni Ilham Faylasufa, Jakarta: Amzah, 2006.

- Anugraha, Rinto, *Mekanika Benda Langit*. Yogyakarta: FMIPA UGM, 2012.
- Ariasti, Adriana Wisni dkk, *Perjalanan Mengenal Astronomi*, Bandung: Penerbit ITB, 1995.
- Asy-Syafi'i, Imam, *Al- Umm, Terj. Misbah*, jilid 3, Jakarta: Pustaka Azzam, 2014.
- Azhari, Susiknan, *Ensiklopedi Hisab Rukyat*, Yogyakarta: Pustaka Pelajar, cet. II, 2008.
- Azwar, Saifuddin, *Metode Penelitian*, Yogyakarta: Pustaka Pelajar, Cet-5, 2004.
- Bassam, Abdullah Alu, *Fiqih Hadits Bukhari-Muslim*, Jakarta: Ummul Qura, Cet. I, 2013.
- Departemen Agama RI, *Al-Qur'an dan Terjemahan*, Jakarta: Cahaya Qur'an, 2011.
- Endarto, Danang, *Kosmografi*, Yogyakarta: Ombak, 2014.
- Fahrurrazi, Djawahir, *Sistem Acuan Geodetik: Dari Bigbang sampai Kerangka Acuan Terrestrial*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2011.
- Ghozali, Ahmad, *Al-Durru Al-Anîq*, Sampang: LAFAL (Lajnah Falakiyah Lanbulan), Cet. II, 1437 H.
- , *Bugyah al-Raftq*, Madura: LAFAL, 1437 H.
- , *Jami''u al-Adillah ila Ma''riti Simt al - Qiblah*, Sampang: LAFAL (Lajnah Falakiyan Lanbulan), 2017.
- Hambali, Slamet, *Pengantar Ilmu Falak Menyimak Proses Pembentukan Alam Semesta*, Banyuwangi: Bismillah Publisher, 2012.
- Harun, M. Yusuf, *Pengantar Ilmu Falak*, Banda Aceh: Yayasan Pena, 2008.
- Idpath, Ian R., *Dictionary of Astronomy*, New York: Oxford University Press, 1997.

- International Civil Aviation Organization (ICAO), *World Geodetic System - 1984 (WGS-84) Manual*, pdf e-book, 2nd edition, 2002, chapter 3.
- Izzuddin, Ahmad, *Ilmu Falak (Metode Hisab-Rukyat dan Solusi Permasalahannya)*. Semarang: Komala Grafika, 2006.
- , *Fiqh Hisab Rukyat*, Jakarta: Erlangga, 2007.
- , *Ilmu Falak Praktis*, Semarang: PT. Pustaka Rizki Putra, 2012.
- Meeus, Jean, *Elements of Solar Eclipses*, Virginia: Willmann Bell Inc., 1989, 2nd edition.
- Khazin, Muhyiddin, *Kamus Ilmu Falak*, Yogyakarta: Buana Pustaka, 2005.
- Laboratorium Geodesi, Geometri, dan Geodesi Fisis, “Sistem Koordinat langit”, (pdf e-book, Teknik Geodesi – FT Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, 2016.
- Latorre, Donald R, Kenelly, John W, dkk, *Calculus Concepts: An Applied Approach to the Mathematics of Change*, e-book, Cengage Learning, 2017.
- Maskufa, *Ilmu Falaq*, Jakarta: Gaung Persada Press, 2009.
- Marpaung, Watni, *Pengantar Ilmu Falak*, Jakarta: Prenadamedia Grup, cet I, 2015.
- Munawwir, Ahmad Warson, *Al-Munawwir Kamus Arab-Indonesia*, Surabaya: Pustaka Progressif, 1997.
- Prahasta, Eddy, *Sistem Informasi Geografis: Konsep-konsep Dasar Perspektif Geodesi & Geomatika*, Bandung: Informatika, 2009.
- Riedweg, Christoph, *Pythagoras: His Life, Teachings, and Influence*, New York: Cornell University Press, 2005.
- Setyanto, Hendro, *Membaca Langit*, Jakarta: al-Ghuraba, 2008.
- Soewadji, Jusuf, *Pengantar Metodologi Penelitian*, Jakarta: Mitra Wacana Media, 2012.

- Sujarweni, V. Wiratna, *Metodologi Penelitian Lengkap, Praktis, dan Mudah Dipahami*, Yogyakarta: Pustaka Baru Press, 2014.
- Suharsimi, Arikunto, *Metodologi Penelitian*, Yogyakarta: Bina Aksara, 2006.
- Tim Majelis Tarjih dan Tajdid PP Muhammadiyah, *Pedoman Hisab Muhammadiyah*, Yogyakarta: Majelis Tarjih dan Tarjih PP Muhammadiyah, 2009, Cet. ke II.
- Tim Penyusun Naskah IDI Hukum, *Islam Untuk Disiplin Ilmu Astronomi; Buku Dasar Pendidikan Agama Islam Pada Perguruan Tinggi Umum Jurusan/Program Studi Astronomi*, Jakarta: Depag RI, 2000.
- Tjasyono, Bayong, *Ilmu Kebumihan dan Antariksa*, Bandung: PT Remaja Rosdakarya, 2013.
- Utsman, Abu Sabda, *Ilmu Falak Rumusan Syar'i & Astronomi seri 02*, Bandung: Persis Pers, 2019.
- Wasil, Muhammad, Gerhana Matahari, e-book materi pelatihan Kaderisasi Ulama Hisab PWNu Jawa Timur, 2016.

Sumber lain

- David R. Williams, "Moon Fact Sheet", diakses pada 1 Juni 2024, <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/moonfact.html>.
- , "Sun Fact Sheet", diakses pada 1 Juni 2024, <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/sunfact.html>.
- Fred Espenak, NASA/GSFC, "Besselian Elements of Solar Eclipse", diakses pada 11 Juni 2024, <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEcat5/beselm.html>.
- , "Solar Eclipse Basics", diakses pada 1 Juni 2024, <https://eclipsewise.com/solar/SEhelp/SEbasics.html>.
- , Glossary of Solar Eclipse Terms, diakses pada 10 Juni 2024, <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEhelp/SEglossary.html>.

Mukarromah, Ilmi, “KH. Ahmad Ghozali; Penghidup Ilmu Falak Masa Kini”, Zenith edisi XI / tahun V / April 2014), 22

KBBI Daring, <https://kbbi.kemdikbud.go.id/entri/eklips>

Maghfuri, Alfian, “Reformulasi Algoritma Hisab Gerhana Matahari Menggunakan Data Ephemeris Hisab Rukyat”, Tesis, UIN Walisongo Semarang, 2019.

M. Basthoni, “Karakteristik Data Ephemeris Gerhana Matahari Berbasis *Jet Propulsion Laboratory* NASA”, Tesis, UIN Walisongo Semarang, 2017.

Rinto Anugraha, “Konjungsi dengan Bujur Ekliptika dan Right Ascension”, diakses pada 16 Juni 2024, <https://rintoanugraha.staff.ugm.ac.id/konjungsi-dengan-bujur-ekliptika-dan-right-ascension/>.

Sukarni, “Metode Hisab Gerhana Bulan Ahmad Ghozali dalam Kitab *Irsyad al-Murid*”, Skripsi, UIN Walisongo Semarang, 2014.

T. Djamaluddin, “Memahami Gerhana Matahari dan Gerhana Bulan”, diakses pada 15 Juni 2024, <https://tdjamaluddin.com/2013/05/07/memahami-gerhana-matahari-dan-gerhana-bulan/>.

Umam, Khotibul, “Reformulasi Metode Hisab Gerhana Matahari Global saat Awal dan Akhir Umbra dalam Kitab *al-Durru al-Anniq*”, Tesis, UIN Walisongo Semarang, 2022.

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

Lukman, “Studi Analisis Rashdul Kiblat Bulan dalam Kitab Jami’u al-Adillah karya KH. Ahmad Ghozali”, (Skripsi, UIN Walisongo, Semarang, 2016).

Wawancara dengan Muhammad Wasil pada tanggal 6 Juni 2024, pukul 19:09 WIB di Gamping, Sleman.

RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

1. Nama Lengkap : Muhammad Farih al Husna
2. Tempat, tgl. Lahir : Demak, 14 Januari 1995
3. Alamat Rumah : Tambakaji, RT 01 RW 07 8A,
Ngaliyan, Semarang
4. HP : 082242300324
5. Email : Farih.alhusna@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. Pendidikan formal:
 - a. SDNTambakaji 04 Semarang (2001-2007)
 - b. SMPN 18 Semarang (2007-2010)
 - c. SMAN 6 Semarang (2010-2013)
 - d. S1 UIN Walisongo Semarang (2013- 2019)

C. Pengalaman Organisasi

1. HMJ Ilmu Falak UIN Walisongo Semarang
2. UKM JQH el-Fasya Fakultas Syariah dan Hukum