

**REFORMULASI METODE HISAB
GERHANA MATAHARI GLOBAL SAAT
AWAL DAN AKHIR UMBRA DALAM KITAB
*AL-DURRU AL-ANĪQ***

TESIS

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat
guna Memperoleh Gelar Magister
dalam Ilmu Falak



Oleh:

KHOTIBUL UMAM

NIM: 2002048022

**PROGRAM MAGISTER ILMU FALAK
PASCASARJANA
UIN WALISONGO SEMARANG
2022**

MOTTO

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

“Dan di antara tanda-tanda kekuasaan-Nya ialah malam, siang, Matahari dan Bulan. Janganlah sembah Matahari maupun Bulan, tetapi sembahlah Allah yang menciptakannya, jika ialah yang kamu sembah.” (QS.

Fuṣṣilat : 37)¹

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

PERSEMBAHAN

*Tesis ini saya persembahkan kepada:
Yang terhormat dan tercinta kedua orang tua penulis
Ach. Munasit dan Khalilah
yang selalu memberi support system.
Semoga selalu dalam lindungan-Nya dan diberkahi segala urusan
dunia dan akhiratnya.*

*Yang terhormat dan tersayang keluarga besar penulis
Bani Maşduqī dan Bani Syafi’ī
yang selalu memberi support.
Mudah-mudahan tetap istikamah mempererat tali silaturahmi
sampai akhirat nanti.*



**KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
FAKULTAS SYARI'AH DAN HUKUM**

Jalan Prof. Dr. H. Hamka Semarang 50185
Telepon (024)7601291, Faksimili (024)7624691, Website : <http://fs.walisongo.ac.id>

FPT-07

PENGESAHAN HASIL UJIAN TESIS



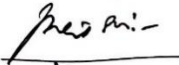

Yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan telah menyetujui Tesis mahasiswa:

Nama : Khotibul Umam

NIM : 2002048022

Judul : **REFORMULASI METODE HISAB GERHANA MATAHARI GLOBAL
SAAT AWAL DAN AKHIR UMBRA DALAM KITAB AL-DURRU AL-ANIQ**

yang telah diujikan pada tanggal 7 Desember 2022 dan dinyatakan LULUS oleh majelis penguji :

NAMA	TANGGAL	TANDA TANGAN
<u>Dr. H. Mahsun, M.Ag.</u> Ketua Sidang	<u>15-12-2022</u>	
<u>Dr. Amir Tajrid, M.Ag.</u> Sekretaris Sidang	<u>14-12-2022</u>	
<u>Prof. Dr. Muslich Shabir, MA.</u> Penguji Utama 1	<u>14-12-2022</u>	
<u>Dr. Ahmad Izzuddin, M.Ag.</u> Penguji Utama 2	<u>14-12-2022</u>	

NOTA PEMBIMBING

NOTA DINAS

Semarang, 30 November 2022

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Syari'ah dan Hukum

UIN Walisongo Semarang

Di Semarang

Assalamu'alaikum wr.wb.

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

Nama : Khotibul Umam

NIM : 2002048022

Program Studi : Magister Ilmu Falak

Judul : **Reformulasi Metode Hisab Gerhana Matahari Global Saat Awal dan Akhir Umbra dalam Kitab *al-Durru al-Aniq***

Kami memandang bahwa tesis tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Syari'ah dan Hukum UIN Walisongo untuk diujikan dalam siding ujian tesis.

Wassalamu'alaikum wr.wb.

Pembimbing I



Dr. H. Mahsun, M.Ag.

NIP: 196711132005011001

NOTA DINAS

Semarang, 30 November 2022

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Syari'ah dan Hukum

UIN Walisongo Semarang

Di Semarang

Assalamu'alaikum wr.wb.

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

Nama : Khotibul Umam

NIM : 2002048022

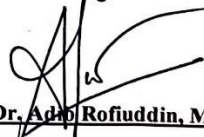
Program Studi : Magister Ilmu Falak

Judul : **Reformulasi Metode Hisab Gerhana Matahari Global Saat Awal dan Akhir Umbra dalam Kitab *al-Durru al-Aniq***

Kami memandang bahwa tesis tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Syari'ah dan Hukum UIN Walisongo untuk diujikan dalam siding ujian tesis.

Wassalamu'alaikumm wr.wb.

Pembimbing II



Dr. Adnan Rofiuddin, M.S.I.

NIP: 198911022018011001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama lengkap : **Khotibul Umam**
NIM : 2002048022
Judul Penelitian : **Reformulasi Metode Hisab Gerhana Matahari Global Saat Awal dan Akhir Umbra dalam Kitab *al-Durru al-Anīq***
Program Studi : Magister Ilmu Falak
Konsentrasi : -

menyatakan bahwa tesis yang berjudul:

REFORMULASI METODE HISAB GERHANA MATAHARI GLOBAL SAAT AWAL DAN AKHIR UMBRA DALAM KITAB *AL-DURRU AL-ANĪQ*

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

Semarang, 30 November 2022



Pembuat pernyataan,

Khotibul Umam
NIM: 2002048022

ABSTRAK

Judul : **Reformulasi Metode Hisab Gerhana Matahari Global Saat Awal dan Akhir Umbra dalam Kitab *al-Durru al-Anīq***

Penulis : Khotibul Umam

NIM : 2002048022

Gerhana Matahari global memberikan informasi jalur gerhana yang terjadi di seluruh permukaan Bumi. Akurasi hasil hisab kitab *al-Durru al-Anīq* jika dibandingkan dengan NASA di setiap fase gerhana terbagi menjadi dua: *pertama* selisih dalam orde detik untuk awal dan akhir penumbra serta puncak gerhana, *kedua* selisih dalam orde menit (1-3 menit 12 detik) untuk awal dan akhir umbra di beberapa kasus. Studi ini dimaksudkan untuk menjawab pertanyaan: (1) Bagaimana akurasi perhitungan gerhana Matahari global saat awal dan akhir umbra dalam kitab *al-Durru al-Anīq*? (2) Bagaimana reformulasi akurasi algoritma gerhana Matahari global saat awal dan akhir umbra? Permasalahan ini dibahas melalui studi pustaka dan komparasi antara kitab dengan hasil reformulasi dan NASA sebagai acuan akurasi. Data yang diperoleh diolah untuk membuat reformulasi algoritma yang berfungsi untuk meningkatkan akurasi hasil hisab.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa: (1) Akurasi hisab gerhana Matahari global saat awal dan akhir umbra di beberapa kasus tidak akurat karena memiliki selisih dalam orde menit yang disebabkan kurangnya iterasi dan logika penggunaan tmu^3 . (2) Reformulasi memanfaatkan data koordinat puncak gerhana dan melakukan iterasi 3 kali serta menambah logika penggunaan tmu^3 . Tipe gerhana Matahari cincin memiliki selisih terbesar 3 menit 12 detik, setelah direformulasi menjadi 6 detik. Selisih terbesar untuk tipe gerhana Matahari total yaitu 1 menit 35 detik, setelah direformulasi memiliki selisih 27 detik. Sedangkan tipe gerhana Matahari *hybrid* memiliki selisih 1 menit 4 detik, kemudian menjadi 25 detik setelah dilakukan reformulasi.

Kata kunci: kitab *al-Durru al-Anīq*, reformulasi, gerhana Matahari global

ABSTRACT

Title : **Reformulation of the Global Solar Eclipse Reckoning Method at the Beginning and the End of the Umbra According to *al-Durru al-Anīq***
Author : Khotibul Umam
NIM : 2002048022

Global solar eclipses provide data or information on the path of eclipses across the earth's surface. When compare to NASA, the accuracy of the reckoning results of the book *al-Durru al-Anīq* in each phase of the eclipse is divided in two : the first is the difference in the order of seconds for the beginning and end of the panumbra and the peak of the eclipse, and the second is the difference in the order of minutes (1-3 minutes 12 seconds) for the early and late umbra in some cases. This research aims to provide answers to the following questions: (1) How accurate is the calculation of global solar eclipses at the beginning and end of the umbra in the book *al-Durru al-Anīq*? (2) How to reformulate the accuracy of the global solar eclipse algorithm at the beginning and end of the umbra? This problem is discussed through literature studies and comparisons between the book and the reformulation results and NASA as a reference for accuracy. The data obtained is processed to create an algorithm reformulation that functions to improve the accuracy of the reckoning results.

The results of this study indicate that: (1) The accuracy of calculating global solar eclipses at the beginning and end of the umbra is in some cases inaccurate because it has a difference of the order of minutes due to lack of iteration and logic of using *tmu3*. (2) The reformulation utilizes the eclipse peak coordinate data and iterates 3 times and adds the logic for using *tmu3*. The ring solar eclipse type has the biggest difference of 3 minutes 12 seconds, after being reformulated it becomes 6 seconds. The biggest difference for the type of total solar eclipse is 1 minute 35 seconds, after being reformulated it has a difference of 27 seconds. While the type of hybrid solar eclipse has a difference of 1 minute 4 seconds, then it becomes 25 seconds after the reformulation is carried out.

Keywords: *al-Durru al-Anīq*, reformulation, global solar eclipse

ملخص

العنوان : إعادة الصياغة في حساب الكسوف الشمس العالمي في بداية ونهاية الكسوف الحقيقي في كتاب الدر الأنيق

إسم الطالب : خطيب الأمم

رقم الطالب : ٢٠٠٢٠٤٨٠٢٢

يوفر كسوف الشمس العالمي معلومات عن مسار الكسوف الذي يحدث عبر سطح الأرض. تنقسم دقة نتائج الحساب في كتاب الدر الأنيق بالمقارنة مع ناسا في كل مرحلة من مراحل الكسوف إلى قسمين : الأول، الفرق بالتواني لبداية ونهاية الكسوف الشبهي ووسط الكسوف، والثاني، الفرق بالدقائق (١-٣ دقائق و ١٢ ثانية) لبداية ونهاية الكسوف الحقيقي في بعض الحالات. تهدف هذه الدراسة لهجاءة الأسئلة: (١) كيف دقة حساب الكسوف الشمس العالمي لبداية ونهاية الكسوف الحقيقي في كتاب الدر الأنيق؟ (٢) كيف يتم إعادة صياغة دقة خوارزمية كسوف الشمس العالمي لبداية ونهاية الكسوف الحقيقي؟ تمت مناقشة هذه المشكلة من خلال الدراسات الأدبية والمقارنات بين كتب الدر الأنيق و نتائج إعادة الصياغة ووكالة ناسا كمرجع للدقة. تتم معالجة البيانات التي تم الحصول عليها لإنشاء إعادة صياغة الخوارزمية التي تعمل على تحسين دقة نتائج الحساب.

تشير نتائج هذه الدراسة إلى أن: (١) دقة حساب كسوف الشمس العالمي في بداية ونهاية الكسوف الحقيقي في بعض الحالات غير دقيقة لأن لديهم اختلافات في ترتيب الدقائق بسبب نقص التكرار ومنطق استخدامتستخدم tmu3. (٢) إعادة الصياغة بيانات إحداثيات وسط الكسوف وتكرر ٣ مرات وتضيف منطق استخدام tmu3. يتميز نوع الكسوف الحلقي المركزي بأكبر فرق قدره ٣ دقائق و ١٢ ثانية، بعد إعادة الصياغة إلى ٦ ثوان. أكبر فرق في نوع الكسوف الكلي المركزي هو دقيقة و ٣٥ ثانية، بعد إعادة الصياغة بفارق ٢٧ ثانية. أكبر فرق في نوع الكسوف الهجين المركزي هو دقيقة و ٤ ثوان، ثم إلى ٢٥ ثانية بعد إعادة الصياغة.

الكلمات المفتاحية: كتاب الدر الأنيق ، إعادة الصياغة ، كسوف الشمس العالمي

TRANSLITERASI

Pedoman transliterasi Arab-Latin yang digunakan merupakan hasil Surat Keputusan Bersama (SKB) Menteri Agama No. 158 Tahun 1987 dan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan R. I. No. 0543b/U/1987.

A. Konsonan

Daftar huruf bahasa Arab dan transliterasinya ke dalam huruf Latin dapat dilihat dalam tabel berikut:

Huruf Arab	Nama	Huruf Latin	Nama
ا	<i>Alif</i>	Tidak dilambangkan	Tidak dilambangkan
ب	<i>Ba</i>	B	Be
ت	<i>Ta</i>	T	Te
ث	<i>Sa</i>	Š	Es (dengan titik di atas)
ج	<i>Jim</i>	J	Je
ح	<i>Ha</i>	Ḥ	Ha (dengan titik di bawah)
خ	<i>Kha</i>	Kh	Ka dan ha
د	<i>Da</i>	D	De
ذ	<i>Za</i>	Ẓ	Zet (dengan titik di atas)
ر	<i>Ra</i>	R	Er
ز	<i>Zai</i>	Z	Zet

س	<i>Sin</i>	S	Es
ش	<i>Syin</i>	Sy	Es dan ye
ص	<i>Sad</i>	Ş	Es (dengan titik di bawah)
ض	<i>Dad</i>	Ḍ	De (dengan titik di bawah)
ط	<i>Ta</i>	Ṭ	Te (dengan titik di bawah)
ظ	<i>Za</i>	Ẓ	Zet (dengan titik di bawah)
ع	<i>'Ain</i>	' _	Apostrof terbalik
غ	<i>Gain</i>	G	Ge
ف	<i>Fa</i>	F	Ef
ق	<i>Qaf</i>	Q	Qi
ك	<i>Kaf</i>	K	Ka
ل	<i>Lam</i>	L	El
م	<i>Mim</i>	M	Em
ن	<i>Nun</i>	N	En
و	<i>Wau</i>	W	We
ه	<i>Ha</i>	H	Ha
ء	<i>Hamzah</i>	' _	Apostrof
ي	<i>Ya</i>	Y	Ye

Hamzah (ء) yang terletak di awal kata mengikuti vokalnya tanpa diberi tanda apapun. Jika ia terletak di tengah atau di akhir, maka ditulis 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
◌َ	<i>Faṭḥah</i>	A	A
◌ِ	<i>Kasrah</i>	I	I
◌ُ	<i>Dammah</i>	U	U

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

Tanda	Nama	Huruf Latif	Nama
◌َئِ	<i>Faṭḥah dan ya</i>	Ai	A dan I
◌َؤُ	<i>Faṭḥah 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
◌َ ... ا	<i>Faṭḥah 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. *Ta Marbūṭah*

Transliterasi untuk *ta marbūṭah* ada dua, yaitu: *ta marbūṭah* yang hidup atau memiliki harakat *fathah*, *kasrah*, atau *ḍammah* menggunakan transliterasi [t], sedangkan *ta marbūṭah* yang mati atau berharakat *sukun* menggunakan transliterasi [h].

E. *Syaddah*

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

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

F. *Kata Sandang*

Kata sandang dalam sistem tulisan Arab dilambangkan dengan huruf *alif lam ma'arifah* (ﻻ). 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 (-).

G. *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 tidak dilambangkan, karena dalam tulisan Arab ia berupa *alif*.

H. 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 satu rangkaian teks Arab, maka harus ditransliterasi secara utuh.

I. *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 marbūṭah* di akhir kata yang disandarkan pada *lafz al-jalālah* ditransliterasi dengan huruf [t].

J. Huruf Kapital

Walau sistem 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 (A1-) apabila berada di awal kalimat.

KATA PENGANTAR

Puji syukur *Alhamdulillah*, atas segala nikmat dan kasih sayang-Nya yang telah diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul ***Reformulasi Metode Hisab Gerhana Matahari Global Saat Awal dan Akhir Umbra dalam Kitab al-Durru al-Anīq***. Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Magister Ilmu Falak Fakultas Syari'ah dan Hukum UIN Walisongo Semarang.

Penulis banyak mendapatkan bimbingan dan saran-saran dari berbagai pihak sehingga tesis ini dapat terselesaikan. Untuk itu penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. H. Mahsun, M.Ag. dan Bapak Dr. Adib Rofiuddin, M.S.I. selaku Dosen Pembimbing serta Kajur S2 Ilmu Falak yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk membimbing dan mengarahkan dalam penyusunan tesis ini.
2. KH. Ahmad Ghozali selaku pengarang kitab *al-Durru al-Anīq* yang telah memberikan izin untuk mengkaji karyanya. Terima kasih kepada Ust. Ismail yang selalu meluangkan waktu dan menjadi penyambung antara penulis dengan pengarang kitab *al-Durru al-Anīq*.
3. Bapak Dr. M. Irfan Hakim, Dr. Ing. Khafid, Dr. Eng. Rinto Anugraha, Mas Andi Pangerang (LAPAN), dan Pak Wasil

yang telah meluangkan waktunya untuk berdiskusi dan berbagi ilmu guna terselesainya penelitian ini.

4. Yang terhormat Dr. KH. Mohamad Arja Imroni, M.Ag. selaku Dekan Fakultas Syari'ah dan Hukum UIN Walisongo Semarang.
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. Kedua orang tua Bapak Ach. Munasit dan Ibu Khalilah yang selalu memberikan *support system*.
7. Semua pihak yang tak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah membantu terselesainya tesis ini.

Semoga amal kebaikan mereka menjadi salah satu perantara menuju rida-Nya. Penulis menyadari bahwa tesis ini belum sempurna. Oleh karenanya, penulis sangat berharap kritik dan saran yang konstruktif dari para pembaca. Semoga tesis ini bermanfaat bagi kita semua.

Semarang, 01 Desember 2022

Penulis



Khotibul Umam

DAFTAR ISI

MOTTO	i
PERSEMBAHAN	ii
PENGESAHAN	iii
NOTA PEMBIMBING	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
ملخص	ix
TRANSLITERASI	x
KATA PENGANTAR	xvi
DAFTAR ISI	xviii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR GAMBAR	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	10
C. Tujuan Penelitian.....	11
D. Kajian Pustaka.....	11
E. Metode Penelitian.....	17
F. Sistematika Pembahasan	20
BAB II TINJAUAN UMUM TENTANG GERHANA MATAHARI	22
A. Pengertian.Gerhana Matahari	22

B.	Gerhana dalam Tinjauan Fikih	25
C.	Gerhana Perspektif Astronomi	30
D.	Gerhana Matahari Global	35
BAB III METODE HISAB GERHANA MATAHARI GLOBAL DALAM KITAB <i>AL-DURRU AL-ANĪQ</i>		42
A.	Biografi KH. Ahmad Ghozali!	42
B.	Tinjauan Umum Kitab <i>al-Durru al-Anīq</i>	45
C.	Algoritma Metode Hisab Gerhana Matahari Global dalam Kitab <i>al-Durru al-Anīq</i>	47
D.	Analisis Metode Hisab Gerhana Matahari Global dalam Kitab <i>al-Durru al-Anīq</i>	66
BAB IV REFORMULASI HISAB GERHANA MATAHARI GLOBAL SAAT AWAL DAN AKHIR UMBRA.....		79
A.	Algoritma Reformulasi Hisab Gerhana Matahari Global Saat Awal dan Akhir Umbra	79
B.	Analisis Akurasi Hisab Gerhana Matahari Global Saat Awal dan Akhir Umbra	93
BAB V PENUTUP		113
A.	Kesimpulan.....	113
B.	Saran.....	114
C.	Penutup.....	114
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN-LAMPIRAN		
RIWAYAT HIDUP		

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jumlah Gerhana.....	35
Tabel 3. 1 Ellipsoid Bumi.....	71
Tabel 3. 2 Elemen Bessel	74
Tabel 3. 3 Elemen Bessel	75
Tabel 3. 4 Elemen Bessel	75
Tabel 3. 5 Komparasi Algoritma Kitab al-Durru al-Anīq dengan Jean Meeus	77
Tabel 4. 1 Hasil Hisab Gerhana Matahari Total.....	94
Tabel 4. 2 Hasil Reformulasi Hisab Gerhana Matahari Total	94
Tabel 4. 3 Hasil Hisab Gerhana Matahari Total.....	96
Tabel 4. 4 Hasil Reformulasi Hisab Gerhana Matahari Total	96
Tabel 4. 5 Hasil Hisab Gerhana Matahari Total.....	98
Tabel 4. 6 Hasil Reformulasi Hisab Gerhana Matahari Total	98
Tabel 4. 7 Hasil Hisab Gerhana Matahari Cincin.....	100
Tabel 4. 8 Hasil Reformulasi Hisab Gerhana Matahari Cincin.....	100
Tabel 4. 9 Hasil Hisab Gerhana Matahari Cincin.....	102
Tabel 4. 10 Hasil Reformulasi Hisab Gerhana Matahari Cincin	102
Tabel 4. 11 Hasil Hisab Gerhana Matahari Cincin.....	104
Tabel 4. 12 Hasil Reformulasi Hisab Gerhana Matahari Cincin	104
Tabel 4. 13 Hasil Hisab Gerhana Matahari Hybrid	107
Tabel 4. 14 Hasil Reformulasi Hisab Gerhana Matahari Hybrid	107
Tabel 4. 15 Hasil Hisab Gerhana Matahari Hybrid	108
Tabel 4. 16 Hasil Reformulasi Hisab Gerhana Matahari Hybrid	108
Tabel 4. 17 Hasil Hisab Gerhana Matahari Hybrid	110
Tabel 4. 18 Hasil Reformulasi Hisab Gerhana Matahari Hybrid	111

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Titik Simpul.....	23
Gambar 2. 2 Geometri of a Total Solar Eclipse	37
Gambar 2. 3 Geometri of a Annular Solar Eclipse.....	38
Gambar 2. 4 Road Atlas for Annular Solar Eclipse, 14 Oktober 2023.....	39
Gambar 2. 5 Atlas Gerhana Annular 14 Oktober 2023	41
Gambar 3. 1 Ellipsoid Bumi.....	70
Gambar 3. 2 Bidang Fundamental.....	72
Gambar 3. 3 Bidang Fundamental.....	73
Gambar 4. 1 Peta Jalur Gerhana Total.....	95
Gambar 4. 2 Peta Jalur Gerhana Total.....	97
Gambar 4. 3 Peta Jalur Gerhana Total.....	99
Gambar 4. 4 Map Jalur Gerhana Annular	101
Gambar 4. 5 Map Jalur Gerhana Annular	103
Gambar 4. 6 Map Jalur Gerhana Annular	105
Gambar 4. 7 Map Jalur Gerhana Hybrid	106
Gambar 4. 8 Map Jalur Gerhana Hybrid	109
Gambar 4. 9 Map Jalur Gerhana Hybrid	110

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Matahari merupakan pusat tata surya, setiap hari selalu menyinari bumi memberikan kehidupan. Selain itu, Matahari sebagai penanda waktu dan penunjuk arah mata angin bagi tempat selain di dekat area kutub utara maupun kutub selatan. Namun terkadang Matahari tidak terlihat seperti biasanya pada saat *ijtimā'* (konjungsi) di siang hari atau sebelum Matahari terbenam¹, Bumi terlihat gelap di siang hari walaupun kondisi langit cerah, inilah yang dinamakan gerhana Matahari yang merupakan salah satu fenomena alam di siang hari. Di malam hari pun juga terdapat fenomena yang sama yaitu gerhana Bulan pada saat *istiqbāl* (oposisi).

Gerhana banyak menimbulkan mitos yang bermunculan di kalangan masyarakat, salah satu mitos yang diyakini, bahwa terjadinya gerhana karena Bulan sedang ditelan oleh Batarakala atau juga disebut Buto Ijo, atau kepercayaan lain bahwa ketika terjadi gerhana, orang hamil dilarang keluar rumah karena akan

¹ *Ijtimā'* terdapat dua kemungkinan seperti halnya dalam awal bulan Kamariah, yaitu *ijtimā'* sebelum Matahari terbenam dan *ijtimā'* sesudah Matahari terbenam. Lihat Ahmad Adib Rofiuddin, "Penentuan Hari dalam Sistem Kalender Hijriah," *al-Ahkam* 26 (2016): 120.

berdampak negatif bagi anaknya.² Gerhana berkonotasi sebagai kesuraman sesaat. Padahal gerhana jika dilihat dari segi astronomi merupakan tertutupnya arah pandang pengamatan benda langit oleh benda langit yang lainnya yang lebih dekat dengan pengamat.³ Hal itu menjadi pemahaman masyarakat secara umum meskipun sampai saat ini masih ada beberapa masyarakat yang menganggap sebagai mitos.

Gerhana Matahari terjadi pada saat *ijtimā'* (konjungsi), dimana pada saat itu Bulan dan Matahari berada di salah satu titik simpul atau di dekatnya. Sedangkan gerhana Bulan akan terjadi pada saat *istiqbāl* (oposisi), dimana bulan berada pada salah satu titik simpul lainnya yang di dekatnya, sementara Matahari berada pada jarak bujur astronomi 180° dan posisi Bulan.⁴ Jika Bulan dan Matahari berada di dekat arah titik simpul yang sama maka akan terjadi fenomena gerhana Matahari, apabila Bulan dan Matahari berada di arah titik simpul yang bersebrangan akan terjadi gerhana Bulan. Jika dilihat skala waktu, maka membutuhkan skala waktu yang panjang, yang mana panjang siklus Matahari dari titik simpul

² Muhammad Hadi Bashori, *Pengantar Ilmu Falak*, (Jakarta Timur: Pustaka Al-Kautsar, 2015), 237.

³ Slamet Hambali, *Pengantar Ilmu Falak*, (Yogyakarta: Bismillah Publisher, 2012), 228-229.

⁴ Muhyiddin Khazin, *Ilmu Falak; dalam teori dan praktik*, (Yogyakarta: Buana Pustaka, 2004), 187.

ke titik simpul yang sama rata-rata 346.62 hari. Siklus tersebut dinamakan satu tahun gerhana.⁵

Fenomena gerhana dilihat dari kaca mata fikih hisab rukyat, kiranya dalam persoalan gerhana ini baik gerhana Matahari ataupun gerhana Bulan, tidak terlihat ada perdebatan antara kubu hisab dan kubu rukyat yang biasa dikenal dengan sebutan *mazhab* hisab dan *mazhab* rukyat, seharusnya mereka juga ada dalam persoalan gerhana. Dalam hal ini diketahui kalau *mazhab* hisab di simbolkan dengan hasil hisab mereka tentang waktu terjadinya gerhana, sedangkan *mazhab* rukyat di simbolkan dengan hasil mereka melihat gerhana.⁶

Perhitungan gerhana sudah ada sekitar 721 SM., dimana orang Babilonia telah berhasil membuat perhitungan tentang siklus terjadinya gerhana yang disebut dengan siklus *saros*. Dari sini jelas bahwa dalam hal hisab dan rukyat mengenai gerhana Matahari maupun gerhana Bulan tidak mengalami suatu permasalahan antara mazdhab hisab dan mazdhab rukyat, bahkan mazdhab tersebut terkesan tidak ada. Karena keduanya nampak adanya simbiosis mutualisme. Hal itu dapat diketahui berdasarkan penjelasan secara logis, yang pertama semua benda langit yang

⁵ Hambali, *Pengantar Ilmu Falak*, 230.

⁶ Ahmad Izzuddin, *Ilmu Falak Praktis; metode hisab-rukyat praktis dan solusi permasalahannya*, (Semarang: PT. Pustaka Rizki Putra, 2012), 106.

berada di antara Matahari, yang diterangi olehnya maka masing-masing benda tersebut akan mempunyai bayangan yang akan menuju ke dalam ruang angkasa jauh dari Matahari. Kedua, fenomena gerhana secara umum adalah suatu peristiwa jatuhnya bayangan benda langit ke dalam benda langit yang lain, yang pada saat itu bayangan benda tersebut menutupi piringan Matahari, sehingga benda langit itu kejatuhan bayangan benda langit lainnya, maka tidak bisa menerima sinar Matahari.⁷

Mengenai gerhana Matahari yang terbilang lebih menarik daripada gerhana Bulan, karena gerhana Matahari terjadi apabila Bulan menutupi piringan Matahari, sehingga sebagian tempat di Bumi tidak memperoleh cahaya Matahari. Dapat dikatakan bahwa pada saat itu Matahari, Bulan, dan Bumi berada dalam satu garis. Gerhana Matahari ini tentunya terjadi pada siang hari pada fase Bulan baru. Berbeda dengan gerhana Bulan, gerhana Matahari hanya dapat terlihat di beberapa daerah tertentu di permukaan Bumi.⁸

Macam-macam gerhana Matahari, diantaranya gerhana Matahari sebagian yang terjadi apabila sebagian Bulan menghalangi cahaya Matahari. Gerhana Matahari total dialami

⁷ Izzuddin, *Ilmu Falak Praktis*, 106-107.

⁸ Adriana Wisni Ariasti, dkk, *Perjalanan Mengenal Astronomi*, (Bandung: Penerbit ITB, 1995), 35.

pada daerah di Bumi yang masuk pada umbra yaitu seluruh cahaya Matahari terhalang Bulan. Pada daerah penumbra terjadi gerhana sebagian. Apabila daerah umbra tidak sampai pada permukaan Bumi maka akan terjadi gerhana cincin. Hal ini dapat terjadi karena jarak Bumi-Bulan tidak selalu sama tetapi berubah-ubah. Jadi panjang kerucut umbra juga bervariasi sesuai dengan perubahan jarak Bumi-Bulan. Ini juga yang dapat mengakibatkan luas daerah gerhana pada permukaan Bumi bervariasi. Lebar daerah gerhana total yang disapu oleh bayangan Bulan dapat mencapai 300 km.⁹

Suatu tempat di permukaan Bumi yang dapat mengamati gerhana Matahari berupa gerhana total, parsial atau cincin. Namun jika kita tinjau sebuah gerhana Matahari untuk bumi secara umum, sesungguhnya ada enam tipe gerhana: (1) Tipe P (tipe gerhana Matahari parsial), (2) Tipe T (tipe gerhana Matahari total), (3) Tipe A (tipe gerhana Matahari cincin), (4) Tipe A-T (tipe gerhana Matahari cincin-total), (5) T (gerhana non-sentral total), (6) A (gerhana non-sentral cincin). Tipe gerhana yang paling sering muncul adalah tipe P, T dan A. Ketika sebuah gerhana Mathari bukan gerhana sentral, tipe yang paling sering muncul adalah tipe P. Perlu diketahui bahwa gerhana Matahari total maupun cincin terlihat sebagai gerhana total atau gerhana cincin hanya dari lintasan yang cukup sempit (lintasan geris sentral) di permukaan

⁹ Ariasti, dkk., *Perjalanan Mengenal*, 35-36.

Bumi. Sebelah utara maupun selatan lintasan tersebut, sebagian besarnya hanya dapat menyaksikan gerhana parsial.¹⁰

Secara umum gerhana Matahari dapat terjadi 2 sampai 5 kali dalam satu tahun, akan tetapi seperti yang dipaparkan di atas bahwa yang dapat menyaksikan hanyalah beberapa tempat di permukaan Bumi saja. Sedangkan untuk gerhana Bulan dapat terjadi 2 sampai 3 kali dalam setahun dan dapat disaksikan oleh seluruh penduduk bumi yang menghadap Bulan. Sekalipun demikian, bisa saja tidak pernah terjadi gerhana Bulan sama sekali dalam satu tahun.¹¹ Maka dari itu sangatlah penting untuk penulis bahas karena tidak semua tempat di Bumi kebagian fenomena ini, bersyukur Indonesia menjadi salah satu jalan gerhana Matahari. Ada beberapa data yang pernah tercatat, diantaranya, pada tanggal 5 Februari 1962, terjadi gerhana total, tanggal 23 November 1965, terjadi gerhana cincin, tanggal 18 Maret 1969, terjadi gerhana cincin, tanggal 11 Juni 1983, terjadi gerhana total, dan yang terbaru pada tanggal 09 Maret 2016, terjadi gerhana total.

Kitab *al-Durru al-Anīq* merupakan salah satu karya KH. Ahmad Ghozali, hasil ikhtiar untuk berbagi informasi tentang praktik fikih astronomi dalam hal penyajian data-data astronomi

¹⁰ Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*, (Yogyakarta: FMIPA UGM, 2012), 126-127.

¹¹ Khazin, *Ilmu Falak; dalam*, 188.

Bulan dan Matahari untuk kepentingan *rukyatul hilāl*, *rukyatul kusūf* dan *rukyatul khusūf*. Kitab itu membahas tentang Awal Bulan Hijriyah, Gerhana Bulan, dan Gerhana Matahari yang termasuk hisab *Haqīqī bi al-Tadqīq* atau kontemporer karena sudah menggunakan data dan perhitungan yang kompleks, sehingga hasilnya akurat.¹² Bahasa yang digunakan adalah bahasa Arab yang memiliki nilai lebih untuk masuk di kalangan pesantren salaf, namun bagi yang kurang memahami bahasa Arab bisa menggunakan rumusnya saja dengan bantuan gambar di setiap pembahasan, sehingga kitab ini bisa digunakan oleh semua kalangan.

Gerhana Matahari yang dibahas dalam kitab *al-Durru al-Anīq* ada dua yaitu, gerhana Matahari lokal dan gerhana Matahari global.¹³ Gerhana Matahari lokal digunakan untuk mengetahui terjadi atau tidaknya gerhana di suatu tempat serta kontak gerhananya. Sedangkan gerhana Matahari global bertujuan untuk mengetahui jalur gerhana atau untuk memprediksi waktu dan koordinat tempat yang dilewati bayangan penumbra dan umbra.

Salah satu kelebihan dari kitab tersebut dalam melakukan proses perhitungan bisa menggunakan *scientific calculator* yang

¹² Ahmad Ghozali, *al-Durru al-Anīq*, Sampang: LAFAL (Lajnah Falakiyah Lanbulan), Cet. II, 1437 H., 4.

¹³ Ghozali, *al-Durru al-Anīq*, 53.

merupakan alat bantu hitung paling sederhana dengan akurasi yang akurat. Proses perhitungan sudah menggunakan data *elemen besse* seperti yang digunakan oleh NASA dan Jean Meeus dalam bukunya *Elements of Solar Eclipses 1951-2200* yang merupakan data akurat sampai saat ini untuk data hisab gerhana.

Selain data *elemen besse*, dalam kitab *al-Durru al-Anīq* juga menyediakan rumus delta T yang merupakan selisih dari waktu TD (*Dynamical Time*) dengan waktu UT (*Universal Time*) untuk mengetahui waktu terjadinya gerhana. Selain itu terdapat kaidah-kaidah yang digunakan dalam rumus seperti, kaidah (a) = 6378137, kaidah (b) = 6356752, dan kaidah (c) = 0.0066944782.¹⁴ Kaidah-kaidah tersebut bersumber dari *World Geodetic System – 1984* yang dikenal dengan sebutan WGS-84 yang menjadi acuan bentuk ellipsoid Bumi sampai saat ini. Teori geodesi terlihat pada system yang digunakan oleh GPS dan software GE.

Penulis menggunakan hasil perhitungan dari NASA¹⁵ yang diambil dari *website* <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/> sebagai acuan

¹⁴ Ghozali, *al-Durru al-Anīq*, 55.

¹⁵ *National Aeronautics and Space Administration* adalah program luar angkasa sipil Amerika dan pemimpin global dalam eksplorasi ruang angkasa. Badan ini memiliki tenaga kerja yang beragam yang terdiri dari kurang dari 18.000 pegawai negeri, dan bekerja dengan lebih banyak lagi kontraktor, akademisi, dan mitra komersial dan internasional AS untuk mengeksplorasi, menemukan, dan memperluas pengetahuan demi kepentingan umat manusia. Di 20 pusat dan fasilitasnya di seluruh negeri - dan satu-satunya Laboratorium Nasional

akurasi karena sudah diakui keakuratannya dan sering dijadikan rujukan oleh para astronom dunia. Koordinat Matahari yang digunakan dalam prediksi NASA didasarkan pada teori VSOP87¹⁶ dan koordinat Bulan didasarkan pada teori ELP-2000/82.¹⁷ Hasil perhitungan yang dirilis merupakan hasil komputasi NASA.

Hisab gerhana Matahari global termasuk hisab kontemporer yang menggunakan data akurat modern *elemen besel*. Akurasi yang penulis gunakan dalam penelitian ini yaitu *high accuracy* atau akurasi tinggi (akurat) dan *low accuracy* atau akurasi rendah (tidak akurat)¹⁸. Jika hasil perhitungan memiliki selisih dalam orde detik waktu maka akurat, jika selisihnya dalam orde menit maka tidak akurat.

di luar angkasa - NASA mempelajari Bumi, termasuk iklimnya, Matahari kita, tata surya kita, dan seterusnya. Kami melakukan penelitian, pengujian, dan pengembangan untuk memajukan aeronautika, termasuk propulsi listrik dan penerbangan supersonik. Lihat <https://www.nasa.gov/about/index.html>.

¹⁶ VSOP (*Variations Seculaires Des Orbites Planetaires*) ditulis oleh Bretagnon dan Francou pada tahun 1988. Lihat NASA, "Introduction", accessed August 1, 2022 M / 24 Rabiul Akhir 1444 H, <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEcat5/SEcatalog.html#3>.

¹⁷ EPL (*Ephemeride Lunaire Parisienne*) ditulis oleh Chapront-Touze dan Jean Chapront pada tahun 1983. Lihat NASA, "Introduction", accessed November 18, 2022 M / 24 Rabiul Akhir 1444 H, <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEcat5/SEcatalog.html#3>

¹⁸ Jean Meeus, *Astronomical Algorithms*, (Virginia: Willmann-Bell, Inc., 1998), 2nd Edition, 387.

Hasil perhitungan gerhana Matahari global kitab *al-Durru al-Anīq* termasuk *high accuracy* (akurat) untuk fase awal dan akhir penumbra dan *greatest eclipse* (puncak gerhana) karena selisih hanya di orde detik. Namun untuk gerhana Matahari sentral (total, cincin dan *hybrid*) tidak akurat karena awal dan akhir umbra memiliki selisih dalam orde menit (1-3 menit) di beberapa fenomena gerhana. Dampak ketidakakuratan tersebut menjadi masalah untuk kategori metode hisab kontemporer dan jalur gerhana umbra yang dihasilkan tidak sesuai atau salah.

Pemaparan di atas memotivasi penulis untuk melakukan reformulasi fase awal dan akhir umbra guna mencoba memperbaiki akurasi dari orde menit ke orde detik waktu. Dengan ini, metode hisab gerhana Matahari global membutuhkan pengkajian lebih mendalam terkait faktor-faktor yang mempengaruhi akurasi bervariasi. Untuk memecahkan hal tersebut penulis mengangkat judul ***Reformulasi Metode Hisab Gerhana Matahari Global saat Awal dan Akhir Umbra dalam Kitab al-Durru al-Anīq.***

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dari latar belakang di atas, penulis akan fokus terhadap pokok-pokok permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana akurasi perhitungan gerhana Matahari global saat awal dan akhir umbra dalam kitab *al-Durru al-Anīq*?

2. Bagaimana reformulasi akurasi algoritma gerhana Matahari global saat awal dan akhir umbra?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penulis yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui akurasi perhitungan dan faktor-faktor yang mempengaruhi hasil prediksi gerhana Matahari global saat awal dan akhir umbra dalam kitab *al-Durru al-Anīq*.
2. Untuk membrikan prediksi yang akurat dengan melakukan reformulasi algoritma hisab gerhana Matahari global saat awal dan akhir umbra.

D. Kajian Pustaka

Sebelum melakukan penelitian, penulis melakukan kajian dari berbagai hasil penelitian terdahulu guna melihat apakah materi yang penulis teliti sudah pernah dikaji sebelumnya atau tidak. Dari hasil pencarian penulis, belum menemukan penelitian tentang reformulasi hisab gerhana Matahari saat phase awal dan akhir umbra dalam kitab *al-Durru al-Anīq*. Adapun beberapa hasil penelitian terdahulu tentang gerhana, diantaranya:

M. Basthoni, *Karakteristik Data Ephemeris Gerhana Matahari Berbasis Jet Propulsion Laboratory NASA*, Tesis

Magister Ilmu Falak, UIN Walisongo Semarang tahun 2017.¹⁹ Tesis ini menjelaskan bahwa terdapat kesamaan antara seri DE yang satu dengan yang lain, yaitu pada interval 0,01 detik atau lebih kecil semua seri DE cenderung stabil pada nilai selisih tertentu. Lonjakan selisih akurasi terjadi pada interval data *ephemeris* 0,1 detik. Sedangkan di awal interval 1 detik ditemukan dua pola yaitu semua interval mempunyai selisih yang sama dan pola yang ke dua antara DE200 dan seri DE yang lain berbeda jauh selisih akurasinya. Sedangkan karakter akurasi DE405 sama dengan DE406 pada semua interval dalam peristiwa gerhana Matahari yang diuji pada penelitian tersebut. Seri DE200 pada interval setelah 1 detik (lebih kecil dari 1 detik) akurasinya untuk memprediksi waktu gerhana Matahari total atau cincin di kota tertentu selalu lebih baik dibandingkan dengan seri DE yang lain, kemudian disusun oleh DE421 dan yang terakhir adalah seri DE405 dan DE406. Persamaan dengan penelitian yang akan dilakukan penulis adalah objek kajian gerhana Matahari. Sedangkan letak perbedaannya penulis lebih fokus terhadap awal dan akhir umbra gerhana Matahari global dengan menggunakan algoritma dalam kitab *al-Durru al-Anīq*.

¹⁹ M. Basthoni, “Karakteristik Data *Ephemeris* Gerhana Matahari Berbasis *Jet Propulsion Laboratory* NASA”, (UIN Walisongo, 2017).

Alfan Maghfuri, “Akurasi Perhitungan Gerhana Matahari dengan Data *Ephemeris Hisab Rukyat*”. Dalam *Al-Afaq: Jurnal Ilmu Falak dan Astronomi* tahun 2020.²⁰ Perbandingan antara hasil perhitungan gerhana Matahari menggunakan data *Ephemeris Hisab Rukyat* dan prediksi dari NASA menunjukkan bahwa antara keduanya terpaut selisih yang bisa dibilang cukup besar. Selisih rata-rata terbesar ada pada gerhana total yang terjadi pada 9 Maret 2016 mencapai 15 menit. Sementara jika dilihat dari fase-fase terjadinya gerhana, pada fase selesainya gerhana sebagian yang terjadi pada 9 Maret 2016 menghasilkan selisih hingga 31 menit. Tentunya dengan selisih sebesar itu akan mengakibatkan gerhana Matahari yang terjadi sudah berubah ke fase selanjutnya dari apa yang ditunjukkan oleh prediksi dari *Ephemeris Hisab Rukyat*. Persamaan penelitian yang akan penulis lakukan yaitu suatu metode hisab gerhana Matahari yang dicocokkan dengan hasil prediksi NASA. Perbedaannya penulis menggunakan metode hisab gerhana Matahari global dalam kitab *al-Durru al-Anīq*.

Ehsan Hidayat, “Penentuan Jumlah Gerhana Matahari dengan Argumen Lintang Bulan dan Teori Aritmatika”. Dalam *Miyah: Jurnal Studi Islam* tahun 2020.²¹ Variasi jumlah gerhana

²⁰ Alfan Maghfuri, “Akurasi Perhitungan Gerhana Matahari dengan Data *Ephemeris Hisab Rukyat*” 2, (2020): 12.

²¹ Ehsan Hidayat, “Penentuan Jumlah Gerhana Matahari dengan Argumen Lintang Bulan dan Teori Aritmatika” 16, (2020): 91.

Matahari yang setiap tahun terjadi antara 2,3,4 dan 5 kali bisa digambarkan secara detail melalui keteraturan pola yang diberikan oleh nilai argumen lintang Bulan yang telah ditabelisasi di atas. Keterangan ini membantu orang-orang untuk bisa mengetahui adanya gerhana Matahari dengan cukup mengetahui data-data di *new moon* pertama suatu tahun dan selanjutnya bisa mengetahui jumlah gerhana yang terjadi apakah 2,3,4 dan atau 5 kali serta pada urutan *new moon*nya. Pendekatan aritmatika yang digunakan untuk menelisik keteraturan pola nilai argumen lintang Bulan sama dengan tradisi-tradisi ilmuwan astronomi masa lalu. Namun, Ehsan Hidayat memberi catatan pada kasus batas gerhana yang dijelaskan oleh Jean Meeus. Ada ketidakcocokan antara teori batas dengan hasil tabel yang dijumpai di *Element of Solar Eclipse*. Kasus tersebut terjadi pada interval batas 13,9 – 21. Tapi, secara keseluruhan tabel tersebut sudah layak digunakan sebagai informasi berapa jumlah gerhana yang terjadi di suatu tahun. Persamaan dengan penelitian yang akan penulis lakukan sama-sama membahas gerhana Matahari. Perbedaannya penulis akan fokus terhadap waktu atau kontak gerhana saat masuk phase awal dan akhir umbra.

Siti Lailatul Mukarromah, “*Perhitungan Gerhana Matahari dengan Algoritma NASA*”. Dalam Ulul Albab: Jurnal

Studi dan Penelitian Hukum Islam tahun 2019.²² NASA merupakan lembaga pemerintah Amerika Serikat yang bertugas dan bertanggungjawab atas program luar angkasa Amerika Serikat serta penelitian umum luar angkasa bagi masyarakat sipil, aeronautika, dan program kedirgantaraan. Terkait dengan perhitungan gerhana, Fred Espenak yang seorang pensiunan NASA yang memiliki tanggungjawab penuh atas segala keakurasian perhitungan yang ada. NASA memiliki dua sistem perhitungan gerhana Matahari yaitu gerhana Matahari global dan gerhana Matahari lokal. Perhitungan lokal, NASA menyediakan aplikasi software yang bernama javascrip. Sedangkang untuk perhitungan gerhana Matahari global NASA hanya menyajikan dalam bentuk data yang telah diproses tanpa memberikan algoritmanya. Persamaan penelitian ini dengan penelitian yang akan penulis lakukan yaitu gerhana Matahari global. Perbedaanya, penulis akan mereformulasi algoritma awal dan akhir umbra yang akurasiya tidak akurat.

Muhammad Farid Azmi, *“Menelidik Akurasi Hisab Gerhana Matahari dalam Kitab Al-Durru Al-Anīq”*. Dalam Al-Marshad: Jurnal Astronomi Islam dan Ilmu-ilmu Berkaitan tahun

²² Siti Lailatul Mukarromah, “Perhitungan Gerhana Matahari dengan Algoritma NASA” 2, (2019): 112-113.

2021.²³ Hisab gerhana Matahari dalam kitab *al-Durru al-Anīq* merupakan perhitungan berjenis *tahqīqī bi al-tadqīq* (kontemporer) berbasis data *element besselian*. Berdasarkan hasil penelitiannya, menunjukkan bahwa tingkat akurasi sangat tinggi, hanya mempunyai selisih dari kenyataan observasi sekitar 0 sampai 4 detik saja (orde detik). Hasil penelitian tersebut bersesuaian dengan kajian Lajnah Falakiyah PWNU Jawa Timur yang menyimpulkan bahwa kitab *al-Durru al-Anīq* memiliki akurasi sangat tinggi. Sehingga tidak heran jika kitab ini sangat populer dan sering digunakan para penggiat ilmu falak untuk memprediksi gerhana Matahari secara akurat dan tepat. Persamaan dengan penelitian yang akan penulis lakukan yaitu meneliti akurasi hisab gerhana Matahari yang ada dalam kitab *al-Durru al-Anīq*. Perbedaannya penulis fokus terhadap algoritma gerhana Matahari global sedangkan Muhammad Farid Azmi membahas gerhana Matahari lokal.

Berdasarkan hasil penelitian terdahulu di atas, tidak terdapat kesamaan kajian yang akan penulis diteliti melainkan hanya sama dari segi objeknya yaitu gerhana Matahari atau kitab *al-Durru al-Anīq*. Maka dari itu, sangatlah penting untuk dikaji

²³ Muhammad Farid Azmi, "Menelisis Akurasi Hisab Gerhana Matahari dalam Kitab *al-Durru al-Anīq*" 7, (2021): 64.

lebih mendalam terkait hisab gerhana Matahari global saat awal dan akhir umbra dalam kitab *al-Durru al-Anīq* yang tidak akurat.

E. Metode Penelitian

Untuk pengumpulan data, metode penelitian yang penulis pakai adalah sebagai berikut:

1. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan termasuk penelitian *library research* (penelitian kepustakaan) karena teknis penekanannya lebih pada kajian dokumen atau teks.²⁴ Pendekatan penelitian ini menggunakan transdisipliner karena gerhana Matahari sangat kompleks dengan melibatkan ilmu astronomi, geodesi, dan observasi.

2. Sumber Data

Penelitian ini menggunakan dua sumber data yaitu: *pertama* data primer²⁵ berupa kitab *al-Durru al-Anīq* yang merupakan karya KH. Ahmad Ghozali. Selain dokumen tersebut, penulis juga melakukan wawancara langsung ke rumahnya. *Kedua* data

²⁴ V. Wiratna Sujarweni, *Metodologi Penelitian Lengkap, Praktis, dan Mudah Dipahami*, (Yogyakarta: Pustaka Baru Press, 2014), 23.

²⁵ Data primer adalah data yang diperoleh langsung dari pihak yang diperlukan datanya. Lihat Kuntjojo, *Diktat Metodologi Penelitian*, (Kediri, 2009), 34.

sekunder²⁶ yang berhubungan dengan kajian ini terdapat beberapa dekumen, seperti “Elements of Solar Eclipses 1951-2200” karya Jean Meeus, “Prediction and Analysis of solar Eclipse Circumstances” karya Wentworth Williams, JR., “Mekanika Benda Langit” karya Rinto Anugraha, “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. dan juga dari beberapa kitab seperti “Irsyādu al-Murīd” dan “Jāmi’u al-Adillah ilā Ma’rifati Simt al-Qiblah” karya KH. Ahmad Ghozali, dan hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian penulis.

3. Fokus Penelitian

Penelitian ini memfokuskan pada kajian analisis gerhana Matahari global dalam kitab *al-Durru al-Anīq* sebagai data primer. Dalam kitab tersebut terdapat perhitungan awal dan akhir penumbra, awal dan akhir umbra, awal dan akhir sentral, dan puncak gerhana. Setelah dikomparasikan dengan hasil perhitungan NASA, untuk awal dan akhir umbra memiliki akurasi yang berbeda dengan fase gerhana yang lain, yaitu lebih dari satu menit.

²⁶ Data sekunder adalah data yang diperoleh langsung dari pihak yang diperlukan datanya. Lihat Kuntjojo, *Diktat Metodologi Penelitian*, 34.

Sehingga penelitian ini fokus terhadap algoritma awal dan akhir umbra.

4. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan adalah dokumentasi dan wawancara (*interview*).²⁷ Ada dua macam dokumen yang dikumpulkan, yaitu data primer kitab *al-Durru al-Anīq* dan data sekunder dari beberapa referensi buku, kitab serta hasil penelitian dan karya ilmiah lainnya. Dari dokumen-dokumen tersebut dipilih dan dipilah untuk ditelaah yang berkaitan dengan tema penelitian ini.

Selain dokumen, penulis juga melakukan wawancara dengan KH. Ahmad Ghozali selaku pengarang kitab *al-Durru al-Anīq* dan Ust. Ismail yang merupakan salah satu orang kepercayaannya untuk mendalami objek penelitian penulis. Disamping itu juga penulis melakukan wawancara baik langsung atau tidak dengan beberapa ahli atau tokoh falak.

5. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang penulis gunakan adalah deskriptif analisis model Miles dan Huberman dengan tiga alur, yaitu (1) reduksi data (*data reduction*), dari data dokumen dan wawancara

²⁷ Sujarweni, *Metodologi Penelitian*, 31-34.

dipilih dan dan dipilah sesuai dengan fokus penelitian penulis tentang gerhana Matahari global khusus saat awal dan akhir umbra yang memiliki akurasi tidak sama dengan fase gerhana yang lain dengan menggunakan narasi deskriptif; (2) penyajian data (*data display*), setelah dilakukan reduksi data kemudian penulis sajikan faktor-faktor yang mempengaruhi perbedaan akurasi saat fase awal dan akhir umbra dengan mengkomparasikan hasil perhitungan kitab dengan NASA dan kemudian dilakukan reformulasi algoritma untuk memecahkan masalah tersebut; dan (3) penarikan kesimpulan, melakukan reformulasi rumus, uji coba berkali-kali di beberapa kasus yang memiliki akurasi rendah dan dilakukan komparasi dengan hasil perhitungan NASA sehingga dapat diketahui perubahan akurasi yang lebih tinggi.²⁸

F. Sistematika Pembahasan

Dalam penelitian ini, penulis akan membuat lima bab yang mempunyai sub-sub, yaitu:

BAB I berisi pendahuluan. Dalam pendahuluan ini memaparkan latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan

²⁸ Mathew B. Miles dan Michael Huberman merupakan ahli Pendidikan di University of Geneva, Wsitzerland. Lihat Hardani, dkk., *Metode Penelitian Kualitatif & Kuantitatif*, (Yogyakarta: CV. Pustaka Ilmu Group, 2020), Cet. I, 163-173.

penelitian, manfaat penelitian, telaah pustaka, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II membahas tinjauan umum tentang gerhana Matahari meliputi pengertian gerhana, gerhana perspektif fikih dengan dalil al-Qur'an dan Hadis, gerhana perspektif astronomi meliputi tinjauan astronomi terjadinya gerhana, tipe serta fase gerhana, dan penjelasan gerhana Matahari global.

BAB III menjelaskan biografi singkat KH. Ahmad Ghozali, tinjauan umum kitab *al-Durru al-Anīq*, pemikiran KH. Ahmad Ghozali tentang gerhana Matahari global, algoritma gerhana Matahari global, dan analisis metode hisab gerhana Matahari global dalam kitab *al-Durru al-Anīq* meliputi teori dan sumber data yang digunakan, analisis perhitungan atau algoritma dan faktor-faktor yang mempengaruhi hasil perhitungan..

BAB IV membahas reformulasi hisab gerhana Matahari global saat awal dan akhir umbra dalam kitab *al-Durru al-Anīq* dengan menghitung puncak gerhana global, kemudian menghitung koordinat rektangular geosentrik pengamat sebelum melakukan iterasi untuk mendapatkan nilai tu' , dan menganalisis akurasi hasil reformulasi metode hisab gerhana Matahari global.

BAB V berisi penutup, memaparkan secara singkat kesimpulan dari hasil penelitian atau refleksi hasil analisis yang telah dilakukan, serta saran dan penutup.

BAB II TINJAUAN UMUM TENTANG GERHANA MATAHARI

A. Pengertian Gerhana Matahari

Penyebutan gerhana Matahari dan gerhana Bulan sama dalam bahasa Inggris *eclipse* atau *ekleipsis* (Yunani) atau *eklipsis* (Latin).¹ Istilah ini digunakan secara umum, baik gerhana Matahari maupun gerhana Bulan. Namun dalam penyebutannya, terdapat dua istilah, yaitu *eclipse of the sun* untuk gerhana Matahari, dan *eclipse of the moon* untuk gerhana Bulan.² Selain itu ada juga yang menggunakan kata *solar eclipse* untuk gerhana Matahari, dan *lunar eclipse* untuk gerhana Bulan.³

Gerhana dalam bahasa Arab dikenal dengan istilah *kusūf* atau *khusūf*. Istilah *kusūf* dan *khusūf* dapat digunakan untuk menyebut gerhana Matahari atau gerhana Bulan. Hanya saja, kata *kusūf* lebih dikenal untuk menyebut gerhana Matahari, sedangkan kata *khusūf* lebih dikenal untuk menyebut gerhana Bulan.⁴ Pemaknaan ini sesuai dengan pemaknaan yang ada dalam kamus al-Bisri. Dalam

¹ John M. Echols, *An Indonesian-English Dictionary*, Hassan Shadily, "Kamus Indonesia-Inggris", edisi ketiga, (Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama, 2003), Cet ke 9, 187. Atau lihat Hambali, *Pengantar Ilmu Falak ...* 228.

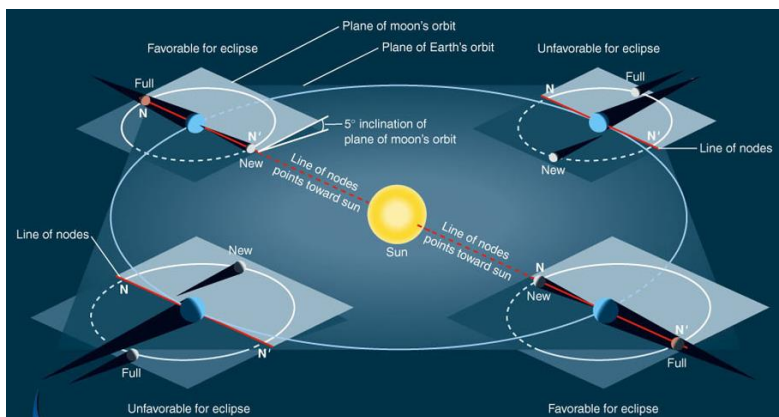
² Oxford, *Oxford Learner's Pocket Dictionary*, (New York: Oxford University Press, 2003), 137.

³ Soetjipto dkk, *Islam dan Ilmu Pengetahuan tentang Gerhana*, (Yogyakarta: LPPM IAIN Sunan Kalijaga, 1983), 1.

⁴ Muhyiddin Khazin, *Ilmu Falak dalam Teori dan Praktek*, (Yogyakarta: Buana Pustaka, 2008), Cet 3, 187.

kamus tersebut, gerhana Bulan diistilahkan dengan *khusūf al-Qamar*, sedangkan gerhana Matahari diistilahkan dengan *kusūf al-Syams*.⁵

Kusūf berarti menutupi, *kusūf al-Syams* adalah saat piringan Bulan menutupi piringan Matahari dilihat dari Bumi baik sebagian atau seluruhnya. Keadaan demikian ini akan terjadi pada fase Bulan mati atau *ijtimā'* serta posisi Matahari dan Bulan berada di sekitar titik simpul (node).⁶



Gambar 2. 1 Titik Simpul (sumber:

<https://www.webassign.net/seedfoundations10/ebook/chapter03/fig3-14.html>)⁷

⁵ Abis Bisri, dkk, *Kamus al-Bisri*, (Surabaya: Pustaka Progresif, 1999), Cet.I, 84.

⁶ Muhyidin Khazin, *Kamus Ilmu Falak*, (Jokjakarta: Buana Pustaka, 2005), 47.

⁷ Lihat Michael A. Seeds, “Foundations of Astronomy” accessed November 11, 2022 M / 17 Rabiul Akhir 1444 H, <https://www.webassign.net/seedfoundations10/ebook/chapter03/fig3-14.html>.

Gerhana merupakan peristiwa alam yang terjadi beberapa kali dalam setiap tahun. Beberapa hadis Nabi saw. menjelaskan bahwa peristiwa tersebut dinyatakan sebagai bagian dari tanda-tanda kebesaran Allah. Ada dua macam gerhana, yaitu gerhana Matahari yang dalam fikih disebut *kusūf* dan gerhana Bulan yang disebut *khusūf*. Gerhana Matahari lebih banyak disebut dibandingkan dengan gerhana Bulan. Memang di kalangan para astronom pun gerhana Matahari ini lebih menarik karena lebih langka dari pada gerhana Bulan.⁸

Bumi beredar mengelilingi Matahari dalam waktu satu tahun. Bersamaan dengan itu Bulan mengelilingi Bumi selama 29 hari.⁹ Hal ini mengakibatkan kedudukan Bumi dan Bulan relatif terhadap Matahari berubah setiap saat. Bulan beredar mengelilingi Bumi pada orbit berbentuk hampir lingkaran. Bidang orbit itu membentuk sudut sebesar 5.9 derajat¹⁰ dengan bidang edar Bumi mengelilingi Matahari (ekliptika). Jarak terjauh Bulan dari Bumi

⁸ Tim Majelis Tarjih dan Tajdid PP Muhammadiyah, *Panduan Hisab Muhammadiyah*, (Yogyakarta: Majelis Tarjih dan Tajdid PP Muhammadiyah, 2009), Cet. II, 95.

⁹ Menurut Saiyid Razvi dalam Kalender Hijriyah yang disusun al-Biruni disebutkan bahwa periode sinodis Bulan rata-rata adalah 29.5305555 hari, terjadi selisih 0.0000333 hari setiap bulan. Selisih ini menurut Saiyid Samad Razvi tidak begitu berarti karena baru selama 2500 tahun akan selisih 1 hari antara Kalender Hijriyah yang disusun oleh al-Biruni dan Kalender Hijriyah yang mendasarkan teori astronomi modern. Bisa dilihat di *Panduan Hisab Muhammadiyah*, 96.

¹⁰ Ada yang mengatakan sudut kemiringannya rata-rata 05 drj 08mnt, bisa dilihat di buku *Pedoman Hisab Muhammadiyah*, 96.

adalah 406.700 km dan terdekat adalah 356.400 km.¹¹ Bulan mengelilingi Bumi suatu saat akan melintas antara Matahari dan Bumi. Ketika melintas adakalanya ia melewati (menyentuh) garis lurus antara Matahari dan Bumi sehingga saat itu terjadi gerhana Matahari.¹² Meskipun ukuran Bulan lebih kecil, bayangan Bulan mampu melindungi cahaya Matahari sepenuhnya karena jarak Bulan rata-rata 384.400 km dari Bumi lebih dekat dibandingkan jarak Matahari rata-rata 149.680.000 km.¹³

B. Gerhana dalam Tinjauan Fikih

Gerhana termasuk dalam pembahasan para *fuqāha'* dalam karya-karya mereka. Gerhana Matahari dan Bulan adalah satu. Adapun pendapat yang paling masyhur dalam istilah mayoritas ulama fikih, pengkhususan *kusūf* untuk gerhana Matahari, sedangkan *khusūf* untuk gerhana Bulan. Gerhana Matahari, yaitu hilangnya cahaya Matahari semua atau sebagian pada siang hari karena Bulan yang gelap berada di antara Matahari dan Bumi.¹⁴

¹¹ UPT Observatorium Bosscha Institut Teknologi Bandung, *Perjalanan Mengenal Astronomi*, (Bandung: ITB, 1995), 31.

¹² Tim Majelis Tarjih dan Tajdid PP Muhammadiyah, *Pedoman Hisab Muhammadiyah ...*, 96.

¹³ Tim Penulis Panduan Ujian Komprehensif S1, *Buku panduan Ujian Komprehensif S1*, (Semarang: Fakultas Syariah dan Hukum UIN Walisongo, 2017), 274.

¹⁴ Wahbah az-Zuhaili, *Fiqih Islam Wa Adillatuhū*, Terj. Abdul Hayyie al-Kattani, dkk. Jilid 2, (Jakarta: Gemi Insani, 2010), Cet. I, 484.

Para *fuqāha'* terdahulu menyikapi shalat gerhana membuahkan berbagai pendapat yang berbeda-beda, mulai dari hukum shalat (antara shalat gerhana Matahari dan shalat gerhana Bulan), tata cara shalat dan waktunya. Pembahasan akan lebih fokus kepada shalat gerhana Matahari.

1. Dalil al-Qur'an

Firman Allah SWT dalam al-Qur'an QS. Fuṣṣilat ayat 37:

وَمِنْ آيَاتِهِ اللَّيْلُ وَالنَّهَارُ وَالشَّمْسُ وَالْقَمَرُ ۚ لَا تَسْجُدُوا لِلشَّمْسِ وَلَا لِلْقَمَرِ
وَأَسْجُدُوا 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, tetapi sembahlah Allah yang menciptakannya, jika ialah yang kamu sembah.” (QS. Fuṣṣilat : 37)¹⁵

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.¹⁶

¹⁵ Departemen Agama Republik Indonesia, *al-Qur'an dan Terjemahnya*, (Semarang : CV. AL-WAAH, 1993), 778.

¹⁶ Imam Asy-Syafi'i, *Al-Umm*, Terj. Misbah, jilid 3, (Jakarta: Pustaka Azzam, 2014), 107.

Terdapat benang merah dari ungkapan tersebut yang mengindikasikan bahwa: 1). Hendaklah mengerjakan shalat ketika terjadi gerhana Matahari dan Bulan, 2). 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.¹⁷

2. Dalil Hadis

Gerhana Matahari Pada Masa Rasulullah

عَنْ الْمُغِيرَةَ بْنِ شُعْبَةَ رَضِيَ اللَّهُ عَنْهُ قَالَ: انْكَسَفَتِ الشَّمْسُ عَلَى عَهْدِ رَسُولِ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ يَوْمَ مَاتَ إِبْرَاهِيمَ (فَقَالَ النَّاسُ: انْكَسَفَتِ الشَّمْسُ لِمَوْتِ إِبْرَاهِيمَ) فَقَالَ رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ: "إِنَّ الشَّمْسَ وَالْقَمَرَ آيَتَانِ مِنْ آيَاتِ اللَّهِ لَا يَنْكَسِفَانِ لِمَوْتِ أَحَدٍ وَلَا لِحَيَاتِهِ فَإِذَا رَأَيْتُمُوهَا فَادْعُوا اللَّهَ وَصَلُّوا حَتَّى تَنْكَشِفَ" مُتَّفَقٌ عَلَيْهِ.¹⁸

¹⁷ Ahmad Musthafa al-Farran, *Tafsir Imam Syafi'i*, jilid 3, (Jakarta Timur: Almahira, 2008), Cet. I, 353-354.

¹⁸ Dalam riwayat Imam Bukhari menggunakan lafad "حتى تتجلى", dan dalam riwayat Imam Bukhari "من حديث أبي بكر رضي الله عنه (فصلوا وادعوا حتى"

“Dari Mughirah bin Syu’bah, dia berkata, “Pada masa Rasulullah SAW., terjadi gerhana Matahari, dan kejadiannya bertepatan dengan hari wafatnya Ibrahim {putra Nabi}, sehingga orang-orang berkata, ‘Terjadi gerhana Matahari karena wafatnya Ibrahim’. Sehingga ketika itu, Rasulullah SAW. bersabda ‘Sesungguhnya Matahari dan Bulan [merupakan dua tanda dari tanda-tanda kekuasaan Allah], dimana keduanya tidak akan bertemu hingga terjadi gerhana karena kematian seseorang, dan tidak juga karena kelahirannya. Ketika kamu melihat [keduanya gerhana], maka hendaknya kamu shalat serta berdoa kepada Allah [hingga terang kembali]’.” (HR. Bukhari - Muslim)¹⁹

Makna global dari hadis di atas, bahwa gerhana merupakan tanda-tanda kebesaran Allah yang menunjukkan hikmah dan kekuasaanNya. Femonema gerhana tidak ada hubungannya dengan kelahiran atau kematian orang besar seperti yang diyakini oleh orang jahiliyah. Dengan itu Rasulullah menuntun kaumnya untuk melaksanakan shalat dan berdoa sampai gerhana selesai.²⁰

Intisari dari hadis di atas adalah, 1). Disunnahkan shalat dan berdoa saat terjadi gerhana Matahari dan Bulan untuk

”ينكشف ما بكم) bisa dilihat dalam kitab ‘Alawi ‘Abbas al-Maliki, Hasan Sulaiman al-Nuri, *Ibānatu al-ahkām*, jilid 3, al-Haramain, 143.

¹⁹ Muhammad Nashiruddin Al Albani, *Ringkasan Ṣaḥīḥ Bukhari*, Terj. Asep Saefullah, Kamaluddin Sa’adiyatulharamain, jilid 2, (Jakarta: Pustaka Azzam, 2012), Cet. IV, 45-46.

²⁰ Abdullah Alu Bassam, *Fiqih Hadits Bukhari-Muslim*, (Jakarta: Ummul Qura, 2013), Cet. I, 386.

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.²¹

Beberapa dalil di atas mewakili dalil-dalil yang lain tentang perintah melaksanakan shalat gerhana.²² Shalat *kusūf* (gerhana Matahari) tidak ditemukan perbedaan pendapat di kalangan ahli fiqih, dan mayoritas mereka berpendapat bahwa shalat *khusūf* (gerhana Bulan) juga disyariatkan (sunnah muakkadah).²³ Ibnu Abbas juga pernah melakukannya. Demikian yang dikatakan oleh Atha', Al Hasan, an-Nakha'i, Asy-Syafi'i, dan Ishak.²⁴

²¹ Bassam, *Fiqih Hadits Bukhari*, 386-387.

²² Dalil hadis yang menjelaskan tata cara shalat gerhana bisa dilihat dalam karya Abi Al-Husain Muslim bin Al-Hajjaj, *Ṣahīh Muslim*, juz 2, (Bayrut: Daru al-Kutub al-‘Ilmiyah, 1992), Cet. I, 618. Atau Imam An-Nawawi, *Ṣahīh Muslim bi Syarh An-Nawawī*, Terj. Djunaedi Soffandi, (Jakarta: Pustaka Azzam, 2010), Cet. I, 572-573.

²³ Sementara itu, Malik berkata, “Tidak ada Sunnah shalat gerhana Bulan.” Lihat terjemah kitab *Al Mughnī* jus 3, 199.

²⁴ Ibnu Qudamah, *Al Mughni*, Terj. Amir Hamzah, jilid 3, (Jakarta: Pustaka Azzam, 2007), Cet. I, 199.

C. Gerhana Perspektif Astronomi

Gerhana Matahari termasuk fenomena spesial karena tidak semua tempat dilewatinya. Gerhana Matahari terjadi apabila Bulan menutupi piringan Matahari, sehingga sebagian tempat di Bumi tidak memperoleh cahaya Matahari. dapat dikatakan bahwa pada saat itu Matahari, Bulan, dan Bumi berada dalam satu garis. Gerhana Matahari ini tentunya terjadi pada siang hari pada fase Bulan baru. Berbeda dengan gerhana Bulan, gerhana Matahari hanya dapat terlihat dari daerah yang terbatas di permukaan Bumi.²⁵

Terjadinya gerhana Matahari ketika fase Bulan mati atau *ijtimā'* serta posisi Matahari dan Bulan berada di sekitar titik simpul (node)²⁶. 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

²⁵ UPT Observatorium Bosscha Institut Teknologi Bandung, *Perjalanan Mengenal*, 35.

²⁶ 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. Node menaik adalah tempat Bulan melintasi ke utara orbit Bumi. Node turun adalah tempat ia menyeberang ke selatan. Lihat Fred Espenak, "Glossary of Solar Eclipse Terms" accessed August 31, 2022 M / 4 Safar 1444 H, <https://eclipsewise.com/solar/SEhelp/SEGlossary.html#central>.

lebih pendek 18.63 hari dengan periode Sideris (365.25 hari). Kemungkinan terjadi gerhana hanya bila Matahari dan Bulan berada pada bujur ekliptika dekat titik simpul $15.35^\circ < \Delta\lambda < 18.51^\circ$. Pada batas tersebut keadaan maksimum yang dapat dicapai adalah gerhana persinggungan antara Matahari dan Bulan. Satu hari dalam peredaran semunya, Matahari bergerak pada ekliptika $(360^\circ/365.25) = \sim 0.985626283^\circ/\text{hari}$. Dalam satu Bulan sinodis $(360^\circ/346,62) \times 29,53 = 30,67^\circ$. Syarat minor terjadinya gerhana Matahari $\Delta\lambda \sim 15,35^\circ$. Fasa gerhana dicapai $2 \times \Delta\lambda \sim 30,7$. Matahari bergerak $30,67^\circ$ terhadap titik node/simpul $29,53 \times 360^\circ/346,62$.²⁷

Gerhana Matahari dapat berupa gerhana total, parsial atau cincin. Namun jika gerhana Matahari ditinjau dari Bumi secara umum, terdapat 6 tipe gerhana:²⁸

1. Tipe P : yaitu tipe gerhana Matahari parsial (*Partial Eclipse*), dimana hanya sebagian dari kerucut umbra bulan yang mengenai Bumi. Pengamat di daerah yang memungkinkan untuk melihat (*region of visibility*) hanya dapat melihat sebuah gerhana parsial.

Pada gerhana ini terjadi dua kali kontak yaitu:

²⁷ 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.

²⁸ Anugraha, *Mekanika Benda Langit*, 126-127.

- a. Kontak pertama adalah ketika piringan Bulan mulai menyentuh piringan Matahari, pada posisi ini menunjukkan waktu mulai gerhana.
 - b. Kontak kedua ketika piringan Bulan sudah keluar lagi dari piringan Matahari, pada posisi ini gerhana sebagian telah berakhir.
2. Tipe T : yaitu tipe gerhana Matahari total (*Total Eclipse*), dimana kerucut umbra mengenai Bumi. Pada gerhana sentral, sumbu bayangan Bulan mengenai permukaan Bumi. Pada jenis gerhana ini, dikenal istilah garis sentral (*sentral line*) dimana garis ini menghubungkan pusat cakram Bulan ke pusat cakram Matahari.

Pada gerhana ini terdapat empat kontak yaitu:

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

- d. Kontak keempat adalah ketika seluruh piringan Bulan sudah keluar dari piringan Matahari, posisi ini menandakan waktu akhir gerhana.
3. Tipe A : yaitu tipe gerhana Matahari cincin (*Anular Eclipse*), dimana perpanjangan kerucut umbra mengenai Bumi.

Gerhana ini terjadi empat kali kontak yaitu:

- a. Kontak pertama adalah ketika piringan Bulan mulai menyentuh piringan Matahari, pada posisi ini mulai menyentuh gerhana.
 - b. Kontak kedua adalah ketika seluruh piringan Bulan sudah menutupi piringan Matahari, pada posisi ini waktu mulai total.
 - c. Kontak ketiga adalah ketika piringan Bulan mulai bergeser untuk keluar dari piringan Matahari, pada posisi ini merupakan waktu akhir total.
 - d. Kontak keempat adalah ketika seluruh piringan Bulan sudah keluar dari piringan Matahari, posisi ini menandakan waktu akhir gerhana.
4. Tipe A-T : yaitu tipe gerhana Matahari cincin-total, dimana sebagian gerhana berupa gerhana Matahari total sedangkan sebagian lainnya berupa gerhana Matahari cincin.

5. Tipe (T) : yaitu tipe gerhana Matahari non sentral total, dimana hanya sebagian dari kerucut umbra yang mengenai permukaan Bumi (di daerah kutub), tetapi sumbu kerucut umbra tidak mengenai permukaan Bumi, sehingga gerhana ini bukan gerhana Matahari sentral.
6. Tipe (A) : yaitu gerhana Matahari non sentral cincin, dimana hanya sebagian dari perpanjangan kerucut umbra yang mengenai (di daerah kutub), tetapi sumbu kerucut umbra tidak mengenai permukaan Bumi.

Gerhana Matahari dapat terjadi 2 sampai 5 kali dalam satu tahun, tetapi yang dapat menyaksikan hanyalah beberapa tempat di permukaan Bumi saja.²⁹ Pada tahun 1935 M,³⁰ salah satu yang terjadi 5 kali gerhana Matahari dalam satu tahun tepatnya tanggal 5 Januari, 3 Februari, 30 Juli, 30 Juli, dan 25 Desember.³¹ Jumlah gerhana (Matahari dan Bulan) maksimum dalam satu tahun mencapai 7 gerhana, karena gerhana Matahari selalu diikuti atau didahului gerhana Bulan yang berselang sekitar 14 hari. Misalnya, di sela-sela 5 gerhana Matahari pada 1935 terjadi 2 gerhana Bulan

²⁹ Izzuddin, *Ilmu Falak Praktis*, 110.

³⁰ Selain tahun 1935, yang akan terjadi 5 kali gerhana Matahari pada tahun 2206 (10 Januari, 7 Juni, 7 Juli, 1 Desember, dan 30 Desember). Lihat di *elemen besel* kitab *al-Durru al-Anīq*, 211.

³¹ Hasil wawancara dengan Andi Pangerangan di rumahnya pucang gading pada tanggal 03 Agustus 2022 M / 5 Muharam 1444 H, pukul 14:26 wib.

pada tanggal 19 Januari dan 16 Juli.³² Sehingga gerhana selalu berubah-ubah dan bervariasi jumlah gerhana (Matahari dan Bulan).

Thn. M	Thn. H	Tgl. & Bulan	TD	Tipe
2022	1443	30 April/29 Ramadan	21	P
	1444	25 Oktober/29 Rabiulawal	11	P
2023	1444	20 April/29 Ramadan	4	rt
	1445	14 Oktober/29 Rabiulawal	18	R
2029	1450	14 Januari/29 Syakban	17	P
	1451	12 Juni/29 Muharam	4	P
	1451	11 Juli/29 Safar	16	P
	1451	5 Desember/29 Rajab	15	P
2036	1457	27 Februari/29 Zulhijah	5	P
	1458	23 Juli/29 Jumadilawal	11	P
	1458	21 Agustus/29 Jumadilakhir	17	P

Tabel 2. 1 Jumlah Gerhana

Tabel gerhana Matahari di atas diambil dari *elemen besel* kitab *al-Durru al-Anīq* memberikan informasi bahwa jumlah dan tipe gerhana Matahari tidak tetap setiap tahunnya. Jumlah gerhana tersebut berdasarkan Bumi secara global atau bukan gerhana Matahari lokal.

D. Gerhana Matahari Global

Gerhana Matahari hanya dapat terjadi ketika Bulan berada di dekat salah satu dari dua simpul orbitnya selama fase Bulan Baru.

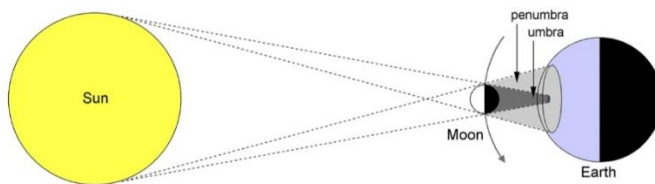
³² Thomas Jamaluddin, “Memahami Gerhana Matahari dan Gerhana Bulan”, diakses 28 Oktober 2022 M / 3 Rabiul Akhir 1444 H, <https://tdjamaluddin.wordpress.com/2013/05/07/memahami-gerhana-matahari-dan-gerhana-bulan/>.

Hal ini memungkinkan bayangan penumbra, umbra, atau antumbra Bulan menyapu permukaan bumi sehingga menghasilkan gerhana.³³ Secara umum gerhana Matahari terbagi menjadi dua, yaitu Gerhana Matahari global (geosentrik) dan gerhana Matahari lokal (toposentrik). Gerhana matahari global merupakan gerhana yang terjadi di seluruh permukaan Bumi secara umum pada waktu tersebut. Sehingga dalam melakukan perhitungan tidak membutuhkan input koordinat suatu tempat atau dalam arti lain gerhana Matahari global untuk mengetahui jalur yang akan dilewati gerhana meliputi waktu dan koordinatnya.

Bayangan Bulan yang jatuh ke Bumi terdiri dari dua komponen berbentuk kerucut, satu berada di dalam yang lain. Bayangan luar atau penumbra adalah zona di mana sinar Matahari terhalang sebagian. Sebaliknya, bayangan bagian dalam atau umbral adalah daerah dimana sinar langsung dari Matahari terhalang sepenuhnya.³⁴

³³ Lihat NASA, "Introduction", accessed August 1, 2022 M / 4 Safar 1444 H, <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEcat5/SEcatalog.html#3>.

³⁴ Fred Espenak, "Solar Eclipse Basics" accessed August 31, 2022 M / 4 Safar 1444 H, <https://eclipsewise.com/solar/SEhelp/SEbasics.html>.



Gambar 2. 2 Geometri of a Total Solar Eclipse (sumber: <https://eclipsewise.com/solar/SEhelp/SEbasics.html>)

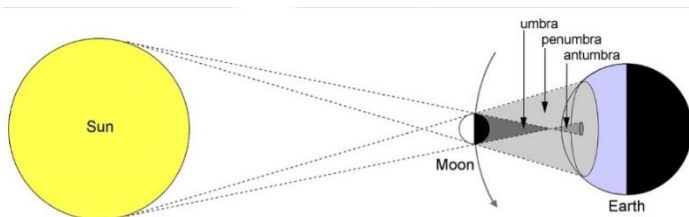
Gerhana Matahari memiliki empat tipe, yaitu *Partial*,³⁵ *Annular*, *Total*,³⁶ dan *Hybrid*.³⁷ Gerhana Matahari *annular* di mana

³⁵ Gerhana Matahari di mana bayangan penumbra Bulan melintasi Bumi (bayangan umbra dan antumbra benar-benar meleset dari Bumi). Selama gerhana sebagian, Bulan tampak menghalangi sebagian piringan Matahari. Dari observer, gerhana parsial adalah gerhana di mana pengamat berada di dalam bayangan penumbra tetapi di luar jalur bayangan umbra atau antumbra. Lihat Fred Espenak, “Glossary of Solar Eclipse Terms” accessed September 1, 2022 M / 5 Safar 1444 H, <https://eclipsewise.com/solar/SEhelp/SEGlossary.html#central>.

³⁶ Gerhana Matahari di mana bayangan umbra Bulan melintasi Bumi (Bulan cukup dekat dengan Bumi sehingga menutupi Matahari sepenuhnya). Selama fase maksimum gerhana total, piringan Matahari benar-benar menghalangi Bulan. Korona Matahari kemudian sangat jelas dilihat dengan mata telanjang. Lihat NASA, “Glossary of Solar Eclipse Terms” accessed September 1, 2022 M / 5 Safar 1444 H, <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEhelp/SEGlossary.html>.

³⁷ Gerhana Matahari di mana bayangan umbra dan antumbra Bulan melintasi Bumi (gerhana tampak berbentuk lingkaran dan total di sepanjang bagian jalurnya yang berbeda). Gerhana *hybrid* juga dikenal sebagai gerhana cincin total. Dalam kebanyakan kasus, gerhana *hibrid* dimulai sebagai annular, berubah menjadi total, dan kemudian kembali ke annular sebelum akhir lintasannya. Dalam kasus yang jarang terjadi, gerhana *hibrida* dapat mulai berbentuk cincin dan berakhir total, atau sebaliknya. Lihat Fred Espenak, “Glossary of Solar Eclipse Terms” accessed September 1, 2022 M / 5 Safar 1444 H, <https://eclipsewise.com/solar/SEhelp/SEGlossary.html#central>.

bayangan antumbra Bulan melintasi Bumi (Bulan terlalu jauh dari Bumi untuk menutupi Matahari sepenuhnya). Selama fase maksimum gerhana *annular*, Matahari muncul sebagai cincin terang yang menyilaukan yang mengelilingi Bulan.

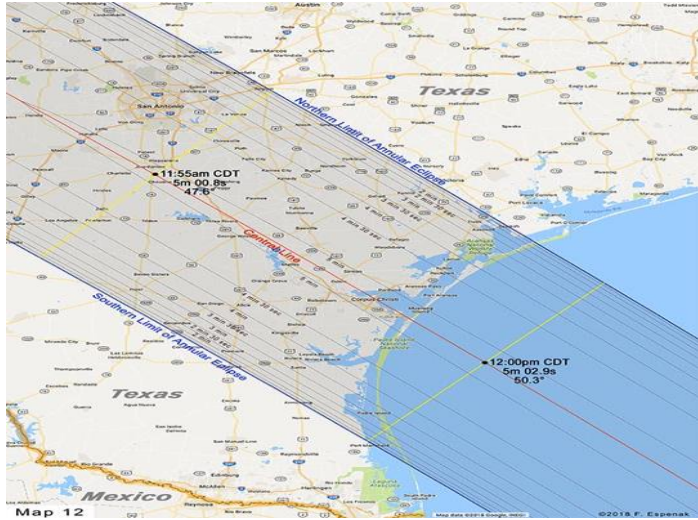


Gambar 2. 3 Geometri of a Annular Solar Eclipse (sumber: <https://eclipsewise.com/solar/SEhelp/SEbasics.html>)

Gerhana total terlihat dari dalam bayangan umbral Bulan sedangkan gerhana annular terlihat di dalam bayangan antumbra. Gerhana ini dapat diklasifikasikan sebagai *central* atau *non-central*.³⁸

1. *Central (two limits)*, Sumbu pusat kerucut bayangan Bulan melintasi Bumi sehingga menghasilkan garis tengah di jalur gerhana. Umbra atau antumbra jatuh seluruhnya ke Bumi sehingga jalur gerhana memiliki batas utara dan selatan.

³⁸ Lihat NASA, "Introduction", accessed September 1, 2022 M / 5 Safar 1444 H, <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEcat5/SEcatalog.html>.



Gambar 2. 4 Road Atlas for Annular Solar Eclipse, 14 Oktober 2023 (sumber: <https://eclipsewise.com/pubs/Atlas2023.html>)³⁹

2. *Central (one limit)*, Sumbu pusat kerucut bayangan Bulan melintasi Bumi. Namun, sebagian dari umbra atau antumbra meleset dari Bumi selama gerhana dan jalur gerhana yang dihasilkan hanya memiliki satu batas (utara atau selatan).
3. *Non-Central*, Sumbu pusat kerucut bayangan Bulan meleset dari Bumi. Namun, salah satu ujung umbra atau antumbra jatuh ke Bumi sehingga menghasilkan jalur gerhana dengan satu batas dan tidak ada garis tengah.

³⁹ Lihat Fred Espenak, “Road Atlas for the Annular Solar Eclipse of 2022” accessed September 1, 2022 M / 5 Safar 1444 H, <https://eclipsewise.com/pubs/Atlas2023.html>.

Pejelasan di atas merupakan gambaran lengkap dan singkat tentang gerhana Matahari yang terjadi di Bumi. Hal tersebut bisa diketahui dengan menggunakan perhitungan gerhana Matahari global seperti dalam kitab *al-Durru al-Anīq*. Terdapat beberapa *output* yang ditampilkan dari hasil hisabnya, yaitu mengenai Tipe Gerhana, Awal dan Akhir Kontak Penumbra, Awal dan Akhir Kontak Umbra, Awal dan Akhir Kontak Sentral, dan Puncak Gerhana (*greatest eclipse*).⁴⁰

Selain itu, *output* yang ditampilkan juga terkait waktu, koordinat, tinggi dan azimuth Matahari, *magnitude*,⁴¹ lama sentral, lebar (km), serta jalur gerhana sentral meliputi titik pusat (lintang, bujur, lama, lebar, *magnitude*, tinggi dan azimuth Matahari), batas sentral (utara dan selatan) dan batas penumbra (utara dan selatan).

⁴⁰ *Greatest eclipse* didefinisikan saat sumbu kerucut bayangan Bulan lewat paling dekat dengan pusat Bumi. Lihat Fred Espenak, “Glossary of Solar Eclipse Terms” accessed September 1, 2022 M / 5 Safar 1444 H, <https://eclipsewise.com/solar/SEhelp/SEglossary.html#central>.

⁴¹ Magnitudo adalah fraksi diameter Matahari yang ditutupi oleh Bulan. 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 Matahari). Magnitudo satu atau lebih besar menandakan gerhana Matahari total. Magnitudo kurang dari satu tetapi lebih besar dari nol adalah gerhana Matahari parsial. Lihat NASA, “Glossary of Solar Eclipse Terms” accessed September 1, 2022 M / 5 Safar 1444 H, <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEhelp/SEglossary.html>.



Gambar 2. 5 Atlas Gerhana Annular 14 Oktober 2023 (sumber: <https://www.greatamericaneclipse.com/eclipse-maps-and-globe/2023map>)⁴²

⁴² Lihat Michael Zeiler, “Annular Solar Eclipse Oktober 14, 2023” accessed September 1, 2022 M / 5 Safar 1444 H, <https://www.greatamericaneclipse.com/eclipse-maps-and-globe/2023map>.

BAB III
METODE HISAB GERHANA MATAHARI GLOBAL
DALAM KITAB *AL-DURRU AL-ANĪQ*

A. Biografi KH. Ahmad Ghozali

Pengarang kitab *al-Durru al-Anīq* adalah KH. Ahmad Ghozali bin Muhammad bin Fathullah bin Sa'idan. Dia lahir di dusun Lanbulan desa Baturasang kecamatan Tambelangan kabupaten Sampang, pulau Madura Jawa Timur, Pada tanggal 07 Januari 1959 M. oleh pasangan KH. Muhammad Fathullah dengan Nyai Hj. Zainab Khoirudin.¹

KH. Ahmad Ghozali menikah dengan Nyai Hj. Asma binti Abdul Karim bin Anwar yang berasal dari kabupaten Bangkalan Madura. Guru pertama yang mengajarkan ilmu agama adalah orang tuanya, sehingga kecintaan terhadap ilmu sangat tinggi. Selain itu juga dia menimba ilmu di sekolah formal yaitu SD Baturasang, namun pendidikannya di SD hanya sampai kelas 3. Karena dia lebih fokus terhadap pendalaman ilmu agama yang di didik oleh ayahnya di Pondok Pesantren al-Mubarak Lanbulan.²

Pondok pesantren al-Mubarak Lanbulan didirikan oleh Syaikhana Al-'Alim Al-'Allamah KH. Muhammad Fathullah.

¹ Hasil wawancara dengan KH. Ahmad Ghozali di Pondok Pesantren Al- Mubarak Lanbulan pada tanggal 16 Agustus 2022. Jam 08:30 WIB.

² Ilmi Mukarromah, KH. Ahmad Ghozali; Penghidup Ilmu Falak Masa Kini, dalam Majalah Zenith edisi XI / tahun V / April 2014, 22.

Lanbulan diambil dari kata Bulan dinisbatkan pada mimpi KH. Fathullah, di desa Baturasang Tambelangan ada Bulan jatuh bersinar di sekitar desa tersebut, setelah dihipir ada seorang guru berkata “Dirikanlah pesantren di sini dan berilah nama ‘LANBULAN’ ”. kemudian dibangun Pondok Pesantren Lanbulan di tempat yang ditunjuk.³

Pada pertengahan tahun 1976 KH. Ahmad Ghozali diangkat sebagai salah satu guru di pondok al-Mubarak. Dia merupakan sosok orang yang haus ilmu, terbukti selama bulan Ramadhan tahun 1977 dia menimba ilmu pada KH. Maimun Zubair Sarang Rembang. Hal itu dilakukan selama 3 tahun berturut-turut sampai tahun 1980. Walaupun sudah mengajar dan mengaji selama tiga tahun tersebut, dia juga menyempatkan mengaji pada KH. Hasan Iraqi⁴ (alm) Pondok Pesantren Tuwe’ Pote kota Sampang setiap hari Selasa dan Sabtu. Kemudian di tahun 1981, dia melanjutkan belajar di Mekkah kepada beberapa ulama besar di sana, diantaranya Syaikh Ismail Usman Zain al-Yamani Al-Makky,

³ Hasil wawancara dengan KH. Ahmad Ghozali di Pondok Pesantren Al- Mubarak Lanbulan pada tanggal 16 Agustus 2022. Jam 08:30 WIB.

⁴ Julukan al-Iraqi dinisbatkan karena beliau pernah memecahkan permasalahan yang didatangkan Iraq (masalah fihiyyah) semasa di Makkah. Hasil wawancara dengan Ust. Ismail di rumahnya dusun Lanbulan pada tanggal 15 Agustus 2022. Jam 18:30 WIB.

Syaikh Abdullah Al-Lahjy, Syaikh Yasin bin Isa Al-Fadany dan ulama-ulama lainnya selama 7 tahun.⁵

Kitab falak yang pertama kali dipelajari yaitu *al-Mukhtaṣar al-Muḥaẓẓab* karya Syaikh Yasin bin Isa Al-Fadany di Makkah, dia belajar kepada Syaikh Mukhtaruddin al-Flimbani (alm). Setelah selesai belajar di Makkah, kemudian kembali ke tanah air. Ketertarikan dan keinginan untuk memperdalam ilmu falak dipicu oleh adanya perbedaan penetapan hari raya di Indonesia. Dia mulai belajar pertama kali di tanah air kepada kiyai 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-Karīm*.⁶

Selain K. Abdun Nashir dia melanjutkan belajar kepada kiyai Yahya di Gresik, kemudian belajar kepada ayahnya kiyai Yahya, yakni kiyai Mushofa, KH. Kamil Hayyan (alm), KH. Hasan Basri Sa'id (alm), kemudian pada KH. Zubair Bungah Gresik. Namun belum membuatnya merasa cukup puas, sehingga dilanjutkan belajar kepada ahli falak Yogyakarta yakni Muhyidin Khazin, kiyai

⁵ Hasil wawancara dengan KH. Ahmad Ghozali di Pondok Pesantren Al- Mubarak Lanbulan pada tanggal 16 Agustus 2022. Jam 08:30 WIB.

⁶ Hasil wawancara dengan KH. Ahmad Ghozali di Pondok Pesantren Al- Mubarak Lanbulan pada tanggal 16 Agustus 2022. Jam 08:30 WIB.

Noor Ahmad dari Jepara, dia juga menyempatkan diri belajar ilmu falak kepada Muhammad Odeh dari Jordan.⁷

Kontribusi terhadap ilmu falak tidak hanya ditunjukkan dengan mengajarkan kepada orang lain, namun dia membuat kitab falak seperti *al-Taqyīdat al-Jalīyah*, *Faidl al-Karīm al-Rauf*, *Bughyat al-Rofīq*, *Anfa' al-Washīlah*, *Irsyād al-Murīd*, *Tsamrat al-Fikār*, *az-Zaij al-Muyassar*, *Al-Durru al-Anīq*, *Maslak al-Qashīd*, dan *Jami' al-Adillah*.

B. Tinjauan Umum Kitab *al-Durru al-Anīq*

Kitab *al-Durru al-Anīq* merupakan salah satu karya KH. Ahmad Ghozali, tujuan ditulisnya kitab ini sebagai bentuk ikhtiar untuk berbagi informasi tentang praktik fikih astronomi dalam hal penyajian data-data astronomi Bulan dan Matahari untuk kepentingan rukyatul hilal, rukyatul *kusūf* dan rukyatul *khusūf*.⁸ Dalam kitab tersebut membahas tentang Awal Bulan Qamariyah, Gerhana Bulan, dan Gerhana Matahari dengan menggunakan metode hisab *Haqīqy bi al-Tadqīq*, sehingga hasilnya lebih akurat. Disamping itu, cara untuk melakukan perhitungan menggunakan kolaborasi antara cara lama (tabel) dengan cara modern (rumus)

⁷ Hasil wawancara dengan KH. Ahmad Ghozali di Pondok Pesantren Al- Mubarak Lanbulan pada tanggal 16 Agustus 2022. Jam 08:30 WIB.

⁸ Hasil wawancara dengan KH. Ahmad Ghozali di pondok pesantren Al- Mubarak Lanbulan pada tanggal 16 Agustus 2022. Jam 08:40 WIB.

sehingga memudahkan bagi para pengguna. Bahasa Arab yang digunakan dalam kitab *al-Durru al-Anīq* mempunyai nilai lebih untuk masuk di kalangan pesantren salaf, namun bagi yang kurang memahami bahasa Arab bisa menggunakan rumusnya saja dengan bantuan bahasa Indonesia di setiap pembahasan, sehingga kitab ini bisa digunakan oleh semua kalangan.⁹

Cetakan pertama kitab *al-Durru al-Anīq* belum menyediakan rumus cara mengetahui delta T dan rumus gerhana Matahari global. Kemudian di cetakan kedua dilengkapi rumus menghitung delta T dan gerhana Matahari global, seperti halnya yang disediakan oleh NASA dalam *websitenya*.

Materi yang terdapat dalam kitab *al-Durru al-Anīq* di cetakan kedua, adalah:

1. Pendahuluan
2. Hisab Ijtima' Akhir Bulan Hijriyah
3. Rumus Pendekatan Delta T
4. Hisab Awal Bulan Qamariyah
5. Gerhana Matahari Global
6. Gerhana Matahari Lokal
7. Gerhana Bulan

⁹ Hasil wawancara dengan Uts. Ismail, di kantor Lajnah Falakiyah Lanbulan, tanggal 15 Agustus 2022. Jam 19 : 20 wib.

8. Tabel-tabel

Kitab *al-Durru al-Anīq* merupakan salah satu kitab yang memberikan metode hisab gerhana Matahari global yang sangat langka dan bisa diaplikasikan dengan menggunakan alat hitung sederhana seperti kalkulator *scientific* dengan akurasi tinggi yang merupakan kelebihan dari kitab tersebut.

Metode hisab gerhana Matahari global dibuat untuk mengetahui waktu dan koordinat tempat jalur gerhana Matahari. Setelah diketahui data koordinatnya, kemudian bisa melakukan perhitungan gerhana Matahari lokal untuk mengetahui waktu, tipe dan fase gerhana yang lebih akurat.¹⁰

C. Algoritma Metode Hisab Gerhana Matahari Global dalam Kitab *al-Durru al-Anīq*

Perhitungan gerhana Matahari global dalam kitab *al-Durru al-Anīq* menggunakan *elemen besel* yang terdapat di bagian akhir kitab. *Elemen besel* yang diambil disesuaikan dengan waktu yang dicari gerhananya. Penerapan rumus yang ada disesuaikan dengan logika hasil perhitungan sebelumnya. Rumus gerhana Matahari global seperti berikut:

¹⁰ Hasil wawancara dengan KH. Ahmad Ghozali di pondok pesantren Al-Mubarak Lanbulan, tanggal 16 Agustus 2022, pukul 08:41 WIB.

1. Puncak Gerhana Global (tengah gerhana)¹¹

a. Menentukan waktu terjadinya puncak gerhana global

1) $A0 = (\text{diambil dari elemen } \textit{bessel})$

2) $B0 = (\text{diambil dari elemen } \textit{bessel})$

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

Jika **B0** negatif (-), maka hasil ditambah 180, jika **B0** positif (+) dan **A0** negatif (-), maka hasil ditambah 360.

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

5) $A1 = (\text{diambil dari elemen } \textit{bessel})$

6) $B1 = (\text{diambil dari elemen } \textit{bessel})$

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

Jika **B1** negatif, maka hasil ditambah 180, jika **B1** positif dan **A1** negatif, maka hasil ditambah 360, jika tidak maka N.

8) $n = (A1^2 + B1^2)^{0.5}$

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

10) $SWK = TD + tm - \text{delta } T$

11) $R = R0 + R1 \text{ } tm$

12) $S = S0 + S1 \text{ } tm$

¹¹ Ghozali, *al-Durru al-Anīq*, 53-56.

b. Menentukan tipe dan jenis gerhana

- 1) Jika nilai m lebih kecil dari **0.9972**, maka terjadi gerhana sentral dan mempunyai tiga jenis:
 - a) Sentral-total, jika nilai S negatif,
 - b) Sentral-hybrid, jika nilai S lebih besar dari 0 dan lebih kecil dari 0.0047,
 - c) Sentral-cincin, jika nilai S lebih besar dari 0.0047.
- 2) Jika nilai m lebih besar dari **0.9972** dan lebih kecil dari jumlah **0.9972** dan S , maka terjadi gerhana non sentral dengan salah satu dari tiga jenis:
 - a) Non sentral-total, jika nilai S negatif,
 - b) Non sentral- cincin, jika nilai S positif,
 - c) Partial, jika nilai m lebih besar dari **0.9972** dan lebih kecil dari **1.5433** dan nilai S .
- 3) Jika nilai m lebih besar dari jumlah **1.5433** dan nilai S , maka tidak terjadi gerhana.

c. Menentukan posisi koordinat tempat saat tengah gerhana global

- 1) $a = 6378137$
- 2) $b = 6356752$
- 3) $c = 0.0066944782$
- 4) $A = A_0 + A_1 \text{ tm}$
- 5) $B = B_0 + B_1 \text{ tm}$

- 6) $d = d_0 + d_1 \tan \theta$
- 7) $W = W_0 + W_1 \tan \theta$
- 8) $\rho_0 = (1 - c \cos d)^{0.5}$
- 9) $d_1 = \tan^{-1}(\sin d / (\cos d (b/a)))$
- 10) $\rho_1 = ((\sin d (b/a))^2 + (\cos d)^2)^{0.5}$
- 11) $d_2 = \tan^{-1}((b/a) \sin d / \cos d)$
- 12) $y_I = B / \rho_0$

a) Gerhana Sentral

1. $z = (1 - A^2 - y_I^2)^{0.5}$
2. $\phi_I = \sin^{-1}(y_I \cos d_1 + z \sin d_1)$
3. $\phi = \tan^{-1}((a/b) \tan \phi_I)$
4. $x_2 = -y_I \sin d_1 + z \cos d_1$
5. $\theta = \tan^{-1}(A / x_2)$

Jika x_2 negatif, maka hasil $\theta + 180$, jika x_2 positif dan A negatif, maka $\theta + 360$, jika tidak maka $\theta = \theta$

6. $\lambda = \theta - W + 0.004178 \text{ Delta T}$

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) Gerhana Non Sentral

1. $m_1 = (A^2 + y_I^2)^{0.5}$

2. $x_1 = A / m_1$
3. $y_2 = y_1 / m_1$
4. $\phi_1 = \sin^{-1}(y_2 \cos d_1)$
5. $\phi = \tan^{-1}((a / b) \tan \phi_1)$
6. $x_2 = - y_2 \sin d_1$
7. $\theta = \tan^{-1}(x_1 / x_2)$

Jika x_2 negatif, maka hasil $\theta + 180$, jika x_2 positif dan A negatif, maka $\theta + 360$, jika tidak maka $\theta = \theta$

$$8. \lambda = \theta - W + 0.004178 \text{ Delta T}$$

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. Menentukan tinggi (h) dan azimut (Az) saat puncak gerhana

- 1) $h = \sin^{-1}(\sin \phi \sin d + \cos \phi \cos d \cos \theta)$
- 2) $x = \sin d \cos \phi - \cos d \sin \phi \cos \theta$
- 3) $y = -\cos d \sin \theta$
- 4) $Az = \tan^{-1}(y / x)$

Jika x negatif, maka $Az + 180 = Az$, jika x positif dan y negatif, maka $Az + 360 = Az$, jika tidak maka $Az = Az$

e. Menentukan lama total / cincin

- 1) $\zeta = \rho_1 (z \cos (d_1 - d_2) - y_1 \sin (d_1 - d_2))$
- 2) $\xi' = (w_1 \pi / 180) (-B \sin d + \zeta \cos d)$
- 3) $\eta' = (w_1 A \sin d - d_1 \zeta) \pi / 180$
- 4) $n_1 = ((A1 - \xi')^2 + (B1 - \eta')^2)^{0.5}$
- 5) $L_1 = S - \zeta Z1$
- 6) Lama = $\text{abs} (2 L_1) / n_1$

f. Menentukan lebar dalam kilometer

- 1) $a_1 = 6378.137$
- 2) $k = (z^2 + (A (A1 - \xi') + B (B1 - \eta'))^2 / n_1^2)^{0.5}$
- 3) Lebar = $(2 a_1 \text{abs} (L_1)) / k$

g. Menentukan magnitudo

1) Gerhana Sentral

- a) $L_2 = R - \zeta Z0$
- b) Mag = $(L_2 - L_1) / (L_2 + L_1)$

2) Gerhana Non-Sentral

- a) $\rho = m / m1$
- b) $\Delta = m - \rho$
- c) Mag = $(R - \Delta) / (2 R - 0.5459)$

2. Awal dan Akhir Penumbra¹²

a. Menentukan saat awal dan akhir penumbra

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

¹² Ghozali, *al-Durru al-Anīq ...*, 57-59.

- 3) $\text{tmp1} = \text{tm} - \text{tp}$
- 4) $\text{tmp2} = \text{tm} + \text{tp}$
- 5) Awal Penumbral UT = $\text{TD} + \text{tmp1} - \text{Delta T}$
- 6) Akhir Penumbral UT = $\text{TD} + \text{tmp2} - \text{Delta T}$

b. Menentukan koordinat tempat saat awal penumbral

- 1) $A = A_0 + A_1 \text{ tmp1}$
- 2) $B = B_0 + B_1 \text{ tmp1}$
- 3) $d = d_0 + d_1 \text{ tmp1}$
- 4) $W = W_0 + W_1 \text{ tmp1}$
- 5) $d_1 = \tan^{-1}(\sin d / ((b / a) \cos d))$
- 6) $\rho_1 = ((\sin d)^2 + ((b / a) \cos d)^2)^{0.5}$
- 7) $y_1 = B / \rho_1$
- 8) $m_1 = (A^2 + y_1^2)^{0.5}$
- 9) $x_1 = A / m_1$
- 10) $y_2 = y_1 / m_1$
- 11) $\phi_1 = \sin^{-1}(y_2 \cos d_1)$
- 12) $\phi = \tan^{-1}((a / b) \tan \phi_1)$
- 13) $x_2 = - y_2 \sin d_1$
- 14) $\theta = \tan^{-1}(x_1 / x_2)$

Jika x_2 negatif, maka hasil $\theta + 180$, jika x_2 positif dan x_1 negatif, maka $\theta + 360$, jika tidak maka $\theta = \theta$

- 15) $\lambda = \theta - W + 0.004178 \text{ Delta T}$

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. Menentukan koordinat tempat akhir penumbral

- 1) $A = A_0 + A_1 \text{ tmp2}$
- 2) $B = B_0 + B_1 \text{ tmp2}$
- 3) $d = d_0 + d_1 \text{ tmp1}$
- 4) $W = W_0 + W_1 \text{ tmp2}$
- 5) $d_1 = \tan^{-1}(\sin d / ((b / a) \cos d))$
- 6) $\rho_1 = ((\sin d)^2 + ((b / a) \cos d)^2)^{0.5}$
- 7) $y_1 = B / \rho_1$
- 8) $m_1 = (A^2 + y_1^2)^{0.5}$
- 9) $x_1 = A / m_1$
- 10) $y_2 = y_1 / m_1$
- 11) $\phi_1 = \sin^{-1}(y_2 \cos d_1)$
- 12) $\phi = \tan^{-1}((a / b) \tan \phi_1)$
- 13) $x_2 = - y_2 \sin d_1$
- 14) $\theta = \tan^{-1}(x_1 / x_2)$

Jika x_2 negatif, maka hasil $\theta + 180$, jika x_2 positif dan x_1 negatif, maka $\theta + 360$, jika tidak maka $\theta = \theta$

- 15) $\lambda = \theta - W + 0.004178 \text{ Delta T}$

Jika nilai λ lebih besar dari **180**, maka $\lambda - 360$, jika λ lebih kecil dari **-180**, maka $\lambda + 360$, jika tidak maka $\lambda = \lambda$

3. Awal dan Akhir Umbral¹³

a. Menentukan saat awal dan akhir umbral

- 1) $\psi_u = \sin^{-1}(m \sin (M - N) / (S_0 - \rho_0))$ (jika S_0 negatif)
- 2) $\psi_u = \sin^{-1}(m \sin (M - N) / (S_0 + \rho_0))$ (jika S_0 positif)
- 3) $t_u = \cos \psi_u / n$
- 4) $t_{mu1} = t_m - t_u$
- 5) $t_{mu2} = t_m + t_u$
- 6) $t_{mu3} = t_u - t_u (S_0 + 1.0025)$
- 7) Awal Umbral UT = TD + $t_{mu1} - \Delta T + t_{mu3}$
- 8) Akhir Umbral UT = TD + $t_{mu2} - \Delta T - t_{mu3}$

Jika jenis gerhana **sentral-hybrid**, maka tidak +/- **t_{mu3}** (**t_{mu3}** tidak digunakan).

b. Menentukan koordinat tempat saat awal umbral

- 1) A = $A_0 + A_1 t_{mu1}$
- 2) B = $B_0 + B_1 t_{mu1}$
- 3) d = $d_0 + d_1 t_{mu1}$

¹³ Ghozali, *al-Durru al-Anīq*, 59-62.

- 4) $W = W_0 + W_1 \text{ tmu}_1$
- 5) $d_1 = \tan^{-1}(\sin d / ((b / a) \cos d))$
- 6) $\rho_1 = ((\sin d)^2 + ((b / a) \cos d)^2)^{0.5}$
- 7) $y_1 = B / \rho_1$
- 8) $m_1 = (A^2 + y_1^2)^{0.5}$
- 9) $x_1 = A / m_1$
- 10) $y_2 = y_1 / m_1$
- 11) $\phi_1 = \sin^{-1}(y_2 \cos d_1)$
- 12) $\phi = \tan^{-1}((a / b) \tan \phi_1)$
- 13) $x_2 = - y_2 \sin d_1$
- 14) $\theta = \tan^{-1}(x_1 / x_2)$

Jika x_2 negatif, maka hasil $\theta + 180$, jika x_2 positif dan x_1 negatif, maka $\theta + 360$, jika tidak maka $\theta = \theta$

$$15) \lambda = \theta - W + 0.004178 \text{ Delta T}$$

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. Menentukan koordinat tempat saat akhir umbral

- 1) $A = A_0 + A_1 \text{ tmu}_2$
- 2) $B = B_0 + B_1 \text{ tmu}_2$
- 3) $d = d_0 + d_1 \text{ tmu}_2$
- 4) $W = W_0 + W_1 \text{ tmu}_2$

- 5) $d_1 = \tan^{-1}(\sin d / ((b / a) \cos d))$
- 6) $\rho_1 = ((\sin d)^2 + ((b / a) \cos d)^2)^{0.5}$
- 7) $y_1 = B / \rho_1$
- 8) $m_1 = (A^2 + y_1^2)^{0.5}$
- 9) $x_1 = A / m_1$
- 10) $y_2 = y_1 / m_1$
- 11) $\phi_1 = \sin^{-1}(y_2 \cos d_1)$
- 12) $\phi = \tan^{-1}((a / b) \tan \phi_1)$
- 13) $x_2 = - y_2 \sin d_1$
- 14) $\theta = \tan^{-1}(x_1 / x_2)$

Jika x_2 negatif, maka hasil $\theta + 180$, jika x_2 positif dan x_1 negatif, maka $\theta + 360$, jika tidak maka $\theta = \theta$

$$15) \lambda = \theta - W + 0.004178 \text{ Delta T}$$

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. Awal dan Akhir Sentral¹⁴

a. Menentukan saat awal dan akhir sentral

- 1) $\psi_s = \sin^{-1}(m \sin (M - N))$
- 2) $t_s = \cos \psi_s / n$
- 3) $t_{ms1} = t_m - t_s$

¹⁴ Ghozali, *al-Durru al-Anīq*, 62-64.

- 4) $t_{ms2} = t_m + t_s$
- 5) $t_{ms3} = t_s - \cos(\sin^{-1}(\sin \psi_s / (S_0 + \rho_0))) / n$
- 6) Awal Sentral UT = TD + t_{ms1} - Delta T + t_{ms3}
- 7) Akhir Sentral UT = TD + t_{ms2} - Delta T - t_{ms3}

Jika jenis gerhana **sentral-hybrid**, maka tidak +/- **tmu3** (**tmu3** tidak digunakan).

b. Menentukan koordinat tempat saat awal sentral

- 1) $A = A_0 + A_1 t_{ms1}$
- 2) $B = B_0 + B_1 t_{ms1}$
- 3) $d = d_0 + d_1 t_{ms1}$
- 4) $W = W_0 + W_1 t_{ms1}$
- 5) $d_1 = \tan^{-1}(\sin d / ((b / a) \cos d))$
- 6) $\rho_1 = ((\sin d)^2 + ((b / a) \cos d)^2)^{0.5}$
- 7) $y_1 = B / \rho_1$
- 8) $m_1 = (A^2 + y_1^2)^{0.5}$
- 9) $x_1 = A / m_1$
- 10) $y_2 = y_1 / m_1$
- 11) $\phi_1 = \sin^{-1}(y_2 \cos d_1)$
- 12) $\phi = \tan^{-1}((a / b) \tan \phi_1)$
- 13) $x_2 = - y_2 \sin d_1$
- 14) $\theta = \tan^{-1}(x_1 / x_2)$

Jika x_2 negatif, maka hasil $\theta + 180$, jika x_2 positif dan x_1 negatif, maka $\theta + 360$, jika tidak maka $\theta = 0$

$$15) \lambda = \theta - W + 0.004178 \text{ Delta T}$$

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. Menentukan koordinat tempat saat akhir sentral

- 1) $A = A_0 + A_1 \text{ tms}^2$
- 2) $B = B_0 + B_1 \text{ tms}^2$
- 3) $d = d_0 + d_1 \text{ tms}^2$
- 4) $W = W_0 + W_1 \text{ tms}^2$
- 5) $d_1 = \tan^{-1}(\sin d / ((b / a) \cos d))$
- 6) $\rho_1 = ((\sin d)^2 + ((b / a) \cos d)^2)^{0.5}$
- 7) $y_1 = B / \rho_1$
- 8) $m_1 = (A^2 + y_1^2)^{0.5}$
- 9) $x_1 = A / m_1$
- 10) $y_2 = y_1 / m_1$
- 11) $\phi_1 = \sin^{-1}(y_2 \cos d_1)$
- 12) $\phi = \tan^{-1}((a / b) \tan \phi_1)$
- 13) $x_2 = - y_2 \sin d_1$
- 14) $\theta = \tan^{-1}(x_1 / x_2)$

Jika x_2 negatif, maka hasil $\theta + 180$, jika x_2 positif dan x_1 negatif, maka $\theta + 360$, jika tidak maka $\theta = \theta$

$$15) \lambda = \theta - W + 0.004178 \text{ Delta T}$$

Jika nilai λ lebih besar dari **180**, maka $\lambda - 360$, jika λ lebih kecil dari **-180**, maka $\lambda + 360$, jika tidak maka $\lambda = \lambda$

5. Jalur Lintas Gerhana Sentral¹⁵

a. Menentukan koordinat jalur titik pusat gerhana sentral

- 1) Jam Rentang Sentral (JRS)¹⁶
- 2) $tmts = JRS + \Delta T - TD$
- 3) $A = A_0 + A_1 tmts$
- 4) $B = B_0 + B_1 tmts$
- 5) $d = d_0 + d_1 tmts$
- 6) $W = W_0 + W_1 tmts$
- 7) $R = R_0 + R_1 tmts$
- 8) $S = S_0 + S_1 tmts$
- 9) $\rho_1 = \sqrt{(1 - c \cos d)^2}$
- 10) $y_1 = B / \rho_1$
- 11) $m_1 = \sqrt{(1 - A^2 - y_1^2)}$
- 12) $ds_1 = \sin d / \rho_1$
- 13) $dc_1 = (1 - c)^{0.5} \cos d / \rho_1$
- 14) $\phi_1 = \sin^{-1}(y_1 dc_1 + m_1 ds_1)$
- 15) $\phi = \tan^{-1}((a / b) \tan \phi_1)$

¹⁵ Ghozali, *al-Durru al-Anīq*, 64-67.

¹⁶ JRS (Jam Rentang Sentral) diisi manual yang masih dalam rentang awal sampai dengan akhir sentral.

$$16) x_I = -y_I ds_1 + m_1 dc_1$$

$$17) \theta = \tan^{-1}(A / x_I)$$

Jika x_2 negatif, maka hasil $\theta + 180$, jika x_2 positif dan x_I negatif, maka $\theta + 360$, jika tidak maka $\theta = \theta$

$$18) \lambda = \theta - W + 0.004178 \text{ Delta T}$$

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. Menentukan tinggi (h) dan azimut (Az) pada jalur titik pusat gerhana sentral

$$1) t = \theta$$

$$2) h = \sin^{-1}(\sin \phi \sin d + \cos \phi \cos d \cos t)$$

$$3) x = \sin d \cos \phi - \cos d \sin \phi \cos t$$

$$4) y = -\cos d \sin t$$

$$5) Az = \tan^{-1}(y / x)$$

Jika x negatif, maka $Az + 180 = Az$, jika x positif dan y negatif, maka $Az + 360 = Az$, jika tidak maka $Az = Az$

c. Menentukan lama, lebar dan magnitudo pada jalur titik pusat gerhana sentral

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

- 2) $ds_2 = (c \sin d \cos d) / (\rho_1 \rho_2)$
- 3) $dc_2 = \sqrt{(1 - c)} / (\rho_1 \rho_2)$
- 4) $\zeta = \rho_2 (m_1 dc_2 - y_1 ds_2)$
- 5) $\mu = W1 \pi / 180$
- 6) $\xi' = (-B \sin d + \zeta \cos d) \mu$
- 7) $\eta' = (W1 A \sin d - d1 \zeta) \pi / 180$
- 8) $L_1 = R - \zeta Z0$
- 9) $L_2 = S - \zeta Z1$
- 10) $ns = A1 - \xi'$
- 11) $nc = B1 - \eta'$
- 12) $n' = \sqrt{(ns^2 + nc^2)}$
- 13) $Lama = 2 (\text{abs } L_2 / n')$
- 14) $k = (m_1^2 + (A ns + B nc)^2 / n'^2)^{0.5}$
- 15) $\text{Lebar} = (12756 \text{ abs } L_2) / k$
- 16) $\text{Mag} = (L_1 - L_2) / (L_2 + L_1)$

d. Menentukan koordinat batas sentral

- 1) $a' = -B1 + \mu A \sin d$
- 2) $b' = A1 + \mu B \sin d + \mu L_2 Z1 \cos d$
- 3) $Q = \tan^{-1}(a' / b')$

Jika nilai b' negatif, maka $b' + 180 = Q$, jika b' positif dan a' negatif, maka $b' + 360 = Q$, jika tidak maka $Q = Q$

- 4) $\xi = A - L_2 \sin Q$

a) Batas Utara

1. $\eta = (B - L_2 \cos Q) / \rho_1$ (jika L_2 negatif)
2. $\eta = (B - L_2 (-\cos Q)) / \rho_1$ (jika L_2 positif)
3. $\zeta_1 = (1 - \xi^2 - \eta^2)^{0.5}$
4. $\zeta = -\eta ds_1 + \zeta_1 dc_1$
5. $\phi_I = \sin^{-1}(\eta dc_1 + \zeta_1 ds_1)$
6. $\phi = \tan^{-1}((a/b) \tan \phi_I)$
7. $\theta = \tan^{-1}(\xi / \zeta)$

Jika nilai ζ negatif, maka $\theta + 180 = \theta$, jika ζ positif dan ξ negatif, maka $\theta + 360 = \theta$, jika tidak maka $\theta = \theta$

8. $\lambda = \theta - W + 0.004178 \text{ Delta T}$

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) Batas Selatan

1. $\eta = (B - L_2 (-\cos Q)) / \rho_1$ (jika L_2 negatif)
2. $\eta = (B - L_2 \cos Q) / \rho_1$ (jika L_2 positif)

3. $\zeta_1 = (1 - \xi^2 - \eta^2)^{0.5}$
4. $\zeta = -\eta \, ds_1 + \zeta_1 \, dc_1$
5. $\phi_I = \sin^{-1}(\eta \, dc_1 + \zeta_1 \, ds_1)$
6. $\phi = \tan^{-1}((a/b) \tan \phi_I)$
7. $\theta = \tan^{-1}(\xi / \zeta)$

Jika nilai ζ negatif, maka $\theta + 180 = \theta$, jika ζ positif dan ξ negatif, maka $\theta + 360 = \theta$, jika tidak maka $\theta = \theta$

8. $\lambda = \theta - W + 0.004178 \text{ Delta T}$

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. Menentukan koordinat batas penumbral

- 1) $a' = -B1 + \mu A \sin d$
- 2) $b' = A1 + \mu B \sin d + \mu L_1 Z0 \cos d$
- 3) $Q = \tan^{-1}(a' / b')$

Jika nilai b' negatif, maka $b' + 180 = Q$, jika b' positif dan a' negatif, maka $b' + 360 = Q$, jika tidak maka $Q = Q$

- 4) $\xi = A - L_1 \sin Q$

a) Batas Utara

1. $\eta = B - L_1 \cos Q$
2. $\zeta_1 = (1 - \xi^2 - \eta^2)^{0.5}$
3. $\zeta = -\eta ds_1 + \zeta_1 dc_1$
4. $\phi_I = \sin^{-1}(\eta dc_1 + \zeta_1 ds_1)$
5. $\phi = \tan^{-1}((a/b) \tan \phi_I)$
6. $\theta = \tan^{-1}(\xi / \zeta)$

Jika nilai ζ negatif, maka $\theta + 180 = \theta$, jika ζ positif dan ξ negatif, maka $\theta + 360 = \theta$, jika tidak maka $\theta = \theta$

$$7. \lambda = \theta - W + 0.004178 \text{ Delta T}$$

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) Batas Selatan

1. $\eta = B - L_1 \cos Q$
2. $\zeta_1 = (1 - \xi^2 - \eta^2)^{0.5}$
3. $\zeta = -\eta ds_1 + \zeta_1 dc_1$
4. $\phi_I = \sin^{-1}(\eta dc_1 + \zeta_1 ds_1)$
5. $\phi = \tan^{-1}((a/b) \tan \phi_I)$
6. $\theta = \tan^{-1}(\xi / \zeta)$

Jika nilai ζ negatif, maka $\theta + 180 = \theta$, jika ζ positif dan ξ negatif, maka $\theta + 360 = \theta$, jika tidak maka $\theta = \theta$

$$7. \lambda = \theta - W + 0.004178 \text{ Delta T}$$

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. Analisis Metode Hisab Gerhana Matahari Global dalam Kitab *al-Durru al-Anīq*

Metode hisab gerhana Matahari global dalam kitab *al-Durru al-Anīq* tergolong simple seperti kitab-kitab karya KH. Ahmad Ghozali yang lain terlebih untuk gerhana sudah menggunakan tabel *elemen besel*. Terbukti dengan hanya menggunakan alat bantu *scientific calculator* sudah cukup, apalagi dengan menggunakan *microsoft excel worksheet, visual basic, dsb.* akan lebih memudahkan para penggunanya. Namun untuk mempermudah sangat disarankan untuk tidak menggunakan kalkulator melihat rumus yang banyak guna meminimalisir kesalahan dalam pemencetan. Rumus yang disediakan dalam kitab *al-Durru al-Anīq* sangat mudah untuk dipraktekkan karena rumus yang ditulis bisa langsung diaplikasikan di kalkulator dan *microsoft excel worksheet*. Bagi para *hāsib* yang sudah terbiasa menggunakan *scientific calculator* tidak akan kebingungan dalam melakukan perhitungan.

1. Teori dan Sumber Data yang digunakan

Teori yang digunakan dalam kitab *al-Durru al-Anīq* adalah *heliosentris* karena sudah menggunakan metode hisab kontemporer dalam menentukan jalur bayangan Bulan. Konsep teori tata surya berbeda dengan konsep dalam gerhana Matahari. Dalam gerhana Matahari yang menjadi pusat adalah Bumi, karena pengamat atau *observer* bertempat tinggal di Bumi. Sehingga tidak bisa disamakan teori tata surya dengan teori gerhana. Dalam gerhana Matahari yang digunakan adalah teori *geosentrik*¹⁷ untuk menentukan sirkulasi gerhana lokal (di suatu tempat) dan *toposentrik*¹⁸ untuk mengetahui parallaks atau posisi *mar'i* Bulan.

Sedangkan untuk bentuk Bumi menggunakan *ellipsoid*. Ellipsoid Bumi (*earth ellipsoid*), yaitu suatu ellipsoid putaran yang dibentuk oleh ellips yang berputar pada sumbu pendeknya. Ahli geodesi menggunakan model ellipsoid Bumi ini sebagai permukaan acuan (*reference surface*) untuk penentuan posisi geodetik. Hal ini sesuai dengan pandangan Newton bahwa Bumi

¹⁷ Hasil wawancara dengan pak. Rinto Anugraha di kampus 1 UIN Walisongo pada tanggal 27 April 2018.

¹⁸ Hasil wawancara dengan Andi Pengerangan di rumahnya Pucang Gading pada tanggal 03 Agustus 2022.

mengalami pegepengan di kutub, dan nilai gaya berat di ekuator lebih kecil dari nilai gaya berat di kutub.¹⁹

Bentuk Bumi sangat diperlukan untuk menghitung jarak dan arah (terkadang beberapa pihak menyebutnya sebagai sudut jurusan, arah, *bearing*, atau *heading*) yang akurat dengan jangkauan yang sangat jauh. Seperti *receivers* GPS untuk memenuhi kebutuhan navigasi menggunakan model Bumi ellipsoid dalam menentukan posisi-posisi pengguna atau target-target yang kemudian ditentukan.²⁰

Untuk menentukan koordinat, jarak, dan arah unsur-unsur spasial di permukaan Bumi, diperlukan kehadiran suatu bidang sebagai referensi hitungan. Bidang ini tentu saja harus memenuhi keteraturan tertentu dan juga konsisten. Sementara itu, pada kenyataannya, permukaan fisik Bumi merupakan permukaan yang sangat tidak teratur. Oleh sebab itu, permukaan Bumi (realitas) tidak dapat digunakan sebagai bidang (referensi) hitungan geodesi.²¹

¹⁹ Hasanuddin Z. Abidin, *Geodesi Satelit* (Jakarta: PT Pradnya Paramita, 2001), 5.

²⁰ Eddy Prahasta, *Sistem Informasi Geografis: Konsep-konsep Dasar Perspektif Geodesi & Geomatika* (Bandung: Informatika, 2009), 215.

²¹ Prahasta, *Sistem Informasi Geografis*, 216.

Terkait dengan hal di atas, untuk memenuhi kebutuhan (referensi) perhitungan terkait kegeodesian, maka permukaan fisik Bumi diganti dengan suatu permukaan yang teratur dengan bentuk dan ukuran yang sangat mendekati Bumi. Permukaan yang dipilih adalah bidang permukaan yang mendekati bentuk dan ukuran geoid. Permukaan geoid memiliki bentuk yang sangat mendekati geometri elips-putar dengan sumbu pendek sebagai sumbu putar yang berimpit dengan sumbu putar Bumi. Kemudian, geometri ellipsoid ini digunakan sebagai bidang referensi, sehingga akhirnya disebut sebagai ellipsoid referensi (permukaan referensi geometrik). Geometri ellipsoid referensi biasanya didefinisikan oleh nilai jari-jari ekuator (a) dan pegepengan (f) ellips putarnya. Sedangkan parameter-parameter lainnya seperti halnya setengah sumbu pendek (b), eksentrisitas (e), dan lain sejenisnya dapat dihitung (atau diturunkan) dengan menggunakan ke dua nilai parameter pertama di atas.²² Penentuan titiknya dinyatakan dengan koordinat yang mengacu pada sistem koordinat *World Geodetic System 1984 (WGS 84)*.²³

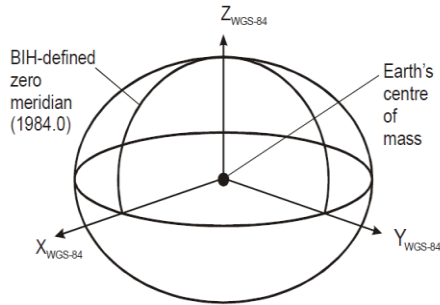
Kaidah-kaidah dalam kitab *al-Durru al-Anīq* yang digunakan dalam rumus menghitung gerhana Matahari global, yaitu:

²² Prahasta, *Sistem Informasi Geografis*, 217.

²³ Prahasta, *Sistem Informasi Geografis*, 222.

- a. Kaidah (a)²⁴ = 6378137
- b. Kaidah (b)²⁵ = 6356752
- c. Kaidah (c) = 0.0066944782

Nilai kaidah-kaidah di atas bersumber dari *World Geodetic System - 1984* yang dikenal dengan WGS-84 sebagai acuan bentuk ellipsoid Bumi sampai saat ini. Teori geodesi terlihat pada sistem yang digunakan oleh GPS dan software GE.²⁶



Gambar 3. 1 Ellipsoid Bumi²⁷

²⁴ Kaidah ini merupakan semi mayor axis ellipsoid (radius equator). Lihat karya KH. Ahmad Ghozali, *Jāmi'u al-Adillah ilā Ma'rifati Simt al-Qiblah*, (Sampang: LAFAL (Lajnah Falakiyan Lanbulan), 2017), 113.

²⁵ Kaidah b adalah semi minor axis ellipsoid (radius pole). Lihat karya KH. Ahmad Ghozali, *Jāmi'u al-Adillah ilā Ma'rifati Simt al-Qiblah*, (Sampang: LAFAL (Lajnah Falakiyan Lanbulan), 2017), 113.

²⁶ Anisah Budiwati, "Tongkat *Istiwa'*, *Global Positioning System* (GPS) dan *Google Earth* untuk Menentukan Titik Koordinat Bumi dan Aplikasinya dalam Penentuan Arah Kiblat", *al-Ahkam* 26 (2016): 89.

²⁷ Lihat jurnal International Civil Aviation Organization (ICAO), *World Geodetic System – 1984 (WGS-84) Manual*, 2nd edition, 2002, chapter 3, 3.

Kaidah c merupakan besaran sferoid Bumi (e^2), cara mendapatkan nilai e^2 dengan persamaan berikut:

$$a \text{ (jejari equator Bumi)} = 6378137 \text{ meter}$$

$$b \text{ (jejari kutub Bumi)} = 6356752 \text{ meter}$$

$$f \text{ (kegepengan)} = (a - b) / a \rightarrow 0.00335285993$$

$$e^2 \text{ (ellipticity)} = (2f - f^2) \rightarrow 0.0066944782$$

Sumber Ellipsoid	(a) meter	(1/f)²⁸
Geodetic Reference System 1980	6378137	298.257222101
WGS-84	6378137	298.257223563
WGS-72	6378135	298.26
WGS-66	6378145	298.25
WGS-60	6378165	298.3
IAG 1976	6378140	298.257
IAU 1975	6378140	298.256
IAU 1964	6378160	298.25

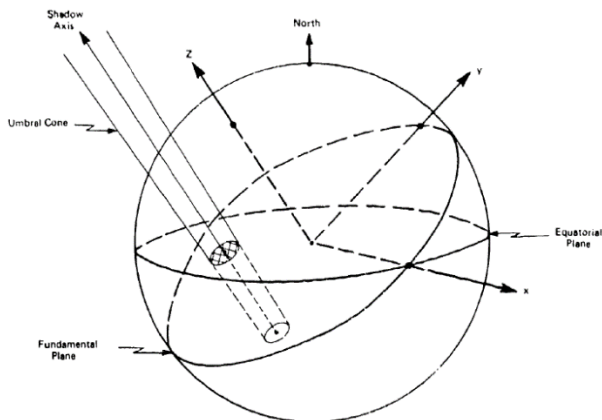
Tabel 3. 1 Ellipsoid Bumi²⁹

Hisab gerhana Matahari sangat kompleks dikarenakan melibatkan tiga benda langit (Matahari, Bulan dan Bumi). Secara singkat data Bumi seperti penjelasan di atas, sedangkan data

²⁸ *Flattening* (penggepengan) ellipsoid.

²⁹ Ahmad Ghozali, *Jāmi'u al-Adillah ilā Ma'rifati Simt al-Qiblah*, (Sampang: LAFAL (Lajnah Falakiyan Lanbulan), 2017), 113.

Matahari dan Bulan dalam berbentuk tabel *elemen besse*³⁰ yang akan digunakan untuk menghitung gerhana Matahari dengan menggunakan Bumi dalam bidang fundamental.³¹



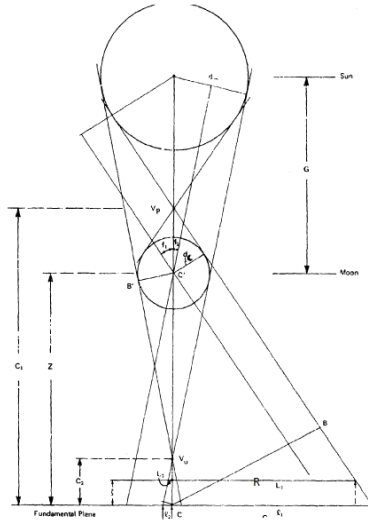
Gambar 3. 2 Bidang Fundamental³²

³⁰ *Elemen Bessel* memberikan posisi sumbu umbral sehubungan dengan bidang fundamental dan ukuran umbra dan penumbra pada contoh tertentu dalam waktu. Bidang fundamental adalah bidang yang memotong pusat Bumi yang tegak lurus dengan garis Bumi-Matahari. Berasal dari ephemerides Bulan dan Matahari, *elemen besse* dapat diwakili oleh polinomial urutan 3 dan 4 selama beberapa jam yang relatif singkat dari gerhana Matahari. Lihat <https://www.eclipse-chasers.com/php/tseAssist.php?SA=1> diakses pada tgl 01 September 2022 M / 5 Safar 1444 H, jam 07:51 PM wib.

³¹ Hasil wawancara dengan KH. Ahmad Ghozali di pondok pesantren Al-Mubarak Lanbulan pada tanggal 16 Agustus 2022.

³² Ilustrasi bidang fundamental Bumi berdasarkan data *elemen besse* yang digunakan dalam gerhana Matahari global. Lihat Wentworth Williams, JR, dkk., *Prediction and Analysis of solar Eclipse Circumstances*, (Massachusetts: Cambridge, 1971), 69.

Bayangan umbra dan penumbra yang jatuh ke Bumi dengan data mentah awal *ephemeris* yang kemudian proyeksikan terhadap Bumi bidang fundamental, diproses dengan menggunakan algoritma dan jadilah tabel *elemen bessel*.



Gambar 3. 3 Bidang Fundamental³³

Elemen bessel yang terdapat dalam kitab *al-Durru al-Anîq* menggunakan orde 0 dan orde 1 sesuai jam TD³⁴ saat terjadi

³³ Gambar tersebut sebagai ilustrasi area umbral dan penumbral dalam bidang fundamental. Lihat Wentworth Williams, JR, dkk., *Prediction and Analysis of solar Eclipse Circumstances*, (Massachusetts: Cambridge, 1971), 71.

³⁴ TD (*Dynamical Time*) adalah waktu seragam yang digunakan dalam kepentingan astronomis, dikarenakan rotasi Bumi tidak konstan sepanjang waktu. Lihat buku Muh Nashirudin, *Kalender Hijriyah Universal*, (Semarang : EL-WAFA, 2013), 77.

gerhana. Dalam buku karya Jean Meeus *Elements of Solar Eclipses 1951-2200* dan website NASA <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/>. Tabel *elemen besse* yang disediakan NASA menggunakan orde 0 sampai orde 3 seperti halnya *elemen besse*-nya Jean Meeus, dan digit angka setelah koma rata-rata lebih banyak dari pada digit angka yang digunakan dalam kitab *al-Durru al-Anīq*.

Contoh tabel *elemen besse* dalam kitab *al-Durru al-Anīq*, Jean Meeus dan NASA untuk gerhana Matahari total pada tanggal 08 April 2024.

Kitab *al-Durru al-Anīq*³⁵

A0	B0	d0	W0	R0	S0	Z0
A1	B1	d1	W1	R1	S1	Z1
-0.31809	0.21975	7.58619	89.59130	0.53582	-0.01027	0.00467
0.51164	0.27092	0.01484	15.00408	0.00005	0.00005	0.00465

Tabel 3. 2 Elemen Bessel

NASA³⁶

n	x	y	d	l1	l2	μ	Tan f
0	-	0.2197	7.5862	0.5358	-	89.5912	
	0.3181 57	47	0	13	0.0102 74	2	
1	0.5117	0.2709	0.0148	0.0000	0.0000	15.0040	0.0046
	105	586	44	618	615	84	683

³⁵ Ghozali, *al-Durru al-Anīq*, 194.

³⁶ NASA, “Besselian Elements for the Total Solar Eclipse of 2024 Apr 08” accessed September 2, 2022 M / 6 Safar 1444 H, <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEbeselm/SEbeselm2001/SE2024Apr08Tbeselm.html>.

2	0.0000 326	- 0.0000 594	- 0.0000 02	- 0.0000 128	- 0.0000 127		0.0046 450
3	- 0.0000 085	- 0.0000 047					

Tabel 3. 3 Elemen Bessel

Jean Meeus³⁷

n	X	Y	d	M	L1	L2	TAN f
0	- 0.31812 0	0.21962 7	7.5862 0	89.591 22	0.5358 07	- 0.0102 65	
1	0.51171 16	0.27095 89	0.0148 44	15.004 083	0.0000 618	0.0000 615	0.0046 683
2	0.00003 26	- 0.00005 95	- 0.0000 02		- 0.0000 128	- 0.0000 127	0.0046 450
3	- 0.00000 842	- 0.00000 466					

Tabel 3. 4 Elemen Bessel

Nilai ketiga tabel *elemen bessel* di atas terdapat sedikit perbedaan walaupun kecil. Orde yang digunakan dalam kitab *al-Durru al-Anīq* hanya orde 0 dan orde 1 dengan mengambil 5 digit angka setelah koma, berbeda dengan NASA dan Jean Meeus yang menggunakan sampai orde 3. Jumlah digit angka setelah koma yang digunakan NASA yaitu 5 sampai 7 angka, sedangkan Jean Meeus mengambil 5 sampai 8 digit angka setelah koma. Perbedaan

³⁷ Jean Meeus, *Elements of Solar Eclipses 1951-2200*, (Virginia: Willmann-Bell, Inc. 1989), 63.

ini untuk proses perhitungan yang Panjang akan mempengaruhi terhadap hasil walaupun tidak signifikan.

2. Analisis Perhitungan

Perhitungan dalam kitab *al-Durru al-Anîq* banyak mengadopsi dari Muhammad Odeh dan hasil temuan pengarang sendiri. Terdapat beberapa algoritma yang penulis temukan yang memiliki kemiripan dengan rumus yang ada dalam buku *Elemens of Solar Eclipses 1951-2200* karya Jean Meeus yang merupakan salah satu referensi NASA dan buku *Prediction and Analysis of Solar Eclipse Circumstances* karya Williams. Penggunaan lambang dalam rumus banyak yang berbeda:

<i>al-Durru al-Anîq</i>	Jean Meeus
$A = A0 + A1 \text{ tm}$	$x = x0 + x1 t + x2 t^2 + x3 t^3$
$\rho_0 = (1 - c \cos d)^{0.5}$	$\omega = 1 / \sqrt{1 - 0.006694385 \cos^2 d}$
$y_1 = B / \rho_0$	$y_1 = \omega Y$
$z = (1 - A^2 - y_1^2)^{0.5}$	$B = \sqrt{1 - x^2 - y_1^2} > 0$
$\phi_1 = \sin^{-1}(y_1 \cos d_1 + z \sin d_1)$	$\sin \phi_1 = B b_1 + y_1 b_2$
$\phi = \tan^{-1}((a / b) \tan \phi_1)$	$\tan \phi = 1.00336409 \tan \phi_1$
$\lambda = \theta - W + 0.004178 \text{ Delta T}$	$\lambda = M - H - 0.00417807 \Delta T$
$n_1 = ((A1 - \xi')^2 + (B1 - \eta')^2)^{0.5}$	$n = \sqrt{a^2 + b^2} > 0$
$\text{Lama}^{38} = \text{abs}(2 L_1) / n_1$	$\text{Duration}^{39} = 7200 L2' / n$
$k = (z^2 + (A(A1 - \xi') + B(B1 - \eta'))^2 / n_1^2)^{0.5}$	$K^2 = B^2 + (Xa + Yb)^2 / n^2$

³⁸ Dalam satuan jam.

³⁹ Dalam satuan detik.

$\text{Lebar} = (2 a_1 \text{ abs } (L_1)) / k$	$\text{Width}^{40} = 12756 L_2' / K$
---	--

Tabel 3. 5 Komparasi Algoritma Kitab *al-Durru al-Anīq* dengan Jean Meeus

Kemiripan algoritma di atas sangatlah wajar karena pada dasarnya rumus dasar trigonometri sama, selebihnya bisa menggunakan atau tidak. Semakin banyak perhitungan yang dilakukan, maka semakin besar juga selisih yang akan didapatkan.

3. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan gerhana Matahari global penulis membagi menjadi dua, yaitu gerhana Sentral dan gerhana non-Sentral. Untuk akurasi gerhana non-sentral akurat hanya selisih di detik saja ketika dikomparasikan dengan NASA. Sedangkan gerhana sentral untuk fase penumbra dan puncak gerhana akurat, berbeda dengan awal dan akhir umbra yang memiliki akurasi bervariasi berkisar antara detik – 3 menit 12 detik.

Berdasarkan penjelasan di atas terdapat beberapa faktor yang penulis dapat, yaitu:

- a. Karya KH. Ahmad Ghozali dikenal dengan rumus yang simple karena salah satu tujuannya supaya mudah dan bisa digunakan dengan alat hitung sederhana, sebab itu harus

⁴⁰ Satuan dinyatakan dalam km. Nilai 12756 adalah diameter di katulistiwa Bumi. Hasil wawancara dengan Andi Pangeran, tgl 03 Agustus 2022.

memangkas data dan iterasi sehingga pada suatu waktu akan mempengaruhi terhadap akurasi.

- b. Jarak Bulan dengan Bumi juga mempengaruhi terhadap hasil perhitungan, ketika jarak Bulan dengan Bumi semakin dekat maka bayangan umbra yang jatuh kepermukaan Bumi melebar sehingga akurasi berkurang.
- c. Terdapat logika dalam penggunaan *ta'dīl sā'ah* yang ketiga butuh untuk diperbaiki.

BAB IV

REFORMULASI HISAB GERHANA MATAHARI GLOBAL SAAT AWAL DAN AKHIR UMBRA

A. Algoritma Reformulasi Hisab Gerhana Matahari Global Saat Awal dan Akhir Umbra

Berdasarkan penjelasan sebelumnya, bahwa hasil hisab gerhana Matahari global saat awal dan akhir umbra memiliki akurasi yang tidak akurat dengan selisih di orde menit (1-3 menit). Reformulasi hisab gerhana Matahari global dibutuhkan untuk mendapatkan akurasi yang akurat saat kontak awal dan akhir umbra. Ada beberapa langkah yang penulis lakukan, yaitu dengan penambahan algoritma setelah mendapatkan koordinat puncak gerhana, kemudian melakukan iterasi untuk mendapatkan nilai S' dan tu' dan memperbaiki logika dalam penggunaan $tmu3$ dari hasil iterasi. Adapun algoritma awal yang ada dalam kitab *al-Durru al-Anīq* masih sama seperti yang tulis di bab sebelumnya.

Algoritma yang akan penulis tulis hanya berkaitan dengan waktu saat awal dan akhir umbra. Selain itu, mengikuti rumus yang ada dalam kitab serta data *elemen besel* masih sama. Algoritma serta langkah-langkah reformulasi hisab gerhana Matahari global saat awal dan akhir umbra sebagai berikut:

1. Menghitung Puncak Gerhana Global (tengah gerhana)⁴¹

Puncak gerhana atau *greatest eclipse* merupakan kondisi dimana saat sumbu kerucut bayangan Bulan lewat paling dekat dengan Bumi. Dalam menghitung puncak gerhana yang akan dicari adalah waktu puncak gerhana, tipe dan jenis gerhana, koordinat tempat, *altitude* Matahari, azimut Matahari, durasi gerhana, lebar gerhana (km), dan magnitudo gerhana.

Namun, untuk melakukan reformulasi hanya mengambil data yang dibutuhkan, yaitu komponen menghitung waktu puncak gerhana dan koordinat tempat saat tengah gerhana.

a. Menentukan waktu terjadinya puncak gerhana global

- 1) $A0$ (*thūl zil qamar*) = (diambil dari *elemen besse*l)
- 2) $B0$ (*'arḍ zil qamar*) = (diambil dari *elemen besse*l)
- 3) M (*al-mahfūz al-awal*) = $\tan^{-1} (A0 / B0)$

Jika $B0$ negatif (-), maka hasil ditambah 180, jika $B0$ positif (+) dan $A0$ negatif (-), maka hasil ditambah 360.

- 4) m (*bu'du al-zil*) = $(A0^2 + B0^2)^{0.5}$
- 5) $A1$ (*ta'dīl al-zil fī al-thūl*) = (diambil dari *elemen besse*l)

⁴¹ Ghozali, *al-Durru al-Anīq*, 53-56.

$$6) B1 \text{ (} ta'dīl \text{ al-}zīl \text{ fī al- 'ard) = (diambil dari elemen } \\ \textit{bessel})$$

$$7) N \text{ (} al\text{-mahfūz al-}sānī) = \tan^{-1} (A1 / B1)$$

Jika **B1** negatif, maka hasil ditambah 180, jika **B1** positif dan **A1** negatif, maka hasil ditambah 360, jika tidak maka **N**.

$$8) n \text{ (} sabaq \text{ al-}zīl) = (A1^2 + B1^2)^{0.5}$$

$$9) tm \text{ (} ta'dīl \text{ sā'ah wasaṭ al-}kusūf) = -(m \cos (M - \\ N)) / n$$

$$10) SWK \text{ (} sā'ah \text{ wasaṭ al-}kusūf \text{ bi al-}sā'ah \text{ al- 'ālamiyah) = } \\ TD + tm - \text{delta T}$$

$$11) R \text{ (} niṣfu \text{ qaṭr syibhi al-}zīl) = R0 + R1 \text{ tm}$$

$$12) S \text{ (} niṣfu \text{ qaṭr al-}zīl) = S0 + S1 \text{ tm}$$

b. Menentukan tipe dan jenis gerhana

1) Jika nilai **m** lebih kecil dari **0.9972**, maka terjadi gerhana sentral dan mempunyai tiga jenis:

- a) Sentral-total, jika nilai **S** negatif,
- b) Sentral-hybrid, jika nilai **S** lebih besar dari 0 dan lebih kecil dari 0.0047,
- c) Sentral-cincin, jika nilai **S** lebih besar dari 0.0047.

2) Jika nilai **m** lebih besar dari **0.9972** dan lebih kecil dari jumlah **0.9972** dan **S** , maka terjadi gerhana non sentral dengan salah satu dari tiga jenis:

- a) Non sentral-total, jika nilai **S** negatif,
- b) Non sentral- cincin, jika nilai **S** positif,
- c) Partial, jika nilai **m** lebih besar dari **0.9972** dan lebih kecil dari **1.5433** dan nilai **S**.

3) Jika nilai **m** lebih besar dari jumlah **1.5433** dan nilai **S**, maka tidak terjadi gerhana.

c. Menentukan posisi koordinat tempat saat tengah gerhana global

- 1) a = 6378137
- 2) b = 6356752
- 3) c = 0.0066944782
- 4) A (*tūl al-zil*) = A0 + A1 tm
- 5) B (*'arḍ al-zil*) = B0 + B1 tm
- 6) d (*mail al- zil*) = d0 + d1 tm
- 7) W (*zāwiyah waqt al-zil*) = W0 + W1 tm
- 8) ρ_0 (*al-bu'du al-awwal*) = $(1 - c \cos d)^{0.5}$
- 9) d_1 (*mail al-zil al-awwal*) = $\tan^{-1}(\sin d / (\cos d (b/a)))$
- 10) ρ_1 (*al-bu'du al-sānī*) = $((\sin d (b / a))^2 + (\cos d)^2)^{0.5}$
- 11) d_2 (*mail al-zil al-sānī*) = $\tan^{-1}((b / a) \sin d / \cos d)$
- 12) y_1 (*'arḍ al-zil al-mar'ī al-awwal*) = B / ρ_0

a) Gerhana Sentral

1) z (*al-mahfūz al-šālīs*) = $(1 - A^2 - y_1^2)^{0.5}$

2) ϕ_1 (*ta'dīl 'arḍ al-balad*) = $\sin^{-1}(y_1 \cos d_1 + z \sin d_1)$

3) ϕ (*'arḍ al-balad*) = $\tan^{-1}((a / b) \tan \phi_1)$

4) x_2 (*al-ma'khūz al-awwal*) = $-y_1 \sin d_1 + z \cos d_1$

5) θ (*zāwiyah al-waqt*) = $\tan^{-1}(A / x_2)$

Jika x_2 negatif, maka hasil $\theta + 180$, jika x_2 positif dan A negatif, maka $\theta + 360$, jika tidak maka $\theta = \theta$

6) λ (*tūl al-balad*) = $\theta - W + 0.004178 \text{ Delta T}$

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) Gerhana Non Sentral

1. m_1 (*bu'du al-zīl al-mar'ī*) = $(A^2 + y_1^2)^{0.5}$

2. x_1 (*tūl al-zīl al-mar'ī*) = A / m_1

3. y_2 (*'arḍ al-zīl al-mar'ī al-šānī*) = y_1 / m_1

4. ϕ_1 (*ta'dīl 'arḍ al-balad*) = $\sin^{-1}(y_2 \cos d_1)$

5. ϕ ('*arḍ al-balad*) ϕ_1 = $\tan^{-1}((a / b) \tan \phi_1)$
6. x_2 (*al-ma 'khūz al-sānī*) = $- y_2 \sin d_1$
7. θ (*faḍl dāir al-zil*) = $\tan^{-1}(x_1 / x_2)$

Jika x_2 negatif, maka hasil $\theta + 180$, jika x_2 positif dan A negatif, maka $\theta + 360$, jika tidak maka $\theta = \theta$

8. λ (*tūl al-balad*) = $\theta - W + 0.004178 \Delta T$

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 Koordinat Rektangular Geosentrik Pengamat Saat Puncak Gerhana

Setelah mengetahui koordinat puncak gerhana, kemudian koordinat tersebut penulis manfaatkan untuk mencari koreksi waktu umbra (tmu3). Langkah awal menghitung koordinat rektangular geosentrik puncak gerhana dengan data lintang puncak gerhana (ϕ), konstanta 0.99664719 (penggepengan Bumi 1-1/298.257), tinggi tempat (h) = 0, dan jari-jari katulistiwa Bumi (6378140).

- 1) $\tan u = 0.99664719 \tan \phi$

$$2) \rho \sin \phi' = 0.99664719 \sin u + (h / 6378140) \sin \phi$$

$$3) \rho \cos \phi' = \cos u + (h / 6378140) \sin \phi$$

e. Menghitung Koordinat Sudut Pengamat Saat Puncak Gerhana

Menghitung koordinat sudut pengamat membutuhkan *hour angle* (sudut waktu) yang bersesuaian dengan koordinat pengamat, data *elemen besel* komponen W (asensiorekta Matahari) dan komponen d (deklinasi Matahari). Sudut pengamat memiliki tiga sumbu ξ (*xi*), η (*eta*), dan ζ (*zeta*). Nilai 0.00417807 merupakan nilai desimal $0^\circ 0' 15.041''$ (konversi satu detik jam ke satuan derajat). Nilai 0.01745329 = $\pi / 180$ (konversi derajat ke radian).

$$1) H = W_0 + \lambda - 0.00417807 \text{ Delta T}$$

$$2) \xi = \rho \cos \phi' \sin H$$

$$3) \eta = \rho \sin \phi' \cos d_0 - \rho \cos \phi' \cos H \sin d_0$$

$$4) \zeta = \rho \sin \phi' \sin d_0 + \rho \cos \phi' \cos H \cos d_0$$

$$5) \xi' = 0.01745329 W_1 \rho \cos \phi' \cos H$$

$$6) \eta' = 0.01745329 (W_1 \xi \sin d_0 - r d_1)$$

f. Menghitung Koreksi Waktu Gerhana

Hasil perhitungan dua koordinat sebelumnya (koordinat bidang fundamental dan koordinat pengamat), kemudian dihubungkan dengan sesama sumbunya untuk memperoleh nilai jarak keduanya. Nilai tersebut yang akan digunakan

untuk perhitungan koreksi waktu gerhana. Selisih antara sumbu koordinat bidang fundamental dengan koordinat pengamat (u dan v).⁴²

Sedangkan selisih variasi perjamnya untuk sumbu koordinat bidang fundamental dengan koordinat pengamat (a dan b). Besaran kecepatan yang digunakan untuk membagi nilai jarak (n^2).⁴³

- 1) $u = A0 - \xi$
- 2) $v = B0 - \eta$
- 3) $a = A1 - \xi'$
- 4) $b = B1 - \eta'$
- 5) $n^2 = a^2 + b^2$
- 6) $tm1 = -(u a + v b) / n^2$

g. Melakukan Iterasi

Iterasi yang dibutuhkan dalam mencari tu dan $tmu3$ gerhana Matahari global cukup tiga kali iterasi. Hal ini sama dengan iterasi untuk hisab gerhana Matahari lokal yang hanya memerlukan iterasi tiga kali saja dikarenakan iterasi

⁴² Alfian Maghfuri, *Algoritma Gerhana : Kajian Mengenai Perhitungan Gerhana Matahari dengan Data Ephemeris Hisab Rukyat*, (Bojonegoro: CV. Madza Media, 2020), cet. I, 105.

⁴³ Maghfuri, *Algoritma Gerhana*, 106.

selanjutnya dominan sama hasilnya yang tidak akan berpengaruh besar terhadap akurasi waktu fase gerhana.

Adapun data yang diperlukan dalam melakukan iterasi pertama untuk mencari (tk1) yaitu data *elemen besel* (A, B, d, dan W) yang akan dikalikan dengan tm1, dan data-data saat menghitung koordinat sudut pengamat serta data-data saat menghitung koreksi sudut waktu gerhana.

- 1) A = A0 + A1 tm1
- 2) B = B0 + B1 tm1
- 3) d = d0 + d1 tm1
- 4) W = W0 + W1 tm1
- 5) H = W0 + λ - 0.00417807 Delta T
- 6) ξ = ρ cos φ' sin H
- 7) η = ρ sin φ' cos d0 - ρ cos φ' cos H sin d0
- 8) ζ = ρ sin φ' sin d0 + ρ cos φ' cos H cos d0
- 9) ξ' = 0.01745329 W1 ρ cos φ' cos H
- 10) η' = 0.01745329 (W1 ξ sin d0 - r d1)
- 11) u = A0 - ξ
- 12) v = B0 - η
- 13) a = A1 - ξ'
- 14) b = B1 - η'
- 15) n² = a² + b²
- 16) tk1 = - (u a + v b) / n² + tm1

Iterasi kedua untuk mencari (tk2), data yang dibutuhkan yaitu data *elemen besel* (A, B, d, dan W) yang akan dikalikan dengan tk1 serta komponen yang ada di iterasi pertama.

- 1) A = A0 + A1 tk1
- 2) B = B0 + B1 tk1
- 3) d = d0 + d1 tk1
- 4) W = W0 + W1 tk1
- 5) H = W0 + λ - 0.00417807 Delta T
- 6) ξ = ρ cos φ' sin H
- 7) η = ρ sin φ' cos d0 - ρ cos φ' cos H sin d0
- 8) ζ = ρ sin φ' sin d0 + ρ cos φ' cos H cos d0
- 9) ζ' = 0.01745329 W1 ρ cos φ' cos H
- 10) η' = 0.01745329 (W1 ξ sin d0 - r d1)
- 11) u = A0 - ξ
- 12) v = B0 - η
- 13) a = A1 - ζ'
- 14) b = B1 - η'
- 15) n² = a² + b²
- 16) tk2 = - (u a + v b) / n² + tk1

Iterasi ketiga atau terakhir untuk mencari S' dan tu' data yang dibutuhkan yaitu data *elemen besel* (A, B, d, W, S, dan R) yang akan dikalikan dengan tk1 serta komponen yang ada di iterasi kedua.

- 1) $A = A_0 + A_1 \text{ tk}^2$
- 2) $B = B_0 + B_1 \text{ tk}^2$
- 3) $d = d_0 + d_1 \text{ tk}^2$
- 4) $W = W_0 + W_1 \text{ tk}^2$
- 5) $S = S_0 + S_1 \text{ tk}^2$
- 6) $H = W_0 + \lambda - 0.00417807 \text{ Delta T}$
- 7) $\xi = \rho \cos \phi' \sin H$
- 8) $\eta = \rho \sin \phi' \cos d_0 - \rho \cos \phi' \cos H \sin d_0$
- 9) $\zeta = \rho \sin \phi' \sin d_0 + \rho \cos \phi' \cos H \cos d_0$
- 10) $\xi' = 0.01745329 W_1 \rho \cos \phi' \cos H$
- 11) $\eta' = 0.01745329 (W_1 \xi \sin d_0 - r d_1)$
- 12) $u = A_0 - \xi$
- 13) $v = B_0 - \eta$
- 14) $a = A_1 - \xi'$
- 15) $b = B_1 - \eta'$
- 16) $n^2 = a^2 + b^2$
- 17) $\text{tk}^3 = -(u a + v b) / n^2 + \text{tk}^2$

h. Menghitung S' dan tu'

Perhitungan di awal digunakan untuk mencari komponen (S' dan tu') yang akan digunakan dalam perhitungan fase awal dan akhir umbra.

- 1) $R' = R - r Z_0$
- 2) $S' = S - r Z_1$
- 3) $n = \sqrt{n^2}$

$$4) k = (a v - u b) / (n R')$$

$$5) tu' = \text{abs} ((R' / n) \sqrt{(1 - k^2)})$$

2. Menghitung Waktu Awal dan Akhir Umbra

Reformulasi hisab gerhana Matahari global saat awal dan akhir umbra dengan menggabungkan data awal (sesuai dari kitab) dan dua komponen dari hasil modifikasi (S' dan tu'). Sehingga butuh ketelitian dalam pengambilan komponen yang akan dimasukkan ke dalam rumus.

a. Menentukan saat awal dan akhir umbral

- 1) ψ_u (*daqā'iq al-kusūf al-šānī*) = $\sin^{-1}(m \sin (M - N) / (S_0 - /+ \rho_0))^{44}$
- 2) tu (*sā'ah al-suqūṭ*) = $\cos \psi_u / n$
- 3) t_{mu1} (*ta'dīl sā'ah al-suqūṭ al-awwal*) = $t_m - tu$
- 4) t_{mu2} (*ta'dīl sā'ah al-suqūṭ al-šānī*) = $t_m + tu$
- 5) t_{mu3} (*ta'dīl sā'ah al-suqūṭ al-šālīs*) = $tu' - tu' (S' + 1.0025)$
- 6) Awal Umbral UT = $TD + t_{mu1} - \text{Delta T} +/- t_{mu3}$
- 7) Akhir Umbral UT = $TD + t_{mu2} - \text{Delta T} -/+ t_{mu3}$

⁴⁴ Jika S_0 negatif maka, $(S_0 - \rho_0)$, tapi jika S_0 positif, maka $(S_0 + \rho_0)$

Jika gerhana Matahari **total**, maka awal umbra – tmu3 dan akhir umbra + tmu3. Jika gerhana **sentral-hybrid** atau **annular**, maka awal umbra + tmu3 dan akhir umbra – tmu3.

b. Menentukan koordinat tempat saat awal umbral

- 1) A (*tūl al-zīl*) = $A_0 + A_1$ tmu1
- 2) B (*'arḍ al-zīl*) = $B_0 + B_1$ tmu1
- 3) d (*mail al-zīl*) = $d_0 + d_1$ tmu1
- 4) W (*zāwiyah waqt al-zīl*) = $W_0 + W_1$ tmu1
- 5) d_1 (*mail al-zīl al-awwal*) = $\tan^{-1}(\sin d / ((b / a) \cos d))$
- 6) ρ_1 (*al-bu'du al-awwal*) = $((\sin d)^2 + ((b / a) \cos d)^2)^{0.5}$
- 7) y_1 (*'arḍ al-zīl al-mar'ī al-awwal*) = B / ρ_1
- 8) m_1 (*bu'du al-zīl al-mar'ī*) = $(A^2 + y_1^2)^{0.5}$
- 9) x_1 (*tūl al-zīl al-mar'ī*) = A / m_1
- 10) y_2 (*'arḍ al-zīl al-mar'ī al-šānī*) = y_1 / m_1
- 11) ϕ_1 (*ta'dīl 'arḍ al-balad*) = $\sin^{-1}(y_2 \cos d_1)$
- 12) ϕ (*'arḍ al-balad*) = $\tan^{-1}((a / b) \tan \phi_1)$
- 13) x_2 (*al-ma'khūz al-šānī*) = $- y_2 \sin d_1$
- 14) θ (*faḍl dāir al-zīl*) = $\tan^{-1}(x_1 / x_2)$

Jika x_2 negatif, maka hasil $\theta + 180$, jika x_2 positif dan x_1 negatif, maka $\theta + 360$, jika tidak maka $\theta = \theta$

$$15) \lambda \text{ (} \underline{t\bar{u}l} \text{ al-balad) } = \theta - W + 0.004178 \text{ Delta}$$

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. Menentukan koordinat tempat saat akhir umbral

- 1) A (*t̄ul al-z̄il*) = A0 + A1 tmu2
- 2) B (*'arḍ al-z̄il*) = B0 + B1 tmu2
- 3) d (*mail al- z̄il*) = d0 + d1 tmu2
- 4) W (*zāwiyah waqt al-z̄il*) = W0 + W1 tmu2
- 5) d₁ (*mail al-z̄il al-awwal*) = $\tan^{-1}(\sin d / ((b / a) \cos d))$
- 6) ρ₁ (*al-bu'du al-awwal*) = $((\sin d)^2 + ((b / a) \cos d)^2)^{0.5}$
- 7) y₁ (*'arḍ al-z̄il al-mar'ī al-awwal*) = B / ρ₁
- 8) m₁ (*bu'du al-z̄il al-mar'ī*) = $(A^2 + y_1^2)^{0.5}$
- 9) x₁ (*t̄ul al-z̄il al-mar'ī*) = A / m₁
- 10) y₂ (*'arḍ al-z̄il al-mar'ī al-šānī*) = y₁ / m₁
- 11) φ₁ (*ta'dīl 'arḍ al-balad*) = $\sin^{-1}(y_2 \cos d_1)$
- 12) φ (*'arḍ al-balad*) = $\tan^{-1}((a / b) \tan \phi_1)$
- 13) x₂ (*al-ma'khūz al-šānī*) = - y₂ sin d₁
- 14) θ (*faḍl dāir al-z̄il*) = $\tan^{-1}(x_1 / x_2)$

Jika x₂ negatif, maka hasil **θ + 180**, jika x₂ positif dan x₁ negatif, maka **θ + 360**, jika tidak maka **θ = θ**

$$15) \lambda \text{ (} \bar{t} \text{ul al-balad)} = \theta - W + 0.004178 \text{ Delta}$$

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. Analisis Akurasi Hisab Gerhana Matahari Global Saat Awal dan Akhir Umbra

Pengkajian terhadap analisis akurasi hisab, penulis akan menjelaskan hasil hisab dari kitab *al-Durru al-Anīq* sebagai pandangan umum terkait waktu gerhana, koordinat, tinggi dan azimut Matahari, magnitudo, durasi dan lebar gerhana. Selain itu, peta jalur gerhana atau *tracking* gerhana juga akan dicantumkan. Adapun analisis akurasi, *pertama* penulis akan mengkomparasikan hasil hisab dalam kitab dengan NASA, dan *kedua* mengkomparasikan hasil reformulasi dengan NASA. Sehingga akan diketahui sejauh mana kontribusi hasil reformulasi hisab gerhana Matahari global untuk awal dan akhir umbra.

1. Analisis Gerhana Matahari Total

Gerhana Matahari total merupakan suatu kondisi dimana bayangan umbra Bulan jatuh di permukaan Bumi. Kondisi tersebut adakalanya jarak antara Bulan dengan Bumi dekat dan adakalanya jauh. dua kondisi tersebut akan menjadi faktor akurasi prediksi gerhana. Terdapat beberapa contoh prediksi gerhana Matahari yang memiliki akurasi tidak akurat.

Pada tanggal 08 April 2024 akan terjadi gerhana Matahari total. Berdasarkan hasil hisab kitab *al-Durru al-Anīq* di dapatkan *Greatest eclipse* pukul 18:17:15 UT, Magnitudo 1.0565, *Local circumstances at greatest eclipse* $25^{\circ}17'06.49''$ LU, $104^{\circ}07'22.39''$ BB, *Sun Alt.* $69^{\circ}47'45.85''$, *Sun Azm.* $149^{\circ}23'05.22''$, Lebar (km) 197.49, dan Lama gerhana (sentral) 4 menit 28 detik.

Phase	Kitab	NASA	Selisih
Awal Penumbra (P1)	15:42:07	15:42:07	0 ^m 0 ^d
Awal Umbra (U1)	16:39:48	16:38:44	1 ^m 4 ^d
Puncak Gerhana	18:17:15	18:17:13	0 ^m 2 ^d
Akhir Umbra (U4)	19:54:41	19:55:29	0 ^m 48 ^d
Akhir Penumbra (P4)	20:52:22	20:52:14	0 ^m 8 ^d

Tabel 4. 1 Hasil Hisab Gerhana Matahari Total

Komparasi hasil hisab di atas berdasarkan murni dari kitab yang sudah diprogram menggunakan *Microsoft Excel* menunjukkan bahwa semua fase gerhana selisih hanya di detik saja kecuali untuk awal umbra 1 menit 4 detik dan akhir umbra yang hampir 1 menit. Fokus reformulasi saat fase awal dan akhir umbra karena selisih lebih satu menit. Setelah dilakukan reformulasi selisih hanya di detik saja, bahkan tidak sampai 30 detik. Adapun perbandingan hasil reformulasi dengan NASA sebagai berikut.

Phase	Reformulasi	NASA	Selisih
Awal Umbra (U1)	16:38:49	16:38:44	0 ^m 5 ^d
Akhir Umbra (U4)	19:55:40	19:55:29	0 ^m 11 ^d

Tabel 4. 2 Hasil Reformulasi Hisab Gerhana Matahari Total

Jalur gerhana Matahari total pada 08 April 2024 terlihat dari wilayah geografis Meksiko, Central U.S., dan Kanada Timur (total), dan geografis Amerika Utara dan Amerika Tengah (parsial).⁴⁵



Gambar 4. 1 Peta Jalur Gerhana Total (Sumber:

<https://eclipsewise.com/solar/SEgmapx/2001-2100/SE2024Apr08Tgmapx.html>)⁴⁶

Gerhana Matahari total pada tanggal 02 Agustus 2027, berdasarkan hasil hisab kitab *al-Durru al-Anīq* di dapatkan *Greatest eclipse* pukul 10:06:33 UT, Magnitudo 1.0790, *Local*

⁴⁵ Lihat Fred Espenak, “Solar Eclipse Prime Page” accessed October 31, 2022 M / 6 Rabiul Akhir 1444 H, <https://eclipsewise.com/solar/SEprime/2001-2100/SE2024Apr08Tprime.html>.

⁴⁶ Lihat Fred Espenak, “Google Eclipse Map Page” accessed September 4, 2022 M / 8 Safar 1444 H, <https://eclipsewise.com/solar/SEgmapx/2001-2100/SE2024Apr08Tgmapx.html>.

circumstances at greatest eclipse 25°30'19.60" LU, 33°11'59.96" BT, Sun Alt. 81°41'05.82", Sun Azm. 201°59'50.69", Lebar (km) 257.46, dan Lama gerhana (sentral) 6 menit 22 detik.

Phase	Kitab	NASA	Selisih
Awal Penumbra (P1)	07:30:01	07:30:00	0 ^m 1 ^d
Awal Umbra (U1)	08:24:51	08:23:16	1 ^m 35 ^d
Puncak Gerhana	10:06:33	10:06:29	0 ^m 4 ^d
Akhir Umbra (U4)	11:48:15	11:49:44	1 ^m 29 ^d
Akhir Penumbra (P4)	12:43:06	12:43:00	0 ^m 6 ^d

Tabel 4. 3 Hasil Hisab Gerhana Matahari Total

Perbandingan di atas memberikan kesimpulan bahwa hanya fase awal dan akhir umbra yang memiliki selisih lebih dari satu menit. Awal umbra selisih 1 menit 35 detik dan akhir umbra 1 menit 29 detik. Ketika direformulasi menghasilkan akurasi yang tinggi hanya selisih di detik.

Phase	Reformulasi	NASA	Selisih
Awal Umbra (U1)	08:23:23	08:23:16	0 ^m 7 ^d
Akhir Umbra (U4)	11:49:43	11:49:44	0 ^m 1 ^d

Tabel 4. 4 Hasil Reformulasi Hisab Gerhana Matahari Total

Wilayah geografis yang dilewati gerhana Matahari total pada tanggal 02 Agustus 2027, Maroko, Spanyol, Aljazair, Libya, Mesir, Arab Saudi, Yaman, dan Somalia (total), dan

17°14'42.15", Lebar (km) 230.20, dan Lama gerhana (sentral) 5 menit 9 detik.

Phase	Kitab	NASA	Selisih
Awal Penumbra (P1)	00:27:29	00:27:23	0 ^m 6 ^d
Awal Umbra (U1)	01:31:33	01:30:31	1 ^m 2 ^d
Puncak Gerhana	02:55:22	02:55:18	0 ^m 4 ^d
Akhir Umbra (U4)	04:19:11	04:19:53	0 ^m 42 ^d
Akhir Penumbra (P4)	05:23:15	05:23:00	0 ^m 15 ^d

Tabel 4. 5 Hasil Hisab Gerhana Matahari Total

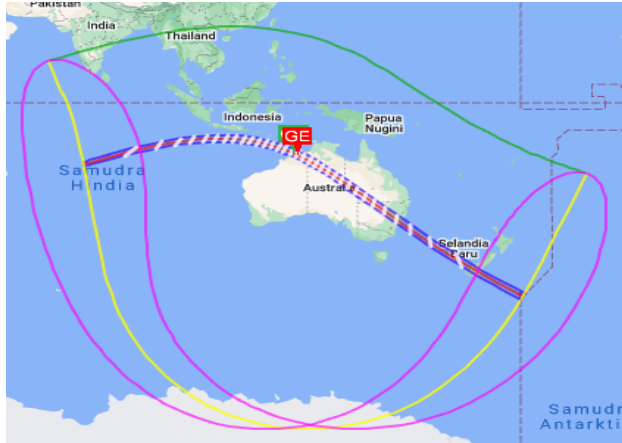
Selisih dari kedua prediksi tersebut untuk awal penumbra 6 detik dan akhir penumbra 15 detik, awal umbra 1 menit 2 detik dan akhir umbra 42 detik, dan puncak gerhana 4 detik. Setelah dilakukan reformulasi untuk awal umbra selisih 6 detik dan akhir umbra selisih 26 detik.

Phase	Reformulasi	NASA	Selisih
Awal Umbra (U1)	01:30:25	01:30:31	0 ^m 6 ^d
Akhir Umbra (U4)	04:20:19	04:19:53	0 ^m 26 ^d

Tabel 4. 6 Hasil Reformulasi Hisab Gerhana Matahari Total

Berdasarkan map jalur gerhana Matahari total pada 22 Juli 2028 terlihat dari wilayah geografis Australia dan Selandia Baru (total), dan wilayah geografis Asia Tenggara, Hindia Timur, Australia, dan Selandia Baru (parsial).⁴⁹

⁴⁹ Lihat Fred Espenak, "Solar Eclipse Prime Page" accessed October 31, 2022 M / 6 Rabiul Akhir 1444 H, <https://eclipsewise.com/solar/SEprime/2001-2100/SE2028Jul22Tprime.html>.



Gambar 4. 3 Peta Jalur Gerhana Total (Sumber: <https://eclipsewise.com/solar/SEgmapx/2001-2100/SE2028Jul22Tgmapx.html>)⁵⁰

2. Analisis Gerhana Matahari Annular/Cincin

Gerhana Matahari cincin terjadi ketika bayangan atumbra jatuh ke permukaan Bumi. Jumlah gerhana cincin lebih banyak dibandingkan dengan gerhana total. Contoh prediksi gerhana akan fokus terhadap hasil yang memiliki akurasi tidak akurat.

Gerhana Matahari annular/cincin pada tanggal 02 Oktober 2024, berdasarkan hasil hisab kitab *al-Durru al-Anīq* di dapatkan *Greatest eclipse* pukul 18:44:58 UT, Magnitudo 0.9325, *Local circumstances at greatest eclipse* $21^{\circ}57'01.14''$

⁵⁰ Lihat Fred Espenak, “Google Eclipse Map Page” accessed September 4, 2022 M / 8 Safar 1444 H, <https://eclipsewise.com/solar/SEgmapx/2001-2100/SE2028Jul22Tgmapx.html>.

LS, 114°29'28.86" BB, *Sun Alt.* 81°41'05.82", *Sun Azm.* 201°59'50.69", Lebar (km) 266.54, dan Lama gerhana (sentral) 7 menit 25 detik.

Phase	Kitab	NASA	Selisih
Awal Penumbra (P1)	15:42:52	15:42:46	0 ^m 6 ^d
Awal Umbra (U1)	16:53:14	16:50:24	2 ^m 50 ^d
Puncak Gerhana	18:44:58	18:44:51	0 ^m 7 ^d
Akhir Umbra (U4)	20:36:42	20:39:04	2 ^m 22 ^d
Akhir Penumbra (P4)	21:47:04	21:46:47	0 ^m 17 ^d

Tabel 4. 7 Hasil Hisab Gerhana Matahari Cincin

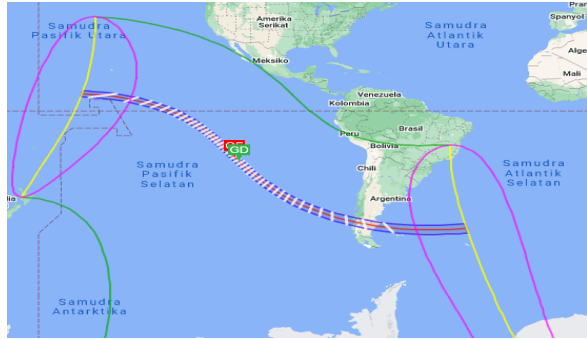
Perbandingan di atas memberikan kesimpulan bahwa hanya fase awal dan akhir umbra yang memiliki selisih masih dalam orde menit lebih dari satu menit bahkan hampir 3 menit. Awal umbra selisih 2 menit 50 detik dan akhir umbra 2 menit 22 detik. Ketika direformulasi menghasilkan akurasi yang tinggi hanya selisih di orde detik.

Phase	Reformulasi	NASA	Selisih
Awal Umbra (U1)	16:50:52	16:50:24	0 ^m 28 ^d
Akhir Umbra (U4)	20:39:04	20:39:04	0 ^m 0 ^d

Tabel 4. 8 Hasil Reformulasi Hisab Gerhana Matahari Cincin

Wilayah geografis yang dilewati gerhana Matahari annular pada tanggal 02 Oktober 2024, Chili Selatan dan Argentina Selatan (annular), dan wilayah geografis Pasifik, Amerika Selatan bagian Selatan (parsial).⁵¹

⁵¹ Lihat Fred Espenak, "Solar Eclipse Prime Page" accessed October 31, 2022 M / 6 Rabiul Akhir 1444 H,



Gambar 4. 4 Map Jalur Gerhana Annular (Sumber: <https://eclipsewise.com/solar/SEgmapx/2001-2100/SE2024Oct02Agmapx.html>)⁵²

Hasil hisab kitab *al-Durru al-Anīq* di dapatkan bahwa tanggal 06 Februari 2027 akan terjadi gerhana Matahari cincin dengan *Greatest eclipse* pukul 15:59:31 UT, Magnitudo 0.9281, *Local circumstances at greatest eclipse* $31^{\circ}18'20.37''$ LS, $48^{\circ}27'02.91''$ BB, *Sun Alt.* $72^{\circ}39'42.26''$, *Sun Azm.* $333^{\circ}32'25.89''$, Lebar (km) 281.31, dan Lama gerhana (sentral) 7 menit 51 detik.

Phase	Kitab	NASA	Selisih
Awal Penumbra (P1)	12:57:27	12:57:24	0 ^m 3 ^d
Awal Umbra (U1)	14:06:37	14:03:42	2 ^m 55 ^d
Puncak Gerhana	15:59:31	15:59:24	0 ^m 7 ^d

<https://eclipsewise.com/solar/SEprime/2001-2100/SE2024Oct02Aprime.html>.

⁵² Lihat Fred Espenak, “Google Eclipse Map Page” accessed September 4, 2022 M / 8 Safar 1444 H, <https://eclipsewise.com/solar/SEgmapx/2001-2100/SE2024Oct02Agmapx.html>.

Akhir Umbra (U4)	17:52:26	17:55:13	2 ^m 47 ^d
Akhir Penumbra (P4)	19:01:35	19:01:27	0 ^m 8 ^d

Tabel 4. 9 Hasil Hisab Gerhana Matahari Cincin

Selisih dari kedua prediksi tersebut untuk awal penumbra 3 detik dan akhir penumbra 8 detik, awal umbra 2 menit 55 detik dan akhir umbra 2 menit 47 detik, dan puncak gerhana 7 detik. Setelah dilakukan reformulasi untuk awal umbra selisih 25 detik dan akhir umbra selisih 18 detik.

Phase	Reformulasi	NASA	Selisih
Awal Umbra (U1)	14:04:07	14:03:42	0 ^m 25 ^d
Akhir Umbra (U4)	17:54:55	17:55:13	0 ^m 18 ^d

Tabel 4. 10 Hasil Reformulasi Hisab Gerhana Matahari Cincin

Berdasarkan map jalur gerhana Matahari cincin pada 06 Februari 2027 terlihat dari wilayah geografis Chili, Argentina, dan Atlantik (cincin), dan wilayah geografis Amerika Selatan, Antartika, dan Afrika Barat dan Selatan (parsial).⁵³

⁵³ Lihat Fred Espenak, “Solar Eclipse Prime Page” accessed October 31, 2022 M / 6 Rabiul Akhir 1444 H, <https://eclipsewise.com/solar/SEprime/2001-2100/SE2027Feb06Aprime.html>.



Gambar 4. 5 Map Jalur Gerhana Annular (Sumber: <https://eclipsewise.com/solar/SEgmapx/2001-2100/SE2027Feb06Agmapx.html>)⁵⁴

Pada tanggal 26 Januari 2028 akan terjadi gerhana Matahari annular. Berdasarkan hasil hisab kitab *al-Durru al-Anīq* di dapatkan *Greatest eclipse* pukul 15:07:42 UT, Magnitudo 0.9207, *Local circumstances at greatest eclipse* 02°57'48.05" LU, 51°32'30.14" BB, *Sun Alt.* 67°00'54.59", *Sun Azm.* 160°58'04.08", Lebar (km) 323.28, dan Lama gerhana (sentral) 10 menit 27 detik.

Phase	Kitab	NASA	Selisih
Awal Penumbra (P1)	12:06:33	12:06:28	0 ^m 5 ^d
Awal Umbra (U1)	13:17:51	13:14:39	3 ^m 12 ^d
Puncak Gerhana	15:07:42	15:07:33	0 ^m 9 ^d

⁵⁴ Lihat Fred Espenak, "Google Eclipse Map Page" accessed September 4, 2022 M / 8 Safar 1444 H, <https://eclipsewise.com/solar/SEgmapx/2001-2100/SE2027Feb06Agmapx.html>.

Akhir Umbra (U4)	16:57:33	17:00:19	2 ^m 46 ^d
Akhir Penumbra (P4)	18:08:50	18:08:41	0 ^m 15 ^d

Tabel 4. 11 Hasil Hisab Gerhana Matahari Cincin

Selisih dari prediksi tersebut untuk awal penumbra 5 detik dan akhir penumbra 15 detik, awal umbra 3 menit 12 detik dan akhir umbra 2 menit 46 detik, dan puncak gerhana 15 detik. Setelah dilakukan reformulasi untuk awal umbra selisih 6 detik dan akhir umbra selisih 31 detik.

Phase	Reformulasi	NASA	Selisih
Awal Umbra (U1)	13:14:33	13:14:39	0 ^m 6 ^d
Akhir Umbra (U4)	17:00:50	17:00:19	0 ^m 31 ^d

Tabel 4. 12 Hasil Reformulasi Hisab Gerhana Matahari Cincin

Wilayah geografis yang dilewati gerhana Matahari cincin pada tanggal 26 Januari 2028, Ekuador, Peru, Brasil, Suriname, Spanyol, dan Portugal (cincin), dan wilayah geografis Amerika Utara bagian timur, Amerika Tengah dan Selatan, Eropa Barat, dan Afrika Barat Laut (parsial).⁵⁵

⁵⁵ Lihat Fred Espenak, "Solar Eclipse Prime Page" accessed October 31, 2022 M / 6 Rabiul Akhir 1444 H, <https://eclipsewise.com/solar/SEprime/2001-2100/SE2028Jan26Aprime.html>.



Gambar 4. 6 Map Jalur Gerhana Annular (Sumber: <https://eclipsewise.com/solar/SEgmapx/2001-2100/SE2028Jan26Agmapx.html>)⁵⁶

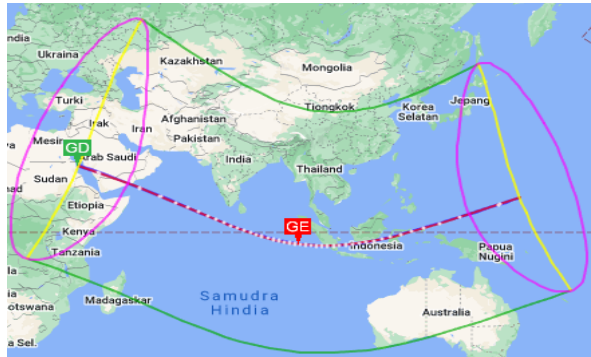
3. Analisis Gerhana Matahari *Hybrid*

Tipe gerhana Matahari *hybrid* merupakan gabungan dari gerhana cincin dan total karena bayangan umbra dan atumbra melintasi Bumi. Untuk tipe gerhana ini jarang terjadi, mulai tahun 2021 sampai 2050 hanya terdapat 4 kali gerhana Matahari *hybrid* dan selisih paling besar di bawah 2 menit dengan menggunakan perhitungan yang ada di kitab *al-Durru al-Anīq*.

Pada tanggal 25 November 2049 terjadi gerhana Matahari *hybrid* yang akan terlihat di wilayah geografis Arab Saudi,

⁵⁶ Lihat Fred Espenak, “Google Eclipse Map Page” accessed September 4, 2022 M / 8 Safar 1444 H, <https://eclipsewise.com/solar/SEgmapx/2001-2100/SE2028Jan26Agmapx.html>.

Yaman, Malaysia, dan Indonesia (gerhana *hybrid*), dan wilayah geografis Afrika Timur, Asia Selatan, Hindia Timur, dan Australia (gerhana parsial).⁵⁷



Gambar 4. 7 Map Jalur Gerhana Hybrid (Sumber: <https://eclipsewise.com/solar/SEgmapx/2001-2100/SE2049Nov25Hgmapx.html>)⁵⁸

Hasil data yang diperoleh dengan menggunakan hisab yang ada di kitab *al-Durru al-Anīq* yaitu *Greatest eclipse* pukul 05:32:13 UT, Magnitudo 1.0056, *Local circumstances at greatest eclipse* 03°48'14.18" LU, 95°15'13.35" BB, *Sun*

⁵⁷ Lihat Fred Espenak, "Solar Eclipse Prime Page" accessed October 31, 2022 M / 6 Rabiul Akhir 1444 H, <https://eclipsewise.com/solar/SEprime/2001-2100/SE2049Nov25Hprime.html>.

⁵⁸ Lihat Fred Espenak, "Google Eclipse Map Page" accessed September 4, 2022 M / 8 Safar 1444 H, <https://eclipsewise.com/solar/SEgmapx/2001-2100/SE2049Nov25Hgmapx.html>.

Alt. 72°54'42.05", *Sun Azm.* 184°58'26.79", Lebar (km) 20.59, dan Lama gerhana (sentral) 0 menit 37 detik.

Phase	Kitab	NASA	Selisih
Awal Penumbra (P1)	02:48:10	02:47:56	0 ^m 14 ^d
Awal Umbra (U1)	03:49:40	03:48:36	1 ^m 4 ^d
Puncak Gerhana	05:32:13	05:31:59	0 ^m 14 ^d
Akhir Umbra (U4)	07:14:46	07:15:21	0 ^m 35 ^d
Akhir Penumbra (P4)	08:16:17	08:15:58	0 ^m 19 ^d

Tabel 4. 13 Hasil Hisab Gerhana Matahari *Hybrid*

Prediksi tersebut menjelaskan bahwa untuk awal penumbra selisih 14 detik dan akhir penumbra 19 detik, awal umbra 1 menit 4 detik dan akhir umbra 35 detik, dan puncak gerhana 14 detik. Setelah dilakukan reformulasi untuk awal umbra selisih 25 detik dan akhir umbra selisih 4 detik.

Phase	Reformulasi	NASA	Selisih
Awal Umbra (U1)	03:49:01	03:48:36	0 ^m 25 ^d
Akhir Umbra (U4)	07:15:25	07:15:21	0 ^m 4 ^d

Tabel 4. 14 Hasil Reformulasi Hisab Gerhana Matahari *Hybrid*

Tanggal 14 November 2031 akan terjadi gerhana Matahari *hybrid* dengan *Greatest eclipse* pukul 21:06:12 UT, Magnitudo 1.0105, *Local circumstances at greatest eclipse* 00°37'48.51" LU, 137°37'34.44" BB, *Sun Alt.* 72°04'38.95", *Sun Azm.* 188°42'49.23", Lebar (km) 38.26, dan Lama gerhana (sentral) 1 menit 8 detik.

Phase	Kitab	NASA	Selisih
Awal Penumbra (P1)	18:23:07	18:22:59	0 ^m 8 ^d
Awal Umbra (U1)	19:24:20	19:23:38	0 ^m 42 ^d

Puncak Gerhana	21:06:12	21:06:03	0 ^m 9 ^d
Akhir Umbra (U4)	22:48:04	22:48:28	0 ^m 24 ^d
Akhir Penumbra (P4)	23:49:17	23:49:04	0 ^m 13 ^d

Tabel 4. 15 Hasil Hisab Gerhana Matahari *Hybrid*

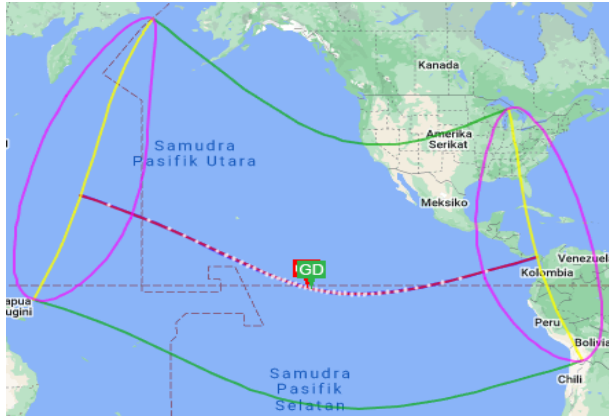
Selisih dari dua prediksi di atas menjelaskan bahwa awal penumbra selisih 8 detik dan akhir penumbra 13 detik, awal umbra 42 detik dan akhir umbra 24 detik, dan puncak gerhana selisih 9 detik. Pada contoh ini selisih tidak sampai 1 menit, hasil reformulasi memiliki selisih 19 detik untuk awal umbra dan selisih 1 detik akhir umbra.

Phase	Reformulasi	NASA	Selisih
Awal Umbra (U1)	19:23:57	19:23:38	0 ^m 19 ^d
Akhir Umbra (U4)	22:48:27	22:48:28	0 ^m 1 ^d

Tabel 4. 16 Hasil Reformulasi Hisab Gerhana Matahari *Hybrid*

Adapun wilayah geografis yang akan dilewati gerhana yaitu wilayah Pasifik dan Panama (gerhana *hybrid*), dan wilayah geografis Pasifik, AS Selatan, Amerika Tengah, Barat Laut Amerika Selatan (gerhana parsial).⁵⁹

⁵⁹ Lihat Fred Espenak, "Solar Eclipse Prime Page" accessed October 31, 2022 M / 6 Rabiul Akhir 1444 H, <https://eclipsewise.com/solar/SEprime/2001-2100/SE2031Nov14Hprime.html>.

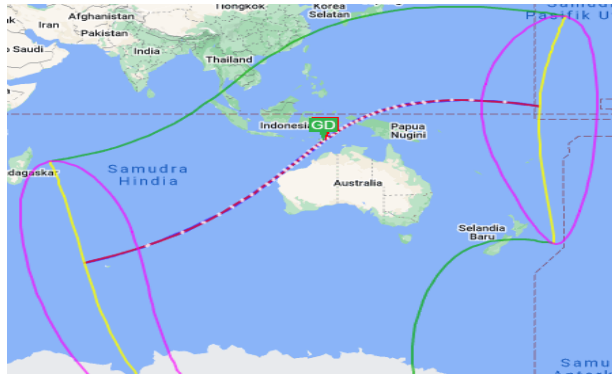


Gambar 4. 8 Map Jalur Gerhana *Hybrid* (Sumber: <https://eclipsewise.com/solar/SEgmapx/2001-2100/SE2031Nov14Hgmapx.html>)⁶⁰

Gerhana Matahari *hybrid* 20 April 2023 terlihat dari wilayah geografis Australia, Timor-Leste, dan Indonesia (Papua dan Papua Barat) (gerhana *hybrid*), dan wilayah geografis Asia Tenggara, Hindia Timur, Australia, Filipina, dan Selandia Baru (gerhana parsial).⁶¹

⁶⁰ Lihat Fred Espenak, “Google Eclipse Map Page” accessed September 4, 2022 M / 8 Safar 1444 H, <https://eclipsewise.com/solar/SEgmapx/2001-2100/SE2031Nov14Hgmapx.html>.

⁶¹ Lihat Fred Espenak, “Solar Eclipse Prime Page” accessed October 31, 2022 M / 6 Rabiul Akhir 1444 H, <https://eclipsewise.com/solar/SEprime/2001-2100/SE2023Apr20Hprime.html>.



Gambar 4. 9 Map Jalur Gerhana *Hybrid* (Sumber: <https://eclipsewise.com/solar/SEgmapx/2001-2100/SE2023Apr20Hgmapx.html>)⁶²

Hasil hisab memberikan informasi bahwa *Greatest eclipse* pukul 04:16:42 UT, Magnitudo 1.0131, *Local circumstances at greatest eclipse* $09^{\circ}35'46.15''$ LS, $125^{\circ}47'40.72''$ BT, *Sun Alt.* $66^{\circ}39'48.52''$, *Sun Azm.* $333^{\circ}58'43.26''$, Lebar (km) 48.88, dan Lama gerhana (sentral) 1 menit 16 detik.

Phase	Kitab	NASA	Selisih
Awal Penumbra (P1)	01:34:08	01:34:15	0 ^m 7 ^d
Awal Umbra (U1)	02:37:12	02:36:56	0 ^m 16 ^d
Puncak Gerhana	04:16:42	04:16:37	0 ^m 5 ^d
Akhir Umbra (U4)	05:56:12	05:56:35	0 ^m 23 ^d
Akhir Penumbra (P4)	06:59:15	06:59:13	0 ^m 2 ^d

Tabel 4. 17 Hasil Hisab Gerhana Matahari *Hybrid*

⁶² Lihat Fred Espenak, “Google Eclipse Map Page” accessed September 4, 2022 M / 8 Safar 1444 H, <https://eclipsewise.com/solar/SEgmapx/2001-2100/SE2023Apr20Hgmapx.html>.

Fenomena gerhana Matahari *hybrid* berdasarkan hasil hisab di atas memberikan kesimpulan bahwa selisih semua fase gerhana tidak sampai 1 menit. Penulis sengaja mengambil contoh yang memiliki selisih dibawah 1 menit untuk mengetahui akurasi hasil reformulasi. Adapun hasil reformulasi menghasilkan selisih 3 detik (awal umbra) dan 10 detik (akhir umbra).

Phase	Reformulasi	NASA	Selisih
Awal Umbra (U1)	02:36:59	02:36:56	0 ^m 3 ^d
Akhir Umbra (U4)	05:56:25	05:56:35	0 ^m 10 ^d

Tabel 4. 18 Hasil Reformulasi Hisab Gerhana Matahari *Hybrid*

Berdasarkan beberapa contoh hasil hisab gerhana Matahari total, cincin dan *hybrid* dari kitab *al-Durru al-Anīq* dan NASA, terdapat selisih yang bervariasi mulai dari detik sampai dengan menit untuk awal dan akhir umbra. Setelah dilakukan reformulasi menghasilkan akurasi yang akurat dengan selisih hanya di detik saja.

Karakteristik karya KH. Ahmad Ghozali khususnya hisab gerhana Matahari global yang ada dalam kitab *al-Durru al-Anīq* menggunakan rumus yang simple dengan iterasi sedikit supaya bisa digunakan hanya dengan alat sederhana, seperti *scientific calculator*. Namun, hal tersebut akan berdampak terhadap hasil perhitungan yang signifikan untuk beberapa momen gerhana saat bayangan umbra yang jatuh di permukaan Bumi melebar. Setelah

dilakukan reformulasi dengan penambahan rumus dan iterasi serta logika baru penggunaan tmu^3 dapat memberikan akurasi yang akurat.

Kekurangan dari reformulasi ini saat bayangan umbra semakin lebar di permukaan Bumi memiliki selisih lebih besar tetapi masih di orde detik dan perhitungan yang lebih panjang, namun masih bisa menggunakan *scientific calculator*. Sehingga tidak menghilangkan salah satu tujuan pembuat kitab. Kelebihan dari hasil reformulasi berdasarkan contoh di atas, bahwa selisih hanya di detik saja ketika dikomparasikan dengan hasil perhitungan NASA.

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan beberapa penjelasan dan hasil penelitian tentang reformulasi metode hisab gerhana Matahari global saat awal dan akhir umbra dapat disimpulkan bahwa:

1. Akurasi hasil perhitungan gerhana Matahari global saat awal dan akhir umbra dalam kitab *al-Durru al-Anīq* termasuk *low accuracy* (tidak akurat) karena memiliki selisih dengan NASA dalam orde menit (1-3 menit 12 detik). Seharusnya untuk hisab kontemporer selisih hanya di orde detik waktu. Terdapat dua faktor yang menyebabkan hal tersebut: *pertama* kurangnya iterasi dalam menentukan tmu_3 (*ta'dīl sā'ah al-suqūṭ al-sālis*), *kedua* logika penggunaan tmu_3 (*ta'dīl sā'ah al-suqūṭ al-sālis*) hanya untuk gerhana *hybrid*.
2. Reformulasi metode hisab gerhana Matahari global untuk awal dan akhir umbra dilakukan dengan cara memanfaatkan data koordinat geografis puncak gerhana. Selanjutnya menghitung koordinat rektangular geosentrik pengamat saat puncak gerhana, menghitung koordinat sudut pengamat, menghitung koreksi waktu gerhana, melakukan iterasi data *elemen besse*l sebanyak tiga kali, setelah itu menghitung S' dan tu' sebagai data untuk menghitung tmu_3 (*ta'dīl sā'ah al-suqūṭ al-sālis*), dan menghitung waktu awal dan akhir umbra

dengan logika “jika gerhana Matahari total, maka awal umbra – t_{mu3} dan akhir umbra + t_{mu3} . Jika gerhana sentral-*hybrid* atau *annular*, maka awal umbra + t_{mu3} dan akhir umbra – t_{mu3} ”. Selisih maksimal dari hasil perhitungan menggunakan kitab *al-Durru al-Anīq* 1 sampai 3 menit 12 detik, kemudian setelah dilakukan reformulasi menghasilkan selisih maksimal 31 detik.

B. Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas, penulis memberikan beberapa saran, yaitu:

1. Perhitungan reformulasi hisab gerhana Matahari global lebih efektif jika menggunakan *microsoft excel* atau yang lebih tinggi.
2. Reformulasi ini hanya bersifat prediksi, sehingga diperlukan observasi saat terjadi gerhana Matahari di koordinat masing-masing dengan fase gerhana yang berbeda-beda untuk mengetahui kesesuaian dilapangan.

C. Penutup

Alhamdulillah, puji syukur kepada Allah SWT. yang telah memberikan nikmat yang sangat besar berupa petunjuk dan kekuatan, sehingga penulis bisa menyelesaikan tulisan ini sebagai tugas akhir magister. Penulis sudah melakukan semaksimal mungkin dalam menyelesaikan tesis ini, namun panulis sadari dengan keterbatasan dan kakurangan yang dimiliki membutuhkan saran dan kritik konstruktif dari para pembaca untuk kebaikan dan kesempurnaan tesis ini.

Selanjutnya, penulis berharap dan berdo'a semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan khususnya bagi penulis.

Āmīn yā rabbal 'ālamīn.

DAFTAR PUSTAKA

Sumber Jurnal Ilmiah

- 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.
- Budiwati, Anisah. "Tongkat *Istiwa'*, *Global Positioning System* (GPS) dan *Google Earth* untuk Menentukan Titik Koordinat Bumi dan Aplikasinya dalam Penentuan Arah Kiblat." *al-Ahkam*, 26 (2016): 65-92.
- Hidayat, Ehsan. "Penentuan Jumlah Gerhana Matahari dengan Argumen Lintang Bulan dan Teori Aritmatika." *Miyah: Jurnal Studi Islam* 16 (2020): 62-93.
- International Civil Aviation Organization (ICAO), *World Geodetic System – 1984 (WGS-84) Manual*, 2nd edition, 2002, chapter 3.
- Maghfuri, Alfian. "Akurasi Perhitungan Gerhana Matahari dengan Data Ephemeris Hisab Rukyat." *Al-Afaq: Jurnal Ilmu Falak dan Astronomi* 2 (2020): 1-13.
- Mukarromah, Siti Lailatul. "Perhitungan Gerhana Matahari dengan Algoritma NASA." *Ulul Albab: Jurnal Studi dan Penelitian Hukum Islam* 2 (2019): 99-113.
- Rofiuddin, Ahmad Adib. "Penentuan Hari dalam Sistem Kalender Hijriah." *al-Ahkam* 26 (2016): 117-136.

Sumber Buku

- Al Albani, Muhammad Nashiruddin, *Ringkasan Ṣaḥīḥ Bukhari*, Terj. Asep Saefullah, Kamaluddin Sa'adiyatulharamain, jilid 2, Jakarta: Pustaka Azzam, Cet. IV, 2012.

- Al-Hajjaj, Abi Al-Husain Muslim bin, *Shahīh Muslim*, juz 2, Bayrut: Daru al-Kutub al-‘Ilmiyah, Cet. I, 1992.
- An-Nawawi, Imam, *Shāhīh Muslim bi Syarh An-Nawawi*, Terj. Djunaedi Soffandi, Jakarta: Pustaka Azzam, Cet. I, 2010.
- 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.
- al-Farran, Ahmad Musthafa, *Tafsir Imam Syafi’I*, jilid 3, Jakarta Timur: Almahira, 2008, Cet. I.
- al-Maliki, ‘Alawi ‘Abbas, Hasan Sulaiman al-Nuri, *Ibānātu al-ahkām*, jilid 3, al-Haramain.
- az-Zuhaili, Wahbah, *Fiqh Islam Wa Adillatuhu*, Terj. Abdul Hayyie al-Kattani, dkk. Jilid 2, Jakarta: Gemi Insani, Cet. I, 2010.
- Bashori, Muhammad Hadi, *Pengantar Ilmu Falak*, Jakarta Timur: Pustaka Al-Kautsar, 2015.
- Bassam, Abdullah Alu, *Fiqh Hadits Bukhari-Muslim*, Jakarta: Ummul Qura, Cet. I, 2013.
- Bisri, Abis, dkk, *Kamus al-Bisri*, Surabaya: Pustaka Progresif, 1999, Cet.I.
- Departemen Agama Republik Indonesia, *al-Qur’an dan Terjemahnya*, Semarang : CV. AL-WAAH, 1993.
- Echols, John M., *An Indonesian-English Dictionary*,
- Ghozali, Ahmad, *Al-Durru Al-Anīq*, Sampang: LAFAL (Lajnah Falakiyah Lanbulan), Cet. II, 1437 H.

- _____. *Jāmi' u al-Adillah ilā Ma'rifati Simt al-Qiblah*, Sampang: LAFAL (Lajnah Falakiyan Lanbulan), 2017.
- Hambali, Slamet, *Pengantar Ilmu Falak*, Yogyakarta: Bismillah Publisher, 2012.
- Hardani, dkk., *Metode Penelitian Kualitatif & Kuantitatif*, Yogyakarta: CV. Pustaka Ilmu Group, Cet. I, 2020.
- Izzuddin, Ahmad, *Ilmu Falak Praktis; metode hisab-rukyat praktis dan solusi permasalahannya*, Semarang: PT. Pustaka Rizki Putra, 2012.
- Khazin, Muhyiddin, *Ilmu Falak; dalam teori dan praktik*, Yogyakarta: Buana Pustaka, 2004.
- _____. *Ilmu Falak dalam Teori dan Praktek*, Yogyakarta: Buana Pustaka, 2008, Cet 3.
- _____. *Kamus Ilmu Falak*, Jokjakarta: Buana Pustaka, 2005.
- Kuntjojo, *Diktat Metodologi Penelitian*, Kediri, 2009.
- Maghfuri, Alfian, *Algoritma Gerhana : Kajian Mengenai Perhitungan Gerhana Matahari dengan Data Ephemeris Hisab Rukyat*, Bojonegoro: CV. Madza Media, 2020, cet. I.
- Jean Meeus, *Astronomical Algorithms*, Virginia: Willmann-Bell, Inc., 1998, 2nd Edition.
- _____. *Elements of Solar Eclipses 1951-2200*, Virginia: Willmann-Bell, Inc. 1989.
- Oxford, *Oxford Learner's Pocket Dictionary*, New York: Oxford University Press, 2003.
- Nashirudin, Muh, *Kalender Hijriyah Universal*, Semarang : EL-WAFA, 2013.

- Prahasta, Eddy, *Sistem Informasi Geografis: Konsep-konsep Dasar Perspektif Geodesi & Geomatika* Bandung: Informatika, 2009.
- Qudamah, Ibnu, *Al Mughni*, Terj. Amir Hamzah, jilid 3, Jakarta: Pustaka Azzam, Cet. I, 2007.
- Shadily, Hassan, “Kamus Indonesia-Inggris”, edisi ketiga, Jakarta: PT Garmedia Pustaka Utama, 2003, Cet ke IX.
- Soetjipto dkk, *Islam dan Ilmu Pengetahuan tentang Gerhana*, Yogyakarta: LPPM IAIN Sunan Kalijaga, 1983.
- Sujarweni, V. Wiratna, *Metodologi Penelitian Lengkap, Praktis, dan Mudah Dipahami*, Yogyakarta: Pustaka Baru Press, 2014.
- Tim Majlis Tarjih dan Tajdid PP Muhammadiyah, *Panduan Hisab Muhammadiyah*, Yogyakarta: Majlis Tarjih dan Tajdid PP Muhammadiyah, 2009, Cet. II.
- Tim Penulis Panduan Ujian Komprehensif S1, *Buku panduan Ujian Komprehensif S1*, Semarang: Fakultas Syariah dan Hukum UIN Walisongo, 2017.
- UPT Observatorium Bosscha Institut Teknologi Bandung, *Perjalanan Mengenal Astronomi*, Bandung: ITB, 1995.
- Williams, JR, Wentworth, dkk., *Prediction and Analysis of Solar Eclipse Circumstances*, Massachusetts: Cambridge, 1971.
- Z. Abidin, Hasanuddin, *Geodesi Satelit* Jakarta: PT Pradnya Paramita, 2001.

Sumber Lain

- Fred Espenak, “Glossary of Solar Eclipse Terms” accessed September 1, 2022 M / 5 Safar 1444 H,

<https://eclipsewise.com/solar/SEhelp/SEglossary.html#central>.

_____. “Solar Eclipse Basics” accessed August 31, 2022 M / 4 Safar 1444 H, <https://eclipsewise.com/solar/SEhelp/SEbasics.html>.

_____. “Solar Eclipse Prime Page” accessed September 4, 2022 M / 8 Safar 1444 H, <https://eclipsewise.com/solar/SEprime/2001-2100/SE2028Jul22Tprime.html>.

Ilmi Mukarromah, “KH. Ahmad Ghozali; Penghidup Ilmu Falak Masa Kini”, dalam Majalah Zenith edisi XI / tahun V / April 2014.

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

Michael A. Seeds, “Foundations of Astronomy” accessed November 11, 2022 M / 17 Rabiul Akhir 1444 H, <https://www.webassign.net/seedfoundations10/ebook/chapter03/fig3-14.html>

Michael Zeiler, “Annular Solar Eclipse Oktober 14, 2023” accessed September 1, 2022 M / 5 Safar 1444 H, <https://www.greatamericaneclipse.com/eclipse-maps-and-globe/2023map>.

NASA, “Besselian Elements for the Total Solar Eclipse of 2024 Apr 08” accessed September 2, 2022 M / 6 Safar 1444 H, <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEbeselm/SEbeselm2001/SE2024Apr08Tbeselm.html>.

_____. “Glossary of Solar Eclipse Terms” accessed September 1, 2022 M / 5 Safar 1444 H, <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEhelp/SEglossary.html>.

_____. “Introduction”, accessed August 1, 2022 M / 3 Maharam
1444 H,
<https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEcat5/SEcatalog.html#3> .

_____. “Introduction”, accessed September 1, 2022 M / 5 Safar
1444 H,
<https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEcat5/SEcatalog.html>.

Thomas Jamaluddin, “Memahami Gerhana Matahari dan Gerhana
Bulan”, diakses 28 Oktober 2022 M / 3 Rabiul Akhir 1444
H,
<https://tdjamaluddin.wordpress.com/2013/05/07/memahami-gerhana-matahari-dan-gerhana-bulan/> .

LAMPIRAN-LAMPIRAN

Perhitungan dalam Kitab

HISAB GERHANA MATAHARI GLOBAL													
Metode Kitab Al-Durr Al-Aziz													
Hasbi Khorib/Uman													
Syahar 1449					11				12				
شهر	يوم	يوم	الجزء	يوم	يوم	يوم	يوم	يوم	يوم	يوم	يوم	يوم	يوم
س	1449	26	1	2028	15	r	A0	B0	d0	W0	R0	S0	Z0
							-0.2051700	0.3403000	-18.7282600	41.8913200	0.5741200	0.0278500	0.0047500
							0.4742100	0.1738400	0.0100700	14.9989600	0.0000400	0.0000400	0.0047300
Delta T													76.36695379

13	1. puncak gerhana global				
14	a. Menentukan waktu teerjadinya puncak gerhana global				
15	1)	A0	-0.20517		
16	2)	B0	0.34030		
17			-31.08616156		
18	3)	M	328.9138384		
19	4)	m	0.39736		
20	5)	A1	0.47421		
21	6)	B1	0.17384		
22			69.86763734		
23	7)	N	69.86763734		
24	8)	n	0.50507		
25	9)	tm	0.149496632554		
26	10)	\$WK	15.12828359	15 : 07 : 42	UT
27	11)	R	0.57412598		
28	12)	S	0.0278560		
29					
30	b. Menentukan tipe dan jenis gerhana				
31		Sentral-Cincin			
32					
33	c. Menentukan posisi koordinat tempat saat tengah gerhana global				
34	1)	a	6378137		
35	2)	b	6356752		
36	3)	c	0.006694478		
37	4)	A	-0.134277202		
38	5)	B	0.366288495		
39	6)	d	-18.72675457		
40	7)	W	44.13361401		
41	8)	$\rho 0$	0.996824922		
42	9)	d1	-18.78534186		
43	10)	$\rho 1$	0.999654919		
44	11)	d2	-18.66832327		
45	12)	y1	0.367455194		

46		a) Gerhana Sentral				
47		1 z	0.920296862			
48		2 ϕI	2.953430049			
49		3 ϕ	2.96334812			02° 57' 48.05"
50		4 x_2	0.989603397			
51		5 θ	352.2728477	-7.72715226		
52		6 λ	-51.54170513	308.4582949		-51° 32' 30.14"
53		b) Gerhana Non Sentral				
54		1 ml	0.391220764			
55		2 $x I$	-0.343226163			
56		3 y_2	0.939252789			
57		4 ϕI	62.77544135			
58		5 ϕ	62.85364433			62° 51' 13.12"
59		6 x_2	0.302461471			
60		7 θ	311.3874962	-48.61250379		
61		8 λ	-92.42705666	267.5729433		-92° 25' 37.40"
62						
63		d. Menentukan tinggi (h) dan azimut (Az) saat puncak gerhana				
64			Sentral			
65		1) h	67.01516401			67° 00' 54.59"
66		2) x	-0.369141673			
67		3) y	0.127337766			
68		4) Az	160.9678004	-19.03219964		160° 58' 04.08"
69						
70			Non Sentral			
71		1) h	9.54166E-15			00° 00' 00.00"
72		2) x	-0.70365964			
73		3) y	0.710537199			
74		4) Az	134.7213599	-45.27864014		134° 43' 16.90"
75		e. Menentukan lama total/cincin				
76		1) ζ	0.920727582			
77		2) ξ	0.259054402			
78		3) η	0.011123672			
79		4) n_1	0.269756436			
80		5) L_1	0.023500938			
81		6) Lama	0.174238204			00 : 10 : 27
82						
83		f. Menentukan lebar dalam kilometer				
84		1) a_1	6378.137			
85		2) k	0.927311798			
86		3) Lebar	323.2832905			
87						
88		g. Menentukan magnitudo				
89		1) Gerhana Sentral				
90		a)	L_1	0.569752524		
91		b)	Mag	0.920772689		
92		2) Gerhana Non Sentral				
93		a)	ρ	1.015704891		
94		b)	Δ	-0.618340047		
95		c)	Mag	1.979683154		
96						
97		2. Awal dan Akhir Penumbra				
98		a. Menentukan saat awal dan akhir penumbra				
99		1) νp	-14.37912283			
100		2) tp	3.019017485			
101		3) t_{mp1}	-2.869520852207			
102		4) t_{mp2}	3.168514117			
103		5) Awal penumbra		12.1092661		12 : 06 : 33
104		6) Akhir penumbra		18.14730107		18 : 08 : 50

106	b. Menentukan koordinat tempat saat awal penumbral					
107	1)	A	-1.565925483			
108	2)	B	-0.158537505			
109	3)	d	-18.75715607			
110	4)	W	-1.148508481			
111	5)	d ₁	-18.81582443			
112	6)	ρ_1	0.996994346			
113	7)	y ₁	-0.15901545			
114	8)	m ₁	1.573978568			
115	9)	x ₁	-0.994883612			
116	10)	y ₂	-0.10102771			
117	11)	ϕ_1	-5.487512819			
118	12)	ϕ	-5.505860327			-05° 30' 21.10"
119	13)	x ₂	-0.032584178			
120	14)	θ	268.1241336	88.12413357		
121	15)	λ	-90.40829681	269.5917032		-90° 24' 29.87"
122						
123	c. Menentukan koordinat tempat akhir penumbral					
124	1)	A	1.29737108			
125	2)	B	0.891114494			
126	3)	d	-18.69635306			
127	4)	W	89.41573651			
128	5)	d ₁	-18.75485922			
129	6)	ρ_1	0.99699218			
130	7)	y ₁	0.893802893			
131	8)	m ₁	1.575454007			
132	9)	x ₁	0.823490291			
133	10)	y ₂	0.567330362			
134	11)	ϕ_1	32.49369158			
135	12)	ϕ	32.58094369			32° 34' 51.40"
136	13)	x ₂	0.182407929			
137	14)	θ	77.51031099	77.51031099		
138	15)	λ	-11.58636438	-11.58636438		-11° 35' 10.91"

140	3. Awal dan Akhir Umbral				
141	a. Menentukan saat awal dan akhir umbral				
142	1)	ψ_u	-22.37894786		
143	2)	tu	1.83080843		
144	3)	t_{mu1}	-1.681311797661		
145	4)	t_{mu2}	1.980305062770		
179	-0.05557	5)	t_{mu3}	0	
180		6)	Awal umbr	13.29747516	
181		7)	Akhir umbr	16.95909202	
182				13 : 17 : 51	
183				16 : 57 : 33	
184					
185	b. Menentukan koordinat tempat saat awal umbral				
186	1)	A	-1.002464868		
187	2)	B	0.048020757		
188	3)	d	-18.74519081		
189	4)	W	16.6733916		
190	5)	d_1	-18.80382727		
191	6)	ρ_1	0.99699392		
192	7)	y_1	0.048165547		
193	8)	m_1	1.003621308		
194	9)	x_1	-0.998847732		
195	10)	y_2	0.047991754		
196	11)	ϕ_1	2.603862094		
197	12)	ϕ	2.612609732	02° 36' 45.40"	
198	13)	x_2	0.015469131		
199	14)	θ	270.8872674	-89.11273259	
200	15)	λ	-105.467063	254.532937	-105° 28' 01.43"

201	c. Menentukan koordinat tempat saat akhir umbral				
203	1)	A	0.733910464		
204	2)	B	0.684556232		
205	3)	d	-18.70831833		
206	4)	W	71.59383642		
207	5)	d_1	-18.76685642		
208	6)	ρ_1	0.996992606		
209	7)	y_1	0.686621173		
210	8)	m_1	1.005023982		
211	9)	x_1	0.730241743		
212	10)	y_2	0.683188845		
213	11)	ϕ_1	40.30583645		
214	12)	ϕ	40.40078729	40° 24' 02.83"	
215	13)	x_2	0.219794175		
216	14)	θ	73.24882328	73.24882328	
217	15)	λ	1.974047998	1.974047998	01° 58' 26.57"

219	4. Awal dan Akhir Sentral				
220	a. Menentukan saat awal dan akhir sentral				
221	1)	ψ_s	-22.96228647		
222	2)	ts	1.823038921		
223	3)	t_{ms1}	-1.673542288015		
224	4)	t_{ms2}	1.972535553		
225			-0.00776951		
226	5)	t_{ms3}	0		
227					
228	6)	Awal sentral	13.30524467	13 : 18 : 19	
229	7)	Akhir sentral	16.95132251	16 : 57 : 05	
230			13.29747516	13 : 17 : 50.91	
231					

232	b. Menentukan koordinat tempat saat awal sentral					
233	1)	A	-0.998780488			
234	2)	B	0.049371409			
235	3)	d	-18.74511257			
236	4)	W	16.78992616			
237	5)	d_1	-18.80374882			
238	6)	ρ_1	0.996993917			
239	7)	y_j	0.049520271			
240	8)	m_1	1.000007361			
241	9)	x_j	-0.998773137			
242	10)	y_2	0.049519906			
243	11)	ϕ_j	2.686835366			
244	12)	ϕ	2.695860942		02° 41' 45.10"	
245	13)	x_2	0.015961634			
246	14)	θ	270.9155797	-89.08442028		
247	15)	λ	-105.5552853	254.4447147	-105° 33' 19.03"	
248						
249	c. Menentukan koordinat tempat saat akhir sentral					
250	1)	A	0.730226085			
251	2)	B	0.683205581			
252	3)	d	-18.70839657			
253	4)	W	71.47730186			
254	5)	d_1	-18.76693487			
255	6)	ρ_1	0.996992608			
256	7)	y_j	0.685266445			
257	8)	m_1	1.001409125			
258	9)	x_j	0.729198553			
259	10)	y_2	0.684302178			
260	11)	ϕ_j	40.38506011			
261	12)	ϕ	40.48005356		40° 28' 48.19"	
262	13)	x_2	0.220153241			
263	14)	θ	73.20034433	73.20034433		
264	15)	λ	2.042103611	2.042103611	02° 02' 31.57"	

266	5. Jalur Lintas Gerhana Sentral					
267	a. Menentukan koordinat jalur titik pusat gerhana sentral					
268	1)	Jam Rintang Sentral (JRS)		13.3333333	13 : 20 : 00.00	
269	2)	tm _{ts}	-1.645453623			
270	3)	A	-0.985460563			
271	4)	B	0.054254342			
272	5)	d	-18.74482972			
273	6)	W	17.21122692			
274	7)	R	0.574054182			
275	8)	S	0.027784182			
276	9)	ρ_1	0.996993907			
277	10)	y_1	0.054417927			
278	11)	m_1	0.160953933			
279	12)	ds_1	-0.322322947			
280	13)	dc_1	0.946629768			
281	14)	ϕ_1	-0.020942519			
282	15)	ϕ	-0.021012972		-00° 01' 15.65"	
283	16)	x_1	0.169903931			
284	17)	θ	279.7822341	-80.21776591		
285	18)	λ	-97.10993169	262.8900683	-97° 06' 35.75"	
286	b. Menentukan tinggi (h) dan azimut (Az) pada jalur titik pusat gerhana sentral					
288	1)	t	279.7822341			
289	2)	h	9.265521239		09° 15' 55.88"	
290	3)	x	-0.321294986			
291	4)	y	0.933190941			
292	5)	Az	108.9984398	-71.00156016	108° 59' 54.38"	
293	c. Menentukan lama, lebar dan magnitudo pada jalur titik pusat gerhana sentral					
294	1)	ρ_2	0.999654276			
296	2)	ds_2	-0.00204404			
297	3)	dc_2	0.999997911			
298	4)	ζ	0.161009145			
299	5)	μ	0.261781236			
300	6)	ξ	0.044477661			
301	7)	η	0.082873031			
302	8)	L_1	0.573289388			
303	9)	L_2	0.027022609			
304	10)	ns	0.42973			
305	11)	nc	0.09097			
306	12)	n'	0.439254906			
307	13)	Lama	0.123038392	00 : 07 : 22.94		
308	14)	k	0.966359391			
309	15)	Lebar	356.7000006			
310	16)	Mag	0.909971452			
311	d. Menentukan koordinat batas sentral pada jam				13 : 20 : 00.00	
312	1)	a'	-0.090938671			
314	2)	b'	0.469677569			
315	3)	Q	349.0420177	-10.95798229		
316	4)	ξ	-0.98032386			
317	a) Batas Utara					
318	1)	η	0.081027821			
319	2)	ζ_1	0.179998948			
321	3)	ζ	0.196509489			
322	4)	ϕ_1	1.070665775			
323	5)	ϕ	1.074266801		01° 04' 27.36"	
324	6)	θ	281.3349224	-78.66507759		
325	7)	λ	-95.55724337	264.4427566	-95° 33' 26.08"	

Reformulasi

140	3. Awal dan Akhir Umbral				
141	a. Menentukan saat awal dan akhir umbral				
142	1) γu	-22.37894786			
143	2) tu	1.83080843			
144	3) $tmu1$	-1.681311797661			
145	4) $tmu2$	1.980305062770			
146					
147		Lintang	2.96334812		
148		Bujur	-51.54170513		
149		0			
150	l	2.953430196			
151	P1	0.051351506			
152	P2	0.99867			
153		A	-0.1341334	-0.1342117	-0.1342117
154		B	0.3663412	0.3663125	0.3663125
155		d	-18.7267515	-18.7267532	-18.7267532
156		W	44.1381627	44.1356847	44.1356847
157		S	0.0278560	0.0278560	0.0278560
158		R	0.5741260	0.5741260	0.5741260
159					
160	H	-9.9694516	-7.7226090	-7.7250869	-7.7250869
161	p	-0.1728931	-0.1341987	-0.1342415	-0.1342415
162	q	0.3644444	0.3663537	0.3663519	0.3663519
163	r	0.9150248	0.9207377	0.9207322	0.9207322
164	p'	0.2574859	0.2590623	0.2590608	0.2590608
165	q'	0.0143713	0.0111171	0.0111207	0.0111207
166	u	-0.0322769	0.0000653	0.0000298	0.0000298
167	v	-0.0241444	-0.0000125	-0.0000394	-0.0000394
168	a	0.2167241	0.2151477	0.2151492	0.2151492
169	b	0.1594687	0.1627229	0.1627193	0.1627193
170	n ²	0.0723996	0.0727673	0.0727667	0.0727667
171	tml	0.1497999	0.1496347	0.1496347	0.1496347
172			tm2 - Iterasi 1	tm3 - Iterasi 2	tk - Iterasi 3
173					
174				R'	0.5697525
175				S	0.0235009
176				n	0.2697531
177				k	-0.0000551
178				mu'	2.1121257
179	5)	tmu3	-0.064115658		
180	6)	Awal umbral	13.2333595		
181	7)	Akhir umbral	17.02320768		
182			13 : 14 : 00		
183			17 : 01 : 24		
184					

RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

1. Nama : Khotibul Umam
2. Tempat/Tgl. Lahir : Sumenep, 09 Februari 1994
3. Alamat Rumah : Dusun Tambak, RT/RW 013/006, Desa Pakamban Daya, Kec. Pragaan, Kab. Sumenep Madura Jawa Timur

- HP : 082 334 121 730
- Email : khotib94.umam@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. Pendidikan Formal:
 - a. TK / TPA Bustanul Ulum (1999-2002)
 - b. MI Bustanul Ulum (2002-2008)
 - c. MTs Bustanul Ulum (2008-2011)
 - d. MA Bustanul Ulum (2011-2014)
 - e. S1 Ilmu Falak UIN Walisongo Semarang (2014-2019)
2. Non Formal
 - a. Madrasah Diniyah Bustanul Ulum (2005-2011)
 - b. PP. Mambaul Ulum Bata-Bata (2011-2014)
 - c. FB (Fakiyah Bata-Bata) (2011-2014)
 - d. Brilians English Course Pare (2015)
 - e. Kursus B. Arab di WLC (2015)
 - f. EL-FAST Pare (Toefl) (2016)
 - g. Kursus IMKA di WLC (2017)

Semarang, 01 Desember 2022



Khotibul Umam

NIM: 2002048022