

**PENYEDERHANAAN ALGORITMA PENENTUAN WAKTU
GERHANA BULAN DALAM ASTRONOMI BOLA**

TESIS

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



Oleh:

FIKI NUAFI QURROTA AINI

NIM: 1802048007

PROGRAM MAGISTER ILMU FALAK

FAKULTAS SYARI'AH DAN HUKUM

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN) WALISONGO SEMARANG

2022

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Fiki Nuafi Qurrota Aini

NIM : 1802048007

Judul Penelitian : **Penyederhanaan Algoritma Astronomi Bola dalam Penentuan Gerhana Bulan**

Program Studi : S2 Ilmu Falak

menyatakan bahwa tesis :

PENYEDERHANAAN ALGORITMA ASTRONOMI BOLA DALAM PENENTUAN WAKTU GERHANA BULAN

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

Semarang, 13 Desember 2022

Pembuat Pernyataan,



Fiki Nu'afi Qurrota Aini

NIM. 1802048007



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>

PENGESAHAN PERBAIKAN

FTM-07

OLEH MAJELIS PENGUJI UJIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa tesis mahasiswa :

Nama : Fiki Nuafi Qurrota Aini
NIM : 1802048007
Judul : PENYEDERHANAAN ALGORITMA PENENTUAN
WAKTU GERHANA BULAN DALAM ASTRONOMI BOLA

telah diujikan pada tanggal 21 Desember 2022 dan dinyatakan
LULUS oleh majelis penguji :

NAMA	TANGGAL	TANDA TANGAN
<u>Dr. H. Mahsun, M.Ag.</u> Ketua Majelis	<u>3/1 - 2023</u>	
<u>Dr. H. Tolkah, MA.</u> Sekretaris	<u>3/1 - 2023</u>	
Prof. Dr. H. Muslich Shabir, MA. Penguji 1	<u>3/1 2023</u>	
Dr. H. Fakhruddin Aziz, Lc., MA. Penguji 2	<u>3/1 2023</u>	

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Syari'ah dan Hukum
UIN Walisongo
Di Semarang

Assalamu'alaikum wr. Wb.

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

Nama : **Fiki Nuafi Qurrota Aini**

NIM : 1802048007

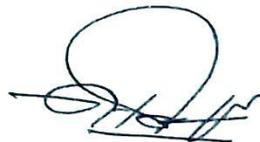
Program Studi : Magister Ilmu Falak

Judul : **Penyederhanaan Algoritma Astronomi Bola dalam Penentuan Waktu Gerhana Bulan.**

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

Wassalamu'alaikum wr. Wb.

Pembimbing I



Dr. H. Mahsun, M.Ag.

NIP. 19671113 200501 1 001

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Syari'ah dan Hukum
UIN Walisongo
Di Semarang

Assalamu'alaikum wr. Wb.

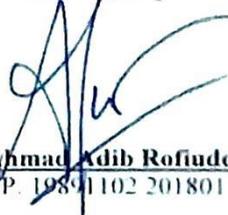
Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi terhadap tesis yang ditulis oleh:

Nama : **Fiki Nuafi Qurrota Aini**
NIM : 1802048007
Program Studi : Magister Ilmu Falak
Judul : **Penyederhanaan Algoritma Astronomi Bola dalam Penentuan Waktu Gerhana Bulan.**

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

Wassalamu'alaikum wr. Wb.

Pembimbing II



Dr. Ahmad Adib Rofiuddin, M.S.I
NIP. 19891102 201801 1 001

MOTTO

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

“Sesungguhnya Matahari dan Bulan adalah dua tanda di antara tanda-tanda kekuasaan Allah. Gerhana ini tidak terjadi sebab kematian seseorang ataupun lahirnya seseorang. Jika melihat hal tersebut maka berdoalah kepada Allah, bertakbirlah, kerjakanlah shalat dan bersedekahlah”

(H.R. Bukhari no.1044)

PERSEMBAHAN

Tesis ini saya persembahkan untuk:

Abah dan Umi tercinta;

Abah Nur Ahsin dan Umi Afifah Intanasari Noelly

Dua sosok yang selalu hadir dalam setiap doa serta langkah kehidupan
Saya.

Sosok Orangtua yang tidak pernah mengharapkan apapun pada buah
hatinya, selain kebaikan dunia akhirat.

Ucapan terimakasih serta untaian doa yang hanya bisa Saya haturkan
sebagai anak.

Semoga keduanya senantiasa dalam perlindungan serta kasih sayang
Allah swt.

Kedua Adikku tersayang;

Ulya Rahma Salsabila dan Muhammad Faiq Haidar Azmi

Keduanya merupakan sumber semangat serta pelipur lara.

Terimakasih, telah senantiasa hadir saat Saya berada pada kondisi
terpuruk sekalipun.

Guru Besar Penulis;

Para Guru Besar yang telah mencurahkan ilmunya tanpa pamrih,
utamanya para Guru Besar Ilmu Falak yang hingga kini ilmunya akan
senantiasa bermanfaat bagi Saya serta masyarakat.

ABSTRAK

Judul : **Penyederhanaan Algoritma Penentuan Waktu Gerhana Bulan dalam Astronomi Bola**

Penulis : Fiki Nuafi Qurrota Aini

NIM : 1802048007

Gerhana Bulan menjadi salah satu fenomena alam yang terjadi pada kurun waktu tertentu, menurut perhitungan peredaran Matahari, Bulan serta Bumi. Fenomena gerhana Bulan yang intensitasnya lebih banyak jika dibandingkan dengan gerhana Matahari, menggugah para ahli Astronomi serta ahli Falak semakin mengembangkan inovasi serta tingkat akurasi dalam formulasi perkiraan waktu gerhana Bulan. Gerhana Bulan sering diperkirakan terjadi pada saat Bulan mencapai fase Purnama (*Full Moon*), sehingga kemunculannya memiliki intensitas waktu yang lebih banyak jika dibandingkan dengan gerhana Matahari. Penentuan waktu gerhana Bulan dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya yakni melalui metode astronomi bola. Algoritma astronomi bola digunakan sebagai perhitungan berbagai fenomena alam, salah satunya yakni gerhana Bulan. Algoritma gerhana Bulan dalam astronomi bola, seringkali memiliki perhitungan yang rumit serta membingungkan. Perhitungannya yang relatif banyak memiliki opsi serta turunan perhitungan, menyebabkan banyak kerancuan pada hasil akhir perhitungannya. Oleh karena itu, maka penulis merasa perlu adanya penyederhanaan serta penjelasan metode pemilihan yang tepat terhadap algoritma penentuan gerhana Bulan dalam astronomi bola. Penelitian ini berisikan pembahasan

mengenai tahapan penyederhanaan penentuan waktu gerhana Bulan dalam astronomi bola serta uji akurasi hasil perhitungannya.

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif serta analisis statistik, dimana data astronomis yang berkaitan dengan gerhana bulan ditabulasikan menjadi sebuah informasi deskriptif. Selain itu, penelitian ini juga menggunakan pendekatan matematis, dimana dalam mencari rumus serta penyederhanaan algoritma penentuan gerhana Bulan dalam astronomi bola nya menggunakan metode trigonometri. Trigonometri dalam perhitungan tersebut, akan berfungsi sebagai pencari rumus serta sudut yang diperlukan dalam algoritma, sehingga pada penelitian ini terdapat hasil metode perhitungan penentuan waktu gerhana Bulan dalam astronomi bola yang lebih mudah dan praktis, sehingga dapat dijadikan sebagai rujukan alternatif bagi literatur perhitungan penentuan gerhana Bulan dalam astronomi bola.

Penelitian ini dapat menghasilkan metode algoritma penentuan waktu gerhana Bulan yang lebih sederhana dan praktis. Tahapan perhitungan menjadi lebih ringkas serta terdapat beberapa tambahan informasi mengenai rumus geometri. Perhitungan yang telah disederhanakan ini juga menjadikan proses perhitungan gerhana Bulan dalam astronomi bola terhindar dari berbagai kerancuan dalam data yang dihasilkan.

Kata Kunci: Gerhana Bulan, Astronomi Bola, Trigonometri.

ABSTRACT

Title : **Simplification Algorithms of Determining the Time A Lunar Eclipse in Spherical Astronomy**

Author : Fiki Nuafi Qurrota Aini

NIM : 1802048007

A lunar eclipse was one of a natural phenomenon on over time, a reckoning of the sun, the moon and earth. The phenomenon of a lunar eclipse that the intensity more compared to a solar eclipse , make astronomers develop innovations as well as the formulation accuracy in estimates time a lunar eclipse. A lunar eclipse often is predicted to occur in when the moon reach 'Purnama' (full moon), that emergence having the intensity of more time compared to a solar eclipse. Determining the time a lunar eclipse can be done by various ways, one of them is through a method of spherical astronomy. The spherical astronomy algorithm is used to calculate various natural phenomena, one of which is the lunar eclipse. The lunar eclipse algorithm in spherical astronomy often has complex and confusing calculations. The calculations relatively many options and calculation derivatives, cause a lot of confusion in the final results of the calculations. Therefore, the authors feel the need for simplification and explanation of the correct selection method for the algorithm for determining lunar eclipses in spherical astronomy. This study contains a discussion of the simplification of determining the timing of lunar eclipses in spherical

astronomy and testing the accuracy of the calculation results.

This study uses quantitative research methods and statistical analysis, in which astronomical data related to lunar eclipses are tabulated into descriptive information. This study also uses a mathematical approach, where in finding formulas and simplifying algorithms for determining lunar eclipses in spherical astronomy using the trigonometry method. Trigonometry in these calculations will function as a search for formulas and angles needed in the algorithm, so that in this study there are results of calculation methods for determining the time of lunar eclipses in spherical astronomy that are easier and more practical, so that they can be used as an alternative reference for literature on calculating lunar eclipses in spherical astronomy.

This research can produce a more simple and practical algorithm for determining the timing of lunar eclipses. The calculation steps become more concise and there is some additional information about geometric formulas. This simplified calculation also makes the process of calculating lunar eclipses in spherical astronomy avoid various confusions in the resulting data.

Keywords: Lunar Eclipse, Spherical Astronomy, Trigonometry.

ملخص

الموضوع : خوارزميات التبسيط لتحديد الوقت كسوف القمر
في علم الفلك الكروي.
الباحث : فيكي نعافي قررة عيني
رقم الطالب : ١٨٠٢٠٦٨٠٠٧ :

كان كسوف القمر ظاهرة طبيعية بمرور الوقت ، وهو حساب الشمس والقمر والأرض. ظاهرة الكسوف القمري التي تجعل الشدة أكثر مقارنة بالكسوف الشمسي ، تجعل الفلكيين يطورون الابتكارات بالإضافة إلى دقة الصياغة في وقت التقديرات كسوف القمر. غالبًا ما يُتوقع حدوث كسوف القمر عندما يصل القمر إلى البدر ، وهذا الظهور له كثافة المزيد من الوقت مقارنة بالكسوف الشمسي. تحديد الوقت الذي يمكن فيه أن يتم كسوف القمر بطرق مختلفة ، أحدها من خلال طريقة علم الفلك الكروي. يتم استخدام خوارزمية علم الفلك الكروي لحساب الطواهر الطبيعية المختلفة ، أحدها كسوف القمر. غالبًا ما تحتوي خوارزمية الكسوف القمري في علم الفلك الكروي على حسابات معقدة ومربكة. تتسبب الحسابات في العديد من الخيارات ومشتقات الحساب ، مما يسبب الكثير من الارتباك في النتائج النهائية للحسابات. لذلك ، يشعر المؤلفون بالحاجة إلى تبسيط وتفسير طريقة الاختيار الصحيحة للخوارزمية لتحديد خسوف القمر في علم الفلك الكروي. تحتوي هذه الدراسة على مناقشة حول تبسيط تحديد توقيت الكسوف القمري في علم الفلك الكروي واختبار دقة نتائج الحساب.

تستخدم هذه الدراسة طرق البحث الكمي والتحليل الإحصائي ، حيث يتم جدولة البيانات الفلكية المتعلقة بالكسوف القمري إلى معلومات وصفية. تستخدم هذه الدراسة أيضًا نهجًا رياضيًا ، حيث في العثور على الصيغ وتبسيط الخوارزميات لتحديد خسوف القمر في علم الفلك الكروي باستخدام طريقة علم المثلثات. سيعمل علم المثلثات في هذه الحسابات كبحث عن الصيغ والزوايا المطلوبة في الخوارزمية، بحيث توجد في هذه الدراسة نتائج لطرق حساب تحديد وقت الكسوف القمري في علم الفلك الكروي التي تكون أسهل وأكثر

عملية بحيث يمكن استخدامها كمرجع بديل للأدب حول حساب خسوف القمر في علم الفلك الكروي.

يمكن أن ينتج هذا البحث خوارزمية أكثر بساطة وعملية لتحديد توقيت خسوف القمر. تصبح خطوات الحساب أكثر إيجازًا وهناك بعض المعلومات الإضافية حول الصيغ الهندسية. هذا الحساب المبسط يجعل أيضًا عملية حساب الكسوف القمري في علم الفلك الكروي تتجنب الارتباطات المختلفة في البيانات الناتجة.

الكلمات الدالة: خسوف القمر، علم الفلك الكروي علم المتلثات.

TRANSLITERASI ARAB-LATIN

Keputusan Bersama Menteri Agama dan Menteri P dan K
 Nomor: 158/1987 dan Nomor: 0543b/U/1987

1. Konsonan

No	Arab	Latin
1	ا	Tidak dilambangkan
2	ب	B
3	ت	T
4	ث	ṡ
5	ج	J
6	ح	Ḥ
7	خ	Kh
8	د	D
9	ذ	ẓ
10	ر	R
11	ز	Z
12	س	S
13	ش	Sy
14	ص	ṡ
15	ض	Ḍ

No	Arab	Latin
16	ط	Ṭ
17	ظ	Ẓ
18	ع	–
19	غ	G
20	ف	F
21	ق	Q
22	ك	K
23	ل	L
24	م	M
25	ن	N
26	و	W
27	ه	H
28	ء	–
29	ي	Y

2. Vokal Pendek

... = a كَتَبَ kataba
 ... = i سُوِّلَ su'ila
 ... = u يَزَّهَبُ yazhabu

3. Vokal Panjang

أ... = ā قَال qāla
 إِي = ī قِيلَ qīla
 أُو = ū يَقُولُ yaqūlu

4. Diftong

أَي = ai كَيْفَ kaifa

Catatan:

Kata sandang [al-] pada bacaan syamsiyyah atau qamariyyah ditulis [al-] secara konsisten supaya selaras dengan teks Arabnya

KATA PENGANTAR

Alḥamdulillāhirobbil‘ālamīn, puji syukur kehadirat Allah swt yang telah memberikan *rahmat* serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menuntaskan tesis **Penyederhanaan Algoritma Penentuan Waktu Gerhana Bulan dalam Astronomi Bola** dengan baik.

Salawat serta salam tidak lupa senantiasa penulis haturkan kepada baginda Rasulullah saw beserta para keluarga, sahabat-sahabatnya serta para pengikutnya yang telah membawa umat nya dari zaman kegelapan *jahiliyyah* menuju cahaya Islam hingga dapat berkembang dengan pesat hingga kini.

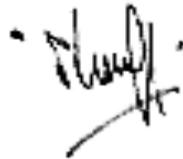
Selama kurun waktu perampungan penulisan tesis ini, penulis sangat menyadari bahwa semua ini tidak akan terlaksana dengan baik tanpa adanya usaha serta dukungan (baik berupa dukungan moril maupun spirtual) dari berbagai pihak. Oleh karenanya, penulis hendak menyampaikan ungkapan terimakasih kepada;

1. Abah, Umi serta kedua adik Saya yang telah senantiasa memanjatkan doa serta pengharapan baik bagi penulis. Segaa perhatian, dukungan hingga curahan kasih sayang yang telah diberikan, tidaka akan pernah dapat Saya balas dengan suatu apapun yang setimpal dengannya.
2. Dr. H. Mahsun, M.Ag., selaku Ketua Jurusan S2 Ilmu Falak serta Dosen Pembimbing I yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga serta sumbangsih pemikiran selama waktu bimbingan berlangsung, demi mengarahkan penulis dalam penyusunan tesis, sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
3. Ahmad Adib Rofiuddin, M.S.I., selaku Dosen Pembimbing II yang juga telah bersedia meluangkan waktu, tenaga serta sumbangsih pemikirannya selama waktu bimbingan berlangsung, demi mengarahkan penulis dalam penyusunan tesis sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
4. Drs. H. Slamet Hambali, M.S.I., Dr. H. Ahmad Izzuddin M.Ag. para guru besar ilmu Falak yang senantiasa memberikan seluruh ilmunya pada penulis.

5. Arief Laila Nugraha, ST, M.Eng., dosen Geodesi UNDIP yang telah bersedia menambahkan wawasan mengenai ilmu Geodesi serta astronomi bola pada penulis, sehingga tesis ini dapat terselesaikan dengan baik.
6. Teman seangkatan 2019 S2 Ilmu Falak, terutama kepada Alaik Ridhallah, M.H. serta Akatina M.H. yang telah banyak memberikan masukan serta saran selama proses perampungan tesis ini.

Semarang, 13 Desember 2022

Penulis,



Fiki Nu'afi Qurrota Aini

NIM. 1802048007

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
PENGESAHAN.....	iii
NOTA PEMBIMBING.....	iv
MOTTO.....	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
ABSTRAK.....	viii
TRANSLITERASI.....	xiv
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	Xix
DAFTAR GAMBAR.....	xx
BAB I: PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Rumusan Masalah.....	7
C. Tujuan dan Manfaat Penelitian..	8
D. Kajian Pustaka.....	8
E. Metode Penelitian.....	11
F. Sistematika Pembahasan.....	16
BAB II: TINJAUAN UMUM GERHANA BULAN.....	
A. Pengertian Gerhana Bulan.....	18
B. Data Primer Algoritma Perkiraan Waktu Gerhana Bulan.....	23
C. Hisab Rukyat Gerhana Bulan.....	27
BAB III: ALGORITMA ASTRONOMI BOLA GERHANA BULAN.....	
A. Komponen Utama Algoritma Astronomi Bola.....	30

	B.	Algoritma Penentuan Waktu Gerhana Bulan dalam Astronomi Bola.....	
BAB		IV: PENYEDERHANAAN ALGORITMA PENENTUAN WAKTU GERHANA BULAN DALAM ASTRONOMI BOLA.....	48
	A.	Tahapan Penyederhanaan Algoritma Penentuan Waktu Gerhana Bulan dalam Astronomi Bola.....	
	B.	Akurasi Hasil Penyederhanaan Algoritma Penentuan Gerhana Bulan dalam Astronomi Bola.....	60
BAB V:		PENUTUP.....	75
	A.	Simpulan.....	
	B.	Saran	81

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Tabel <i>Database</i> Jarak Sudut Gerhana Bulan.....	63
Tabel 4.2	<i>Database</i> Batas Gerhana Bulan.....	67
Tabel 4.3	<i>Database</i> Algoritma Gerhana Bulan.....	69
Tabel 4.4	Komparasi Waktu Gerhana Bulan.....	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Posisi dan Kenampakan Gerhana Bulan Penumbra (Gerhana Sebagian).....	20
Gambar 2.2	Posisi dan Kenampakan Gerhana Bulan Umbra (Gerhana Total).....	21
Gambar 2.3	Fase Bulan pada saat terjadi Gerhana.....	22
Gambar 3.1	Skema Ukuran Sudut Trigonometri.....	30
Gambar 3.2	Diagram Lingkaran Sudut Satuan Derajat.....	31
Gambar 3.3	Diagram Lingkaran Sudut Satuan Radian.....	32
Gambar 3.4	Skema Permukaan Bola.....	35
Gambar 3.5	Skema Titik Lawan Permukaan Bola.....	36
Gambar 3.6	Skema Lingkaran Besar.....	36
Gambar 3.7	Skema Lingkaran Kecil.....	37
Gambar 3.8	Skema Kutub Lingkaran Besar.....	38
Gambar 3.9	Kutub Lingkaran Kecil.....	38
Gambar 3.10	Skema Irisan Bola.....	39
Gambar 3.11	Skema Busur Lingkaran pada Bola.....	40
Gambar 3.12	Skema Jarak Sferis.....	41
Gambar 3.13	Proyeksi Jarak Sferis pada Bola.....	41
Gambar 3.14	Skema Segitiga Bola.....	42
Gambar 3.15	Skema Segitiga Bola ABC pada Bola Satuan....	43
Gambar 3.16	Skema Segitiga Bola pada Satuan.....	44
Gambar 3.17	Skema Koordinat Geodetik.....	45
Gambar 3.18	Sistem Koordinat 3D.....	47
Gambar 3.19	Skema Gerhana Bulan.....	48
Gambar 3.20	Jarak Sudut Umbra.....	50
Gambar 3.21	Skema Sudut pada Garis Lintas Gerhana Bulan.....	51
Gambar 3.22	Skema Batas Gerhana Bulan.....	52
Gambar 3.23	Skema Bidang Segitiga $M\hat{N}C$	53
Gambar 3.24	Skema Posisi Bulan pada Bola Langit.....	55
Gambar 4.1	Skema Sudut pada Garis Lintas Gerhana Bulan.....	60

Gambar 4.2	Skema Bidang Segitiga $M\hat{N}C$	63
Gambar 4.3	Kenampakan Gerhana Bulan 15 Mei 2022 pada pukul 21:40:20.....	77
Gambar 4.4	Kenampakan Gerhana Bulan 15 Mei 2022 pada pukul 21:32:07.....	77
Gambar 4.5	Kenampakan Gerhana Bulan 15 Mei 2022 pada pukul 22:59:42.....	77
Gambar 4.6	Kenampakan Gerhana Bulan 15 Mei 2022 pada pukul 22:29:03.....	77
Gambar 4.7	Kenampakan Gerhana Bulan 15 Mei 2022 pada pukul 0:39:41.....	78
Gambar 4.8	Kenampakan Gerhana Bulan 15 Mei 2022 pada pukul 0:50:48.....	78
Gambar 4.9	Kenampakan Gerhana Bulan 15 Mei 2022 pada pukul 0:14:10.....	78
Gambar 4.10	Kenampakan Gerhana Bulan 15 Mei 2022 pada pukul 0:55:07.....	78

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Gerhana merupakan salah satu fenomena alam semesta yang terjadi dalam kurun waktu tertentu. Penampakan gerhana dapat diprediksi melalui berbagai algoritma astronomis. Algoritma gerhana sendiri, merupakan salah satu dari sekian banyaknya pembahasan dalam bidang ilmu astronomi maupun ilmu Falak¹. Hasil algoritma gerhana tersebut berguna dalam literasi astronomi maupun ilmu Falak. Selain bertujuan sebagai sumber literasi, algoritma gerhana juga berguna sebagai tolak ukur salah satu penegakkan syari'at dalam agama Islam, yakni pelaksanaan salat gerhana, baik itu salat gerhana Matahari (*Kusuf*)² maupun salat gerhana Bulan (*Khusuf*)³. Oleh sebab itu, maka di dalam algoritma gerhana memerlukan akurasi data yang tepat.

Meski dalam algoritma penentuan perkiraan gerhana tidak terdapat perbedaan dan menjadi sebuah masalah yang krusial antar sesama ahli ilmu Falak (seperti halnya perbedaan dalam algoritma penentuan awal bulan Qamariyah dalam

¹ Menurut bahasa, “Falak” (Orbit), merupakan “lintasan berbagai benda langit”, yang mana dalam hal ini mengartikan Falak sebagai lintasan benda langit, sebagai pengetahuan untuk posisi suatu benda langit. Muhyiddin Khazin, *Kamus Ilmu Falak* (Jogjakarta: BUANA PUSTAKA, 2005), 34.

² Kata *Kusuf* berkaitan dengan *Syams* (Matahari) dan memiliki arti gerhana Matahari. *Kusuf* berarti menutupi, yang dimaksudkan pada bagian Bulan yang menutupi bagian Matahari. Khazin, 47.

³ Kata *Khusuf* berkaitan dengan kata *Qamar* (Bulan), dan memiliki makna sebagai gerhana Bulan. Kata *Khusuf* berartikan memasuki, sebagaimana Bulan yang masuk pada kerucut bayang Bumi (umra), dan menjadikan Bulan nampak gelap sebagian atau keseluruhan. Khazin, 45.

kalender Hijriyah⁴), namun hasil algoritmanya sangat penting bagi tolok ukur renggang waktu pelaksanaan salat gerhana. Jika dalam penentuan awal bulan Qamariyah (khususnya bulan Ramadhan, Syawal dan Zulhijjah) kerap kali terdapat perbedaan di dalam algoritmanya, maka algoritma dalam penentuan waktu gerhana tidak demikian. Hal ini disebabkan dengan tidak adanya pembahasan lebih lanjut dalam bidang ilmu Falak. Selain itu, tidak ditemukannya pemicu yang menyebabkan *hisab*⁵ maupun *rakyat*⁶ dalam penentuan penentuan waktu gerhana menjadi bahan perdebatan antar ahli Falak dan cukup sampai menjadi sebuah bahan kajian dalam ilmu Falak. Selain itu, fenomena gerhana juga merupakan faktor utama yang hanya berkaitan dengan ibadah salat gerhana (baik itu salat *Kusuf* maupun *Khusuf*) yang memiliki hukum *sunnah*. Tentu saja hal ini akan sangat berbeda dengan ibadah puasa Ramadhan, salat lima waktu (salat farḍu) maupun ibadah wajib lainnya. Sehingga, salat gerhana tidak mendapat antusiasme yang cukup besar.

Namun jika dirunut kembali ke dalam sebuah persoalan syari‘at Islam, maka algoritma penentuan waktu gerhana juga memiliki peranan penting, yakni salat gerhana. Salat gerhana berdasarkan pada sebuah hadis yang diriwayatkan oleh Bukhari dan Muslim sebagai berikut;

⁴ Kalender Hijriyah, merupakan sebuah adaptasi dari pemikiran Khalifah Umar bin Khaṭṭab yang mana bertujuan untuk menandai sebuah proses yang dihitung berdasarkan waktu seteah terjadinya perjalanan Rasulullah saw ke Madinah untuk melaksanakan hijrah. Ibrahim Zein and Ahmed El-Wakil, “On the Origins of the Hijrī Calendar: A Multi-Faceted Perspective Based on the Covenants of the Prophet and Specific Date Verification,” *Religions* 12, no. 1 (2021), <https://doi.org/10.3390/rel12010042>.

⁵ *Hisab*, merupakan sistem algoritma atau aritmatika. Khazin, *Kamus Ilmu Falak*, 30.

⁶ *Rakyat* berarti “melihat”, yang dalam hal ini berarti sebuah kegiatan pengamatan (observasi) benda-benda langit. Khazin, 69.

حَدَّثَنَا يَعْلَى حَدَّثَنَا إِسْمَاعِيلُ عَنْ قَيْسٍ عَنْ أَبِي مَسْعُودٍ عَنْ رَسُولِ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ قَالَ إِنَّ الشَّمْسَ وَالْقَمَرَ لَيْسَا يَنْكَسِفَانِ لِمَوْتِ أَحَدٍ مِنَ النَّاسِ وَلَكِنَّهُمَا آيَاتَانِ مِنْ آيَاتِ اللَّهِ فَإِذَا رَأَيْتُمُوهُمَا فَفُؤِمُوا فَصَلُّوا

“Telah menceritakan kepada kami Ya'la telah menceritakan kepada kami Isma'il dari Qais dari Abu Mas'ud dari Rasulullah shallallahu 'alaihi wasallam, beliau bersabda: "Sesungguhnya Matahari dan bulan tidak mengalami gerhana karena kematian seseorang, tetapi keduanya adalah dua tanda di antara tanda-tanda kekuasaan Allah, apabila kalian melihatnya maka bangkit dan lakukanlah shalat”

(H.R. Bukhari dan Muslim).⁷

Hadis ini berkaitan dengan zaman dimana sebelumnya datangnya Rasulullah saw untuk menyampaikan ajaran Allah kepada manusia. Gerhana (Matahari maupun Bulan), kerap dikaitkan dengan adanya sebuah peristiwa besar yang diyakini oleh masyarakat pada zaman itu. Peristiwa besar yang dimaksud dalam hal ini adalah adanya kelahiran ataupun kematian dari seseorang. Hingga kini, masih banyak mitos yang beredar soal gerhana, dimana gerhana dianggap sebagai sebuah malapetaka bagi kalangan tertentu yang mempercayai mitos tersebut. Sehingga bagi seorang Muslim telah dijelaskan mengenai fenomena gerhana tersebut, baik melalui dalil Qur'an maupun hadis. Pada kedua sumber hukum tersebut dijelaskan, bahwa gerhana hanyalah sebagai tanda kebesaran serta kuasa Allah atas makhluk-makhluk Nya, dimana ketika seorang Muslim melihat peristiwa fenomena gerhana disunnahkan untuk mengagumi kebesaran Allah tersebut dengan melakukan segala perbuatan baik. Salah satu perbuatan baik yang dianjurkan tersebut adalah salat gerhana.

⁷ Imam Ad-Darimi, Sunan Ad-Darimi, terj. Abdul Syukur Abdul Razaq (Jakarta: Pustaka Azzam, jilid I, 2007), hlm. 865.

Selain dalam hadis, perihal mengenai gerhana juga dijelaskan dalam Q.S. Fuṣṣilat: 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, tapi sembahlah Allah yang menciptakannya, jika ialah yang kamu hendak sembah”

Selain berguna sebagai tolok ukur ketentuan pelaksanaan salat gerhana, algoritma penentuan waktu gerhana juga terdapat kaitannya dengan algoritma awal bulan Qamariyah dalam kalender Hijriyah. Hal ini disebabkan oleh adanya kesamaan data benda langit yang dipakai sebagai dasar algoritma, antara kalenderisasi Hijriyah dengan penentuan waktu gerhana. Sehingga, *database* yang digunakan dalam kedua algoritma tersebut bersifat saling berkaitan dan memiliki nilai yang sama⁸.

Algoritma penentuan waktu gerhana yang menjadi pembahasan pada penelitian ini adalah algoritma penentuan waktu gerhana Bulan. Adapun terjadinya fenomena gerhana Bulan disebabkan pada saat bayangan Bulan memasuki kerucut bayangan Bumi, dimana pada saat peristiwa tersebut terjadi, posisi antara Matahari, Bumi dan Bulan berada pada satu garis lurus. Gerhana Bulan biasa terjadi pada saat Bulan memasuki fase Bulan purnama. Oleh sebab itu maka presentase terjadinya peristiwa fenomena gerhana Bulan akan lebih banyak terjadi jika dibandingkan dengan gerhana Matahari. Pada algoritma

⁸ M Bastoni, “Accuracy of Solar Eclipse Calculation Algorithm Based on Jet Propulsion Laboratory Data Nasa,” *Al-Ahkam* 30, no. 1 (2020): 114, <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.21580/ahkam.2020.30.1.5036>.

penentuan waktu gerhana Bulan, para ahli Falak memerlukan beberapa data yang dapat berupa letak geografis pengamat (titik bujur dan lintang), jarak antara Bumi dan Bulan, jarak antara Matahari dan Bulan serta beberapa data lainnya. Algoritma yang digunakan para ahli Falak untuk memperkirakan waktu gerhana menggunakan berbagai macam metode serta sumber referensi data perhitungan. Pada metode algoritma serta sumber referensi algoritma gerhana Bulan terdapat dua macam metode yang digunakan, yakni moderen dan klasikal.

Sumber referensi klasikal yang biasa digunakan para ahli Falak seperti halnya yang terdapat dalam kitab *Sullam an-Nayyirain*⁹, *Faṭ ar Rauf al Manan*¹⁰ hingga *Khulaṣah al-Wafiyah*¹¹, hingga menerapkan perhitungannya dengan menggunakan piranti *Rubu' Mujayyab*¹². Adapun metode

⁹ Kitab *Sullam an Nayyirain* disusun oleh H. Muhammad Mansur bin Abdul Hamid bin Muhammad ad-Damiry al-Batawiy (yang terkadang beliau menisbatkan dirinya dengan sebutan *Jakartawiy*). Kitab ini diterbitkan oleh penerbit Borobudur di bawah judul “Kitab Sullam an-Nayyirain li Ma’rifati al-Ijtima’ wa al-Kusufain” diterbitkan pada tahun 1344 H (1925 M). M. Teguh Shobri, “Kitab Sullam An-Nayyirain Dalam Tinjauan Astronomi Modern,” *An Nisa’*, no. 2 (2014): 46.

¹⁰ Kitab *Faṭ ar Rauf al Mannan*, merupakan karya Kyai Noor Ahmad pada tahun 1999. Jayusman, “Pemikiran Ilmu Falak Kyai Noor Ahmad SS,” *Ahkam*, no. 1 (2014): 23.

¹¹ *Khulaṣah al Wafiyah*, merupakan karya Syaikh Zubair Umar al-Jailany yang meruoakan seorang pakar dan akademisi Falak yang terkenal di Indonesia. Kitabnya menggunakan prinsip *heliosentris*, yang hingga kini diakui kebenaran ilmiahnya. Ahmad Izzuddin, “Syaikh Zubair Al-Jailany Dalam Sejarah Hisab Di Indonesia,” *Al Marshad: Jurnal Astronomi Islam Dan Ilmu-Ilmu Berkaitan*, no. 2 (2016): 94, <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.30596%2Fjam.v2i2.2532>.

¹² *Rubu' Mujayyab (Quadrant Sinus)*, merupakan piranti yang digunakan untuk menghitung sudut benda langit, waktu, penentuan waktu salat serta arah kiblat hingga posisi Matahari dalam berbagai macam konstelasi sepanjang tahun. Istilah *Rubu' Mujayyab* diambil dari bahasa Arab yakni *Rubu'* yang berarti seperempat (oleh karenanya bentuk *Rubu'* berupa seperempat bagian lingkaran). Adapun istilah *Mujayyab* berarti sinus. Moelki Fahmi,

algoritma modern serta sumber perhitungannya dapat ditemukan dalam perhitungan ilmu fisika, astronomi hingga astrofisika. Rujukan literasinya lebih didominasi dengan sistem algoritma komputerisasi. Berbagai metode algoritma modern ini dapat ditemukan dalam algoritma penentuan waktu gerhana Bulan yang menggunakan data *Spherical Astronomy, Ephemeris*¹³ hingga *Bessel*¹⁴. Data *Ephemeris* mengandalkan *database* yang terdapat dalam berbagai *software*¹⁵ komputer, yang mana seluruh data tersebut mengacu pada satuan waktu *Greenwich*, yang sudah dinilai akurat sebagai tolok ukur penentuan waktu.

Adapun dalam algoritma astronomi bola, gerhana Bulan dapat dihitung melalui beberapa konsep trigonometri serta penggunaan elemen *Bessel*. Elemen *Bessel* yang digunakan dalam perhitungan astronomi bola merupakan elemen *Bessel* yang bersifat *Bessel Spherical Function* (Fungsi *Bessel* Bola).

Algoritma astronomi bola¹⁶, dianggap masih terhitung rumit dalam rumus algoritmanya. Salah satu kerumitan yang

“Kajian Perangkat Hisab Rukyat Nusantara (Rubu’ Mujayyab Dan Astrolabe Dalam Hisab Awal Waktu Salat),” *Bimas Islam*, no. 1 (2015): 7.

¹³ *Ephemeris* merupakan tabel yang berisikan daftar waktu serta posisi benda-benda langit. Stanley Q. Kidder and Thonas H., *Satellite Meteorology* (United States of America: Academic Press Limited, 1995), 34.

¹⁴ Elemen *Bessel*, adalah deretan nilai yang diperuntukkan sebagai perkiraan keadaan okultasi lokal dari pengamat yang berada pada koordinat Bumi. Hal tersebut merupakan metode utama yang digunakan sebagai perhitungan gerhana. P. Kenneth Seidelmann, *Explanatory Supplement to the Astronomical* (California: University Science Book, 2006), 464.

¹⁵ *Software*, merupakan kumpulan dari program komputer, prosedur serta dokumentasi yang menampilkan beberapa laman kerja yang berbeda pada sistem komputer. Dzeugang Placide, *Introduction to Computer Software* (Republic of Came: PCHS Mankon, 2014), 2.

¹⁶ Astronomi bola merupakan ilmu astronomi yang berkonsentrasi pada bidang astronomi yang berisikan tentang arah. Arah iyang dimaksud adalah arah pada titik Bintang yang dapat terlihat dan dapat dengan mudah untuk dijabarkan posisinya di atas permukaan bila langit yang berbanding lurus dengan letak permukaan pengamat Bintang. W. M. Smart, *Textbook on*

terdapat dalam algoritma astronomi bola terletak pada algoritma penentuan waktu gerhana (baik itu Matahari maupun Bulan). Data-data yang diperlukan dalam algoritma penentuan waktu gerhana lebih disajikan dalam bentuk rentetan kalimat yang bersifat deskriptif dengan susunan kalimat yang terlampau panjang serta pemaparan langkah algoritma nya yang tersaji dalam berbagai bentuk susunan perhitungan. Hal tersebut diakibatkan dari adanya beberapa perhitungan tambahan sebagai perhitungan koreksi. Lain halnya dengan algoritma penentuan waktu gerhana dalam sistem algoritma lainnya yang terkesan lebih ringkas, sebab di dalamnya telah terdapat berbagai data yang telah disajikan secara ringkas. Selain itu, algoritma perkiraan gerhana dalam metode astronomi bola memerlukan lebih banyak sistem perhitungan yang membutuhkan beberapa ketelitian. Oleh karenanya, dapat ditemukan berbagai kesulitan dalam perhitungannya.

Selain itu, dalam astronomi bola juga banyak disajikan data-data beda langit yang bersifat *sferis*, yang didominasi dari sumber titik koordinat serta skema trigonometri (segitiga bola) yang membutuhkan banyak waktu dalam pengerjaannya, sehingga dalam hal ini dirasa sangat perlu untuk adanya kajian lebih lanjut mengenai sistem algoritma penentuan waktu gerhana Bulan berdasarkan pada algoritma astronomi bola, sehingga dapat memperoleh algoritma astronomi bola yang sifatnya lebih ringkas serta dapat dijadikan sebagai alternatif lain dalam hal perhitungan gerhana Bulan.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, terdapat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana tahapan penyederhanaan algoritma penentuan waktu gerhana Bulan dalam astronomi bola?
2. Bagaimana tingkat akurasi yang dihasilkan dari penyederhanaan algoritma penentuan waktu gerhana Bulan dalam astronomi bola?

C. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan adanya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui penyederhanaan algoritma penentuan waktu gerhana Bulan dalam astronomi bola.
2. Mengetahui akurasi dari hasil penyederhanaan algoritma penentuan waktu gerhana Bulan dalam astronomi bola.

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Kajian akademik ilmu *Falak* sebagai alternatif lain dalam memperhitungkan perkiraan waktu gerhana Bulan.
2. Memberikan kemudahan dalam algoritma penentuan waktu gerhana Bulan pada astronomi bola yang lebih sederhana dan ringkas.
3. Memberikan hasil (*output*) secara akurat mengenai algoritma gerhana Bulan yang berdasarkan pada titik koordinat lokasi yang disandarkan pada sistem algoritma astronomi bola.
4. Memberikan wawasan dalam bidang keilmuan, khususnya terhadap ilmu *falak* serta astronomi mengenai perhitungan gerhana Bulan.

D. Kajian Pustaka

Terkait penelitian mengenai algoritma perkiraan waktu gerhana Bulan dalam astronomi bola, terdapat beberapa informasi serupa yang berasal dari sebagian kajian penelitian

yang telah ada. Adapun beberapa kajian penelitian tersebut adalah sebagai berikut:

Artikel karya Muhammad Farid Azmi dalam Jurnal El Falaky, “Prediksi Pergerakan Bayangan Bumi Saat Terjadi Gerhana Bulan Menggunakan Ephemeris Hisab Rukyat”. Artikel tersebut berisikan pembahasan mengenai konsep serta algoritma gerak bayang Bumi yang bersifat lokal, dimana hal tersebut hanya berlaku di sebuah tempat terjadinya fenomena gerhana Bulan. Daya yang digunakan merupakan data yang berasal dari data *Ephemeris Hisab Rukyat* yang telah dikeluarkan oleh Kementerian Agama Republik Indonesia pada setiap tahunnya. Seluruh data *Ephemeris* tersebut, kemudian diolah menggunakan rumus Trigonometri bola^{17, 18}.

Artikel milik Alimuddin dalam Jurnal Al Daulah, “Gerhana Bulan Perspektif Astronomi”. Artikel tersebut berisikan pembahasan mengenai gerhana Bulan secara umum yang dilihat melalui paradigma astronomi. Segala hal yang berkaitan dengan gerhana, seperti halnya berbagai macam gerhana hingga peristiwa gerhana yang tercatat dalam sejarah. Pada artikel tersebut juga diterangkan mengenai beberapa hal yang perlu dilakukan Umat Muslim pada saat terjadinya fenomena gerhana.¹⁹

¹⁷ Trigonometri bola (*Spherical Trigonometry*), merupakan sisi dari sebuah segitiga bola pada busur lingkaran besar, yang mana lingkaran besar tersebut adalah sebuah persimpangan dari sebuah permukaan bola dengan pusat permukaan melalui pusat lingkungan lingkaran tersebut. Sudut dari sebuah segitiga bola diukur pada bidang yang bersinggungan dengan bola di persimpangan sisi yang membentuk sudut. Rob Johnson, “Spherical Trigonometry,” n.d., 1.

¹⁸ Muhammad Farid Azmi, “Prediksi Pergerakan Bayangan Bumi Saat Terjadi Gerhana Bulan Menggunakan Ephemeris Hisab Rukyat,” *El Falaky: Jurnal Ilmu Falak*, no. 2 (2019): 138–57.

¹⁹ Alimuddin, “Gerhana Bulan Perspektif Astronomi,” *Al Daulah*, no. 1 (2014): 72–79.

Artikel milik Rizka Amalia dalam Jurnal Riset Hukum Keluarga Islam, “Tinjauan Ilmu Falak Terkait Fenomena Gerhana Bulan Penumbra Terhadap Kebijakan Salat Gerhana pada Ormas Islam”. Pada artikel tersebut terdapat pembahasan mengenai hukum salat gerhana yang ditunaikan pada saat gerhana sebagian (bukan gerhana total) dalam kajian ilmu Fikih. Analisis Fikih astronomi lebih ditekankan dalam artikel tersebut. Dijelaskan juga di dalam artikel tersebut mengenai perbedaan pendapat antar Organisasi Masyarakat Islam dalam menanggapi pernyataan bahwa hukum yang diterapkan pada salat gerhana Bulan adalah *Sunnah Muakkad*.²⁰

Artikel milik Ismail dalam Jurnal Al Marshad “Hisab Urfi Gerhana Matahari dan Gerhana Bulan”. Artikel ini menjelaskan bahwa gerhana (Bulan maupun Matahari) dapat diperhitungkan melalui *Hisab Urfi*²¹ melalui penyusunan sudut gerak gerhana Bulan maupun Matahari, yang mana sudut gerak tersebut menjadi tolok ukur ada atau tidaknya peristiwa fenomena gerhana yang akan terjadi. Setelah melalui proses tersebut, maka akan dilakukan perhitungan nilai gerak tahunan pada gerhana. Kemudian perlu adanya perhitungan nilai gerak gerhana pada waktu yang telah ditentukan. Pada asrtikel tersebut, Rizka berpendapat bahwa *hisab urfi* sebagai metode

²⁰ Rizka Amalia and Titin Suprihatin, “Tinjauan Ilmu Falak Terkait Fenomena Gerhana Bulan Penumbra Terhadap Kebijakan Salat Gerhana Pada Ormas Islam,” *Journal Riset Keluarga Hukum Islam*, no. 2 (2021): 58–62, <https://doi.org/10.29313/jrhki.v1i2.430>.

²¹ Hisab Urfi merupakan perhitungan kalender yang berdasar dari peredaran rerata Bulan yang beredar mengelilingi Bumi. Hasna Tuddar Putri, “Hisab Urfi Syekh Abbas Kutakarang: Kajian Etnoastronomi Dalam Penentuan Awal Bulan Hijriah,” *Ar Raniry* 21, no. 1 (2019): 57, <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22373/jms.v21i1.6476>.

penentuan gerhana dinilai sangat akurat jika dibandingkan dengan data perhitungan NASA.²²

Artikel milik Ehsan Hidayat dalam Jurnal Miyah “Penentuan Jumlah Gerhana Bulan dengan Argumen Lintang Bulan dan Teori Aritmatika”. Menurut Ehsan, gerhana Bulan dapat diperhitungkan melalui pola aritmatika²³ melalui nilai argumen lintang Bulan. Selain itu, data tersebut juga hanya perlu tambahan dari beberapa data *new moon* pertama dari suatu tahun yang selanjutnya dapat dimengerti jumlah gerhana yang akan terjadi. Apakah akan terjadi siklus gerhana 2 kali atau bahkan hingga 5 kali dalam setahun.²⁴

Berdasarkan pada penelusuran kajian terdahulu yang telah dipaparkan sebelumnya, maka penulis dapat menyimpulkan bahwa belum ditemukan penelitian yang menjadikan perhitungan astronomi bola sebagai acuan dalam algoritma perkiraan waktu gerhana Bulan. Sebelumnya, hanya terdapat beberapa penelitian yang berpusat pada gerhana namun memiliki fokus pembahasan yang berbeda dengan penelitian kali ini. Kebanyakan dari penelitian yang telah ada sebelumnya, gerhana Bulan belum memiliki pembahasan dalam bidang astronomi bola. Sehingga penulis mendapatkan kesimpulan bahwa penelitian mengenai penyederhanaan algoritma astronomi bola pada gerhana Bulan sangat perlu untuk dilakukan, sehingga akan terdapat penelitian yang dapat dijadikan sumber referensi alternatif dalam perhitungan gerhana Bulan.

²² Ismail, “No Title Hisab Urfi Gerhana Matahari Dan Gerhana Bulan,” *Al Marshad: Jurnal Astronomi Islam Dan Ilmu-Ilmu Berkaitan*, no. 1 (2020): 45–59, <https://doi.org/10.30596/jam.v%vi%i.4411>.

²³ Aritmatika meruokan barisn bilangan yang mana setiap pasangan suku yang berurutan mengandung nilai selisih yang sama persis. Rinto Saputro Utomo, “Pengertian Baris Aritmatika,” n.d., 1.

²⁴ Ehsan Hidayat, “Penentuan Jumlah Gerhana Bulan Dengan Argumen Lintang Bulan Dan Teori Aritmatika,” *Miyah: Jurnal Studi Islam*, no. 1 (2019): 12–42.

E. Metode Penelitian

1) Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penulisan kali ini, merupakan penelitian kuantitatif, yang menekankan pengujian teori melalui pengukuran variabel penelitian dengan angka serta dianalisis dengan prosedur statistik.²⁵ Penelitian ini fokus terhadap kajian analisis statistik terhadap sistem data algoritma perkiraan waktu gerhana Bulan yang kemudian ditabulasi menjadi sebuah informasi deskriptif mengenai penyederhanaan algoritma penentuan waktu gerhana Bulan dalam astronomi bola.

2) Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan berdasarkan pada saat gerhana Bulan total sedang terjadi;

a) Tempat Penelitian

Penelitian dipusatkan pada lokasi fenomena gerhana Bulan total, yakni kota Armenia yang terletak di Negara Colombia, Amerika Selatan. Lokasinya terletak pada titik koordinat $4^{\circ} 32' 2.00''$ Lintang Utara (LU) dan $75^{\circ} 40' 51.98''$ Bujur Barat (BB).

b) Waktu Penelitian

Gerhana Bulan total di Armenia, Colombia berlangsung pada pukul 22:45:55 GMT.

Beberapa alasan yang mendasari kota Armenia sebagai lokus penelitian pada kali ini adalah bahwa gerhana Bulan yang berdasarkan pada informasi NASA yang menyebutkan bahwa kota Armenia yang terletak pada negara Colombia telah menunjukkan bahwa gerhaa Bulan total terlihat sepenuhnya hingga menampakkan *blood moon*. Jika

²⁵ Ratna Wijayanti Daniar Paramita, dkk., *Metode Penelitian Kuantitatif (Buku Ajar Perkuliahan Metodologi Penelitian Bagi Mahasiswa Akuntansi & Manajemen)*, (Lumajang: WIDYA GAMA PRESS, 2021), 10.

dibandingkan dengan lokasi yang berada di sekitarnya, kota Armenia memiliki kenampakan gerhana Bulan total yang sangat sesuai dengan perkiraan NASA. Sehingga, penulis memutuskan untuk melakukan penelitian mengenai penyederhanaan algoritma penentuan waktu gerhana Bulan dalam astronomi bola dengan lokasi tersebut.

3) Sumber Data

Sumber data terdapat dua macam, yakni sumber data primer dan sekunder. Masing-masing sumber data tersebut dikumpulkan dengan alat-alat penelitian, seperti halnya dokumentasi.²⁶

a) Data Primer

Data primer merupakan bahan tertulis yang bersumber dan bersifat langsung pada masalah yang dikaji.²⁷ Oleh karenanya, data primer dalam penulisan penelitian ini bersumber pada beberapa literatur yang memuat persoalan *Spherical Astronomy for Lunar Eclipse* (Astronomi Bola untuk Gerhana Bulan).

b) Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh maupun dikumpulkan oleh peneliti dari berbagai sumber yang telah ada (peneliti sebagai tangan kedua).²⁸ Untuk menjadikan hasil penelitian ini lebih akurat, maka dibutuhkan sumber data sekunder, berupa literatur yang di dalamnya terdapat pembahasan mengenai gerhana serta sistem perhitungannya, diantaranya buku Ilmu *Falak* dalam Teori dan Praktik karya Muhyiddin Khazin, beberapa Ensiklopedi Astronomi, Kamus

²⁶ Suryana, *Metodologi Penelitian* (Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia, 2020), 38.

²⁷ Tim Penyusun, *Panduan Penulisan Karya Tulis Ilmiah* (Semarang: Pascasarjana UIN Walisongo, 2018), 35.

²⁸ Ngatno, *Buku Ajar Metodologi Penelitian Bisnis* (Semarang: CV. Indoprinting, 2015), 180.

Falak, data-data NASA²⁹ serta sumber referensi lain yang terkait dengan astronomi maupun ilmu *Falak*. Selain beberapa referensi tersebut, sumber sekunder juga berasal dari data-data astronomis yang terdapat pada *website* resmi NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), serta *website* resmi lainnya yang berkaitan dengan penelitian ini. Adapun data-data yang telah diperoleh tersebut kemudian akan diproses melalui beberapa aplikasi astronomi, seperti halnya aplikasi Stellarium³⁰ dan WinHisab.

4) Metode Pengumpulan Data

Adapun dalam metode pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode *documentation* (dokumentasi)³¹. Penulis menelusuri beberapa literatur yang berkaitan dengan penelitian penulis, yang berkaitan dengan peristiwa gerhana Bulan secara umum, baik dalam ruang lingkup sains (astronomi) maupun yang terdapat dalam ilmu *Falak*. Kemudian penulis menelusuri berbagai literatur yang berkaitan dengan perhitungan gerhana Bulan, baik itu berupa sumber data,

²⁹ NASA merupakan salah satu organisasi pemerintahan milik negara Amerika Serikat yang bertanggung jawab atas ilmu pengetahuan dan teknologi yang berkaitan dengan udara dan luar angkasa. Jennifer Adams, “What Is NASA?,” NASA Goddard Space Flight Center, 2021, <https://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-nasa-58.html>.

³⁰ Stellarium merupakan *open source planetarium* yang bersifat non-profit (gratis). Aplikasi ini memberikan fitur penampakan langit yang terlihat realistis dalam 3D, seperti adanya langit yang dipandang secara mata telanjang (*naked eye*), teropong maupun teleskop. Stellarium, “Stellarium,” n.d., <http://stellarium.org/>.

³¹ Dokumentasi, merupakan cara mengumpulkan data melalui penelaahan sumber tertulis seperti buku, notulen rapat, catatan harian dan sebagainya yang memuat data atau informasi yang diperlukan peneliti. Rifa'i Abubakar, *Pengantar Metodologi Penelitian* (Yogyakarta: SUKA-Press, 2021), 114.

rumus dan beberapa elemen yang berkaitan dengan gerhana Bulan. Setelah semua elemen yang berkaitan dengan gerhana Bulan telah terkumpul, maka perhitungan tersebut lebih dispesifikkan kembali ke arah perhitungan yang merujuk pada kedua sumber rujukan penulis dalam penelitian ini. Perhitungan tersebut merujuk pada referensi *Spherical Astronomy* serta *Spherical Algorithms*.

5) Metode Analisis Data

Penelitian ini menggunakan olah data dengan metode analisis kuantitatif yang termasuk dalam jenis statistik deskriptif, yang digunakan sebagai analisis data melalui deskripsi atau penggambaran data yang telah terkumpul sebagaimana adanya tanpa membuat kesimpulan yang bersifat generalisasi. Analisis ini berupa akumulasi data dasar dalam bentuk deskripsi yang melakukan penarikan kesimpulan.³²

Penelitian ini juga berupa analisis matematis, dimana di dalamnya menggunakan literatur utama yang menjadi pembahasan pada penelitian ini, yakni *Spherical Astronomy* serta *Spherical Algorithms*. Analisis data tersebut berfungsi sebagai alat yang membantu dalam menjawab rumusan masalah yang telah disusun dalam penelitian.

Pada algoritma penentuan waktu gerhana Bulan, jika dirunut pada literatur *Spherical Astronomy*, akan terdapat beberapa rumus yang dihasilkan dari berbagai gambaran geometris sferis dan diterapkan ke dalam bola langit. Sebagaimana halnya Jean Meeus yang perhitungannya menggunakan elemen *Bessel*. Namun, elemen-elemen pada astronomi bola ini berasal dari sudut-sudut yang tercipta dari penggambaran geometris sferis.

Penelitian ini menggunakan rujukan parameter (tolok ukur) sebagai uji akurasi atas hasil yang diperoleh dalam

³² Ali Muhson, Teknik Analisis Kuantitatif, 1-2

penelitian. Hal tersebut dapat menentukan dan memperkuat *output* yang lebih efektif dalam sebuah penulisan ilmiah. Parameter yang digunakan berkiblat pada basis data dari NASA, yang kemudian dibuktikan hasil visualisasi akurasi melalui aplikasi astronomi, seperti halnya Stellarium. Alasan yang mendasari penggunaan NASA sebagai tolok ukur serta Stellarium sebagai alat visualisasi, adalah dikarenakan NASA basis data terbuka yang telah diakui keabsahannya dalam dunia internasional pada bidang antariksa. Seluruh data perhitungannya telah umum digunakan berbagai pihak serta nilai keabsahannya sudah bernilai akurasi tinggi. Adapun aplikasi Stellarium merupakan seperangkat *software* aplikasi pada komputer yang memiliki konsep planetarium dan berlisensi GNU *General Public License*³³ yang mana *software* ini telah digunakan dalam proyek MeerKAT³⁴. Planetarium merupakan aplikasi yang digunakan untuk menampilkan langit secara virtual, dimana posisi antena yang dimiliki beberapa radio teleskop ini berada. Berdasarkan pemaparan tersebut, maka dapat diyakini bahwa aplikasi Stellarium sudah tidak diragukan kembali penggunaannya dalam simulator benda langit yang hasilnya juga memiliki keakuratan yang tinggi.

³³ GNU *General Public License*, yakni badan yang menyediakan lisensi bagi perangkat lunak, sebagai jaminan bebas menjalankan serta modifikasi perangkat lunak. Dibentuk oleh Richard Stallman dari *Free Software Foundation* dan berada di bawah lisensi GNU *General Public License* yang mana akan memperoleh hak cipta berupa *copyleft* (hak cipta untuk perangkat lunak) dari GPL. Brett Smith, *A Quick Guide to GPL* (Free Software Foundation, Inc., 2007), 2.

³⁴ MeerKAT (Teleskop Karoo Array), adalah perangkat radio teleskop, terdiri dari 64 antena dan telah diuji dalam pengawasan *Observatorium South African Radio Astronomy Observatories*. Teleskop ini berada pada Northern Cape, Afrika Selatan. “MeerKAT Radio Telescope,” National Research Foundation, 2020, <https://www.sarao.ac.za/gallery/meerkat/>.

F. Sistematika Pembahasan

Bab Pertama yakni pendahuluan. Bab ini berisi pembahasan mengenai latar belakang penelitian, rumusan masalah, signifikansi serta ruang lingkup penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, kajian pustaka, kerangka teori, metode penelitian hingga sistematika penulisan.

Bab kedua, yakni tinjauan umum gerhana Bulan. Bab ini berisi pemaparan tinjauan umum perihal gerhana Bulan. Hal tersebut membahas mengenai berbagai macam fase gerhana Bulan, beberapa data primer dalam algoritma perkiraan gerhana Bulan serta *hisab rukyat* gerhana Bulan.

Bab ketiga, yakni algoritma astronomi bola gerhana Bulan. Bab ini berisi pemaparan mengenai beberapa data serta sistem perhitungan yang terdapat dalam astronomi bola. Selain kedua hal tersebut, bab ketiga ini akan berisikan algoritma gerhana Bulan perspektif astronomi bola.

Bab keempat, yakni analisis penyederhanaan algoritma penentuan waktu gerhana Bulan dalam astronomi bola. Bab ini berisi penjabaran tahapan penyederhanaan dalam algoritma penentuan waktu gerhana Bulan pada astronomi bola. Sehingga, rumus algoritma yang telah ada, kemudian diproses menggunakan rumus trigonometri, segitiga bola serta rumus turunan matematika lainnya dalam proses penyederhanaan rumus algoritma penentuan waktu gerhana Bulan tersebut. Hasil dari penyederhanaan rumus tersebut, kemudian divalidasi nilai akurasi menggunakan parameter data algoritma yang telah diakui keakurasiannya, yakni data perhitungan NASA, menggunakan metode komparasi.

Bab kelima, yakni penutup. Bab ini merupakan kesimpulan dari seluruh pemaparan hasil penyederhanaan data algoritma penentuan gerhana Bulan dalam astronomi bola. Selain itu, pemaparan dalam bab kelima ini berisikan

kesimpulan yang nantinya digunakan sebagai jawaban beberapa rumusan masalah yang telah dipaparkan sebelumnya.

BAB II

TINJAUAN UMUM GERHANA BULAN

A. Pengertian Gerhana Bulan

Gerhana, merupakan sebuah peristiwa yang terjadi, dimana sebuah benda langit memasuki bayangan dari benda langit lainnya. Frekuensi terbanyak dari sebuah observasi gerhana adalah gerhana Bulan serta gerhana dari sebagian besar satelit planet Jupiter.³⁵ Secara singkat, sebuah fenomena gerhana akan terjadi apabila terdapat benda langit yang melintas hingga ke dalam bayangan semu benda langit lainnya.³⁶

Istilah gerhana, dikenal dengan istilah ‘*Eclipse*’ dalam bahasa Inggris dan ‘*Kusuf*’ atau ‘*Khusuf*’ dalam bahasa Arab. *Kusuf* (*Solar Eclipse*) adalah istilah untuk gerhana Matahari, sedangkan istilah *Khusuf* (*Lunar Eclipse*) adalah istilah untuk gerhana Bulan.

Peristiwa gerhana juga telah dijelaskan dalam Firman Allah, Quran surat Yāsīn ayat 38-40;

وَالشَّمْسُ تَجْرِي لِمُسْتَقَرٍّ لَهَا ذَلِكَ تَقْدِيرُ الْعَزِيزِ الْعَلِيمِ (٣٨) وَالْقَمَرَ قَدَرْنَاهُ
مَنَازِلَ حَتَّىٰ عَادَ كَالْعُرْجُونِ الْقَدِيمِ (٣٩) لَا الشَّمْسُ يَنْبَغِي لَهَا أَنْ تُدْرِكَ الْقَمَرَ
وَلَا اللَّيْلُ سَابِقُ النَّهَارِ وَكُلٌّ فِي فَلَكٍ يَسْبَحُونَ (٤٠)

“Dan Matahari berjalan di tempat peredarannya. Demikianlah ketetapan Yang Maha Perkasa lagi Maha Mengetahui. Dan telah Kami tetapkan bagi Bulan manzilah-manzilah, sehingga (setelah dia sampai ke manzilah yang terakhir) kembalilah dia sebagai

³⁵ Hannu Karttunen and Pekka Kröger, *Fundamental Astronomy* (New York: Springer, 2007), 138.

³⁶ Jean Kovalevsky and P. Kenneth Seidelmann, *Fundamentals of Astrometry, Fundamentals of Astrometry*, 2004, 315, <https://doi.org/10.1017/cbo9781139106832>.

bentuk tandan tua Tidaklah mungkin bagi matahari mendapatkan bulan dan malampun tidak dapat mendahului siang. dan masing-masing beredar pada garis edarnya”.

Ayat tersebut menjelaskan bahwa, benda-benda langit seperti halnya Matahari dan Bulan telah memiliki garis edarnya masing-masing. Atas kuasa Allah, maka tidak akan terjadi pertemuan antar benda-benda langit tersebut pada satu garis edar yang sama (saling bertabrakan), kecuali Allah menghendaki demikian.³⁷ Namun demikian, meski benda-benda langit tersebut terletak pada garis edarnya masing-masing, terdapat satu siklus dimana benda-benda langit tersebut akan terlihat menutupi satu sama lain. Dimana benda-benda langit tersebut akan berada pada satu titik yang sama dalam garis edarnya, sehingga membentuk sebuah kerucut bayang yang akan menutupi sebagian permukaan maupun secara keseluruhan permukaan benda lainnya. Sehingga, pada saat siklus itu terjadi maka gerhana akan terbentuk.

Pada gerhana Bulan, peristiwa ini akan terjadi apabila Bulan berada pada fase purnama³⁸. Posisi pada saat gerhana Bulan terjadi, adalah dimana Bumi berada di antara Matahari dan Bulan, dimana posisi ketiga benda langit tersebut berada pada satu garis lurus. Pada saat ketiga benda langit tersebut (Matahari-Bumi-Bulan) dalam satu garis yang sama, maka Bulan memasuki bayang-bayang Bumi atau cahaya Matahari ke arah Bulan terhalang oleh Bumi. Fenomena gerhana Bulan juga akan terjadi ketika Bulan berada pada posisi *penumbra*³⁹ dan

³⁷ M. Qurais̄ Ṣihab, *Tafsir Al Miṣbah: Pesan, Kesan dan Keserasian Al -Qur'an*, (Jakarta: Lentera Hati 2002), 540-543.

³⁸ Ahmad Izzuddin, *Sistem Penanggalan*, ed. Rezha Candra Yudhistira, I (Semarang: CV. Karya Abad Jaya, 2015), 12.

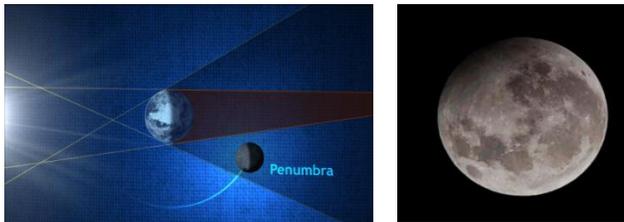
³⁹ Khazin, *Kamus Ilmu Falak*, 64.

*umbra*⁴⁰, yang mana gerhana Bulan ini akan berlangsung sekitar ± 6 jam.⁴¹

Gerhana Bulan sebagian (*partial*) akan terjadi, apabila bagian Bulan tidak seluruhnya memasuki daerah bayangan *umbra* dan hanya memasuki daerah bayangan *penumbra*.

Pada gerhana Bulan sebagian, terdapat dua kontak yang akan terjadi:

1. Kontak pertama, dimana ketika bagian Bulan mulai menyentuh masuk ke dalam bayangan Bumi. Inilah posisi waktu dimulainya gerhana.
2. Kontak kedua, dimana bagian Bulan telah keluar dari bayangan Bumi. Hal ini merupakan posisi waktu gerhana sebagian berakhir.⁴²



Gambar 2.1 Posisi dan Kenampakan Gerhana Bulan *Penumbra*
(Gerhana Sebagian)
(Sumber: NASA)

⁴⁰ *Umbra*, merupakan titik bayangan dimana titik bayangan tersebut tidak nampak sumber cahaya yang dipantulkan sebab tertutup benda langit lainnya secara utuh. Julian Demouth, "Between Umbra and Penumbra," *Proc. 23th ACM Sympos: Computational Geometry*, 2007, 265, <https://doi.org/10.1145/1247069.1247117>.

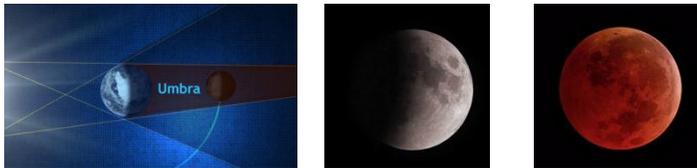
⁴¹ Muh. Hadi Bashori, *Penanggalan Islam: Peradaban Tanpa Penanggalan, Inikah Pilihan Kita?* (Jakarta: PT Elex Media Komputindo, 2013), 57.

⁴² Muhyiddin Khazin, *Ilmu Falak Dalam Teori Dan Praktik* (Yogyakarta: BUANA PUSTAKA, n.d.), 192.

Namun jika sebaliknya, yakni pada saat bagian Bulan masuk ke dalam bayangan *umbra* pada seluruh bagiannya, maka akan terjadi fenomena gerhana total. Gerhana Bulan total, diperkirakan dapat berlangsung dalam kurun waktu ± 1 jam.⁴³

Pada saat terjadi gerhana Bulan total, maka terdapat empat kali kontak yang akan terjadi:

1. Kontak pertama, dimana bagian Bulan mulai meyetuh bayangan Bumi. Ini merupakan posisi dimulainya gerhana.
2. Kontak kedua, dimana seluruh bagian Bulan telah masuk ke dalam bayangan Bumi. Ini merupakan posisi gerhana total.
3. Kontak ketiga, dimana bagian Bulan telah mulai untuk keluar dari bayangan Bumi, yang menandai berakhirnya waktu gerhana total.
4. Kontak yang terakhir, dimana seluruh bagian Bulan telah keluar dari bayangan Bumi, yang menandai bahwa peristiwa gerhana telah berakhir.⁴⁴



Gambar 2.2 Posisi dan Kenampakan Gerhana Bulan *Umbra*
(Gerhana Total)
(Sumber: NASA)

⁴³ Tim Observatorium Bosscha, *Perjalanan Mengenal Astronomi*, ed. Adriana Wisni Ariasti, Fajar Dirghantara, and Hakim Luthfi Malasan (Bandung: Institut Teknologi Bandung, 1995), 34.

⁴⁴ Khazin, *Ilmu Falak Dalam Teori Dan Praktik*, 192.



Gambar 2.3 Fase Bulan pada saat terjadi gerhana.
(Sumber: NASA)

Pada saat peristiwa gerhana Bulan (total), Bulan berada di kawasan *umbra* Bumi. Bola Bumi yang memiliki radius 6378 km (berdiameter 12756 km) akan menghalangi cahaya Matahari yang jatuh ke permukaan Bulan. Apabila sebagian Bulan berada pada kawasan *penumbra* Bumi, maka dari permukaan Bulan akan terlihat fenomena gerhana Matahari sebagian. Hal ini disebabkan oleh adanya halangan bola gas pijar Matahari oleh bola Bumi.⁴⁵

Seperti yang telah diketahui sebelumnya, bahwasanya gerhana Bulan terjadi pada saat Bulan memasuki fase bulan purnama (*full moon*). Namun tidak setiap bulan pada saat memasuki fase purnama, akan terjadi gerhana Bulan. Hal ini disebabkan oleh adanya bidang orbit Bulan yang mengitari Bumi, tidak sejajar dengan bidang orbit Bumi yang mengelilingi Matahari (bidang ekliptika). Bidang orbit Bulan posisinya cenderung miring hingga membentuk sudut sebesar $\pm 5^\circ$.⁴⁶

⁴⁵ Moedji Raharto and Novi Sopwan, "Fenomena Gerhana Bulan Dan Gerhana Matahari Dalam Sistem Kalender," 2019, 122.

⁴⁶ Sayful Mujab, "Gerhana: Antara Mitos, Sains Dan Islam," *Yudisia: Jurnal Pemikiran Hukum Dan Hukum Islam*, no. 1 (2014): 88, <https://doi.org/10.21043/yudisia.v5i1.700>.

Pada saat peristiwa gerhana Bulan, terdapat tiga fenomena yang terjadi;

1. *Blood Moon*

Dinamakan *Blood Moon*, sebab Bulan akan berwarna merah terang layaknya warna darah. Hal ini diakibatkan oleh adanya refraksi cahaya Matahari yang mengenai atmosfer Bumi.

2. *Super Blood Moon*

Super Blood Moon, merupakan gabungan antara *Super Moon* dan *Blood Moon*. Posisi Bulan akan berada sangat dekat dengan Bumi, sehingga akan terlihat lebih besar dan terlihat lebih merah dari *Blood Moon* biasanya.

3. *Super Blue Blood Moon*

Super Blue Blood Moon, merupakan gabungan antara *Super Moon*, *Blue Moon* dan *Blood Moon*. Fenomena *Super Blue Blood Moon* hampir sama dengan fenomena *Super Blood Moon*, namun sedikit berbeda sebab hanya akan terjadi pada gerhana Bulan dari fase Bulan purnama kedua dalam satu bulan.⁴⁷

B. Data Primer Algoritma Perkiraan Waktu Gerhana Bulan

Berbagai data astronomi telah lama dapat memperhitungkan gerhana Bulan melalui berbagai algoritma. Beberapa komponen utama yang terdapat dalam perhitungan gerhana Bulan adalah sebagai berikut;

1) Delta T (ΔT)

⁴⁷ N Suprpto and V K Yanti, "The Understanding of Undergraduate Physics Students Regarding The Super Blood Moon Total Lunar Eclipse Phenomenon May 26, 2021," *Journal of Physics: Conference Series* 2049, 2021, 2, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2049/1/012004>.

ΔT dihasilkan dari perbedaan aritmatika antara *Dynamical Time* (TD) dengan *Universal Time* (UT).⁴⁸ Hal ini diakibatkan oleh perhitungan posisi Matahari dan Bulan yang dibutuhkan untuk memprediksi gerhana dihitung menggunakan *Dynamical Time* (TD), yang merupakan satuan skala waktu. Hal ini tentunya akan berbeda jauh dengan ketetapan zona waktu dunia dalam kehidupan sehari-hari biasanya akan menggunakan waktu *Universal Time* (UT).⁴⁹

2) Nomor Seri Saros

Nomor seri saros, merupakan sistem penomoran yang dimiliki setiap perhitungan gerhana Bulan. Penomoran ini pertama kali dikenalkan oleh Van den Bergh pada tahun 1955⁵⁰. Seri Saros merupakan sebuah periode 223 bulan sinodis (18 tahun, 11 hari dan 8 jam). Gerhana terpisahkan oleh *interval*⁵¹ yang memiliki seri Saros yang sama dan yang pada akhirnya juga akan memiliki karakteristik serta sisi geometris yang sama.⁵²

3) Tipe Gerhana

⁴⁸ Fred Espenak and Jean Meeus, "Five Millennium Catalog of Lunar Eclipse: -1999 to +3000 (2000 BCE to 3000 CE)" (Greenbelt, Maryland, 2009), 5.

⁴⁹ Espenak and Meeus, 19.

⁵⁰ G. Van den Bergh merupakan astronom berkebangsaan Belanda yang pertama kali memperkenalkan sistem penomoran yang menggunakan seri Saros, dalam bukunya *Periodicity and Variation of Solar (and Lunar) Eclipses* atau versi bahasa Belanda nya yakni *Tjeenk Willink, Haarlem* pada tahun 1955. Fred Espenak, "Eclipses and The Saros," NASA Eclipse Website, 2012, <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEsaros/SEsaros.html>.

⁵¹ Interval merupakan durasi waktu yang terarah. Adapun durasi merupakan jumlah waktu dengan durasi yang diketahui, namun tidak terdapat waktu awal atau akhir yang spesifik. Christian S. Jensen and Richard T. Snodgrass, *Encyclopedia of Database Systems*, ed. Ling Liu and M. Tamer Ozsu, Second Edi (New York: Springer, 2018), 4150–51, https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8265-9_1423.

⁵² Espenak and Meeus, "Five Millennium Catalog of Lunar Eclipse: -1999 to +3000 (2000 BCE to 3000 CE)," 4.

Pada perhitungan gerhana Bulan, tipe-tipe gerhana diindikasikan melalui simbol. Seperti halnya pada gerhana total sentral, akan diindikasikan dengan simbol '+' atau '-'. Simbol ini untuk menunjukkan dimana letak gerhana akan terlewat. Baik itu pusat Bulan akan melewati Utara poros bayang-bayang atau sebaliknya (arah Selatan).⁵³

4) *Gamma*

Kuantitas *gamma* merupakan jarak minimum dari pusat Bulan pada poros kerucut bayangan umbra Bumi, yang dihitung dalam satuan unit jarak ekuator Bumi. Pada jarak ini akan terdapat dua nilai yakni negatif atau positif, tergantung pada dimana Bulan akan melewati poros kerucut bayangan tersebut (Utara atau Selatan). Nilai pada *gamma* akan mengalami perubahan besar setelah terlewat satu periode Saros, yakni dimana ketika Bumi dekat dengan periode aphelion⁵⁴, dibandingkan dengan ketika Bumi berada pada periode perihelion⁵⁵.

5) Magnitudo Gerhana

Magnitudo gerhana didefinisikan sebagai sebuah pecahan dari diameter Bulan yang tenggelam (masuk) pada bayangan Bumi. Oleh karena terdapat dua tipe bayangan yang akan terbentuk (umbra dan penumbra), maka akan terdapat dua magnitudo gerhana yang sesuai dengan kedua tipe bayangan tersebut.

a) Magnitudo gerhana penumbra

⁵³ Espenak and Meeus, 4.

⁵⁴ Aphelion merupakan waktu dimana Bumi berada pada jarak terjauh dari Matahari. Abu Yazid Raisal et al., "Analisis Pengaruh Aphelion Dan Perihelion Terhadap Suhu Menggunakan Weather Station," *Jurnal Environmental Science* 3, no. 2 (2021): 122, <https://doi.org/https://doi.org/10.35580/jes.v3i2.19996>.

⁵⁵ Perihelion, merupakan waktu dimana posisi Bumi berada pada titik terdekat dari Matahari. Raisal et al., 122.

1. Magnitudo ini berada pada kisaran 0,0004 hingga 1,0858. Gerhana penumbra pada umumnya memiliki magnitudo kurang dari 1 yang berarti hanya pecahan (sebagian) bagian Bulan yang dapat masuk ke bayangan penumbra. Pada saat magnitudo penumbra lebih dari (atau bahkan seimbang) dengan nilai (1,0), maka seluruh bagian Bulan dapat masuk bayangan penumbra dan dapat dikategorikan sebagai gerhana penumbra total (dan termasuk ke dalam peristiwa yang tidak banyak terjadi). Pada faktanya, peristiwa tersebut tidak dapat dideteksi secara visual (baik dengan alat optik maupun tidak), kecuali jika nilai magnitudonya lebih besar dari nilai (0,6).
 2. Magnitudo gerhana umbra pada gerhana penumbra selalu bernilai negatif. Nilai ini diukur dari jarak Bulan ke tepian bayangan umbra, yang diukur dalam satuan diameter Bulan.
- b) Magnitudo gerhana umbra
1. Magnitudo gerhana umbra (untuk gerhana parsial) berkisar antara 0,0001 hingga 0,9998. Bulan juga melewati bagian bayangan penumbra selama gerhana sebagian (parsial), sehingga magnitudo penumbra biasanya lebih besar dari nilai 1. Dalam kasus gerhana Bulan total, seluruh bagian Bulan dapat melewati bayangan umbra Bumi. Selama gerhana total terjadi, penampakan Bulan dapat menjadi berbagai warna, mulai dari warna jingga terang, merah gelap, coklat tua hingga abu-abu gelap. Warna-warna yang dapat mencapai Bulan tersebut dihasilkan melalui filter atmosfer Bumi.

2. Magnitudo gerhana umbra (untuk gerhana total), berkisar antara 1,0001 hingga 1,8821.⁵⁶

C. Hisab Rukyat Gerhana Bulan

Sebelum memasuki persoalan *hisab* maupun *rukyat* dalam gerhana, maka kita pahami dahulu mengenai *hisab* dan *rukyat*. Sistem *hisab* di Indonesia, dikelompokkan menjadi tiga kategori:

- 1) Hisab *Hakiki Taqribi*

Sistem hisab *hakiki taqribi*, memiliki nilai akurasi yang rendah jika dibandingkan dengan sistem hisab lainnya. Hal ini disebabkan *database* perhitungannya diambil dari *Zij* (tabel astronomi) Ulugh Beik⁵⁷. Disamping itu, sistem hisab ini masih menganut pada teori geosentris⁵⁸ yang dicetuskan oleh Ptolomeus⁵⁹. Hisab *taqribi* memiliki perhitungan yang

⁵⁶ Espenak and Meeus, "Five Millennium Catalog of Lunar Eclipse: -1999 to +3000 (2000 BCE to 3000 CE)," 5.

⁵⁷ Ulugh Beik, merupakan salah satu cendekiawan yang telah berhasil membuat beberapa instrumen baru untuk beberapa penelitian dalam bidang astronomi maupun matematika. Seperti halnya pengembangan teori trigonometri hingga tabel sinus dan cosinus. Karya terbesarnya, yakni '*Zij Ulugh Beik*'. *Zij* (tabel data astronomi), merupakan hasil observasi Ulugh Beik selama 12 tahun, yang membahas cara praktis untuk memperhitungkan orbit Matahari maupun Bulan. Dede Wahyudin, "Telaah Sejarah Kitab Klasik: Sebuah Ikhtiar Untuk Memahami Khazanah Ilmu Falak," *Model Pengembangan Hukum Islam*, 2018, 18–19.

⁵⁸ Teori geosentris, merupakan sebuah kepercayaan bahwa Bumi merupakan pusat alam semesta, dimana seluruh benda langit yang berada pada orbitnya mengelilingi Bumi. Fatin Farhana, "Geocentric Theory," 2011, 1, <https://www.scribd.com/document/62266351/Geocentric-Theory>.

⁵⁹ Claudius Ptolemaeus (Κλαυδιος Πτολεμαϊος), tokoh cendekiawan yang hidup pada masa sekitar tahun 100-175 M. Ptolemaeus ahli dalam bidang astronomi, astrologi, geografi serta berbagai bidang matematik lainnya. Ptolemaeus bekerja di Alexandria (Mesir), tepatnya berada pada perpustakaan kuno terbaik di dunia pada zaman tersebut. G.J. Toomer, *Ptolemy's Almagest*, I (London: Gerald Duckworth & Co. Ltd., 1984), 1,

berdasarkan pergerakan rerata Bulan dan Matahari, dimana hasil yang diperoleh masih dalam bentuk perkiraan.⁶⁰

2) Hisab *Hakiki Tahqiqi*

Metode hisab *hakiki tahqiqi*, termasuk dalam metode hisab yang memiliki keakurasian tinggi, namun masih dapat dikategorikan sebagai perhitungan klasik. Perhitungannya mengacu pada gerak Bulan dan Matahari yang sebenarnya, oleh karena itulah hasil yang diperhitungkan cukup akurat. Perhitungannya menggunakan data-data yang cukup lengkap seperti halnya data deklinasi Matahari, sudut waktu Bulan, titik koordinat lintang tempat observasi hingga penggunaan rumus trigonometri bola (*spherical trigonometry*⁶¹).

3) Hisab Hakiki Kontemporer

Adapun persoalan gerhana (Matahari maupun Bulan) pada perspektif fiqh *Hisab Rukyat*, tidak nampak sekat ataupun persoalan yang terjadi antara mazhab *Hisab* maupun mazhab *Rukyat*, meski keduanya terdapat dalam bab persoalan gerhana. *Mazhab Hisab* dimana simbol mereka adalah menggunakan perhitungan sebagai dasar acuan dalam penentuan gerhana, serta *mazhab Rukyat* yang mengacu pada kesaksian saat melihat secara langsung peristiwa gerhana.⁶²

https://classicalliberalarts.com/resources/PTOLEMY_ALMAGEST_ENGLISH.pdf.

⁶⁰ Bashori, *Penanggalan Islam: Peradaban Tanpa Penanggalan, Inikah Pilihan Kita?*, 118.

⁶¹ Trigonometri bola, merupakan hubungan antar bagian segitiga bola pada permukaan bola. Segitiga bola tersebut terdiri atas bagian-bagian dari sisi serta sudut segitiga bola. Hal tersebut dihubungkan dengan rasio trigonometri dan dibahas dengan trigonometri bidang. Daniel A. Murray, *Spherical Trigonometry* (New York: Longmans, Green, And CO., 1908), 28, https://www.wilbourhall.org/pdfs/Spherical_Trigonometry2.pdf.

⁶² Ahmad Izzuddin, *Ilmu Falak Praktis* (Semarang: Pustaka Rizki Putra, 2012), 106.

Adapun dalam konteks gerhana, *hisab* digunakan untuk memprediksi waktu terjadinya peristiwa gerhana Matahari maupun Bulan, sebagai upaya umat Muslim untuk mencari tolok ukur dalam pelaksanaan salat gerhana Matahari (salat *Kusuf asy-Syams*) maupun Bulan (salat *Khusuf al-Qamar*).⁶³ Adapun *rakyat* dalam konteks gerhana, maka dimaksudkan sebagai upaya observasi pengamatan fenomena gerhana selama berlangsungnya gerhana. Baik itu dengan metode melihat gerhana Bulan menggunakan mata telanjang (*naked eyes*) maupun menggunakan alat optik seperti halnya teleskop.

⁶³ A. Kadir, *Formula Baru Ilmu Falak* (Jakarta: Amzah, 2012), 208.

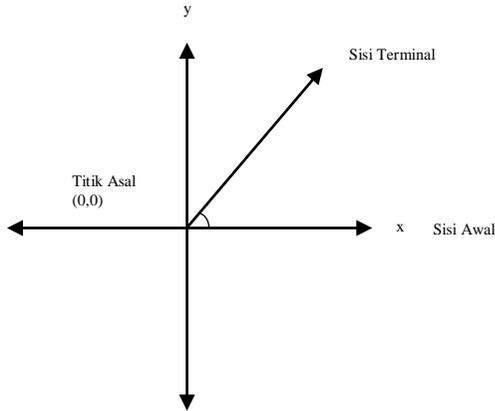
BAB III

ALGORITMA ASTRONOMI BOLA GERHANA BULAN

A. Komponen Utama Algoritma Astronomi Bola

1. Besaran Sudut

Besaran sudut dibentuk dari sebuah *initial side* (sisi awal)⁶⁴ dan *terminal side*⁶⁵. Sebuah sisi awal dapat dikatakan telah dalam posisi standar, ketika titik sudutnya terletak di titik awal dan garisnya sepanjang sumbu x positif.



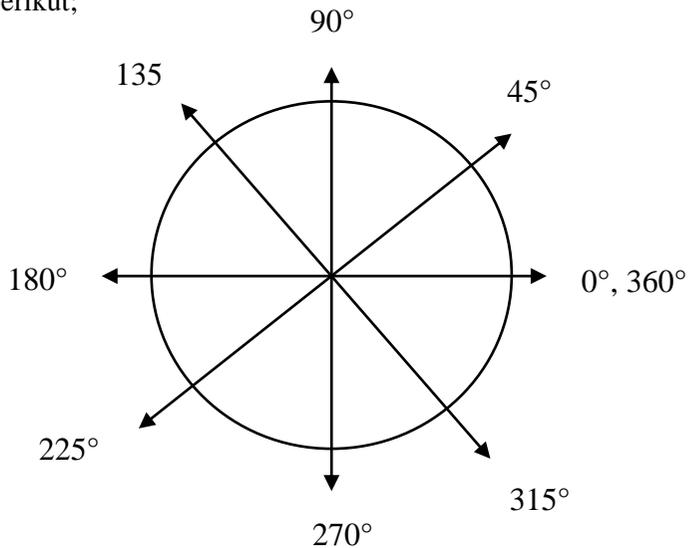
Gambar 3.1 Skema Ukuran Sudut Trigonometri
(Sumber: Penulis)

⁶⁴ *Initial side* merupakan sisi yang diukur dengan memutar pada salah satu dari dua arah yang mungkin (searah jarum jam- negatif-rotasi dan berlawanan arah jarum jam-positif-rotasi. Hal ini tentu berdasarkan pada ukuran sudut pada sisi awal dan rotasi (baik jumlah maupun arahnya)). Omar Hernández Rodríguez and Jorge M. López Fernández, “Trigonometry in Three Steps,” n.d., https://www.researchgate.net/publication/335307973_Trigonometry_in_Thre_S_teps.

⁶⁵ *Terminal side* merupakan sisi yang diukur dari sisi garis yang melalui titik asal dan titik pusat. Katherine Yoshiwara, *Trigonometry* (Los Angeles: Pierce College, 2020), <https://yoshiwarabooks.org/trig/trig.pdf>.

Sebuah sudut diukur oleh jumlah rotasi dari sisi awal ke sisi terminal. Jika sudut positif dihasilkan dari rotasi yang berlawanan dengan arah jarum jam, maka sudut negatif dihasilkan dari rotasi yang searah jarum jam. Satuan dalam mengukur sudut dapat dikategorikan dalam dua satuan ukuran, yakni *degrees* (derajat) maupun *radians* (radius).⁶⁶

Satuan derajat digunakan untuk mendeskripsikan ukuran dari sebuah derajat. Perbandingan beberapa ukuran sudut dalam satuan derajat, dijelaskan dalam diagram lingkaran berikut;

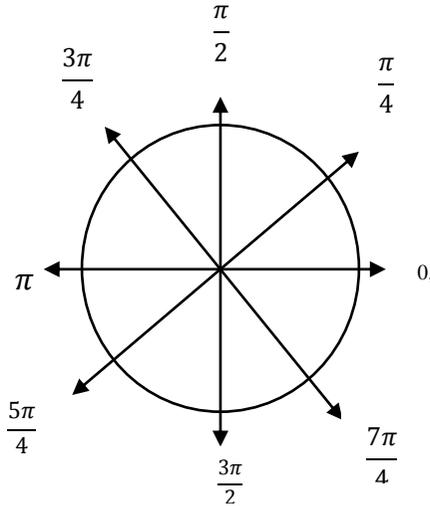


Gambar 3.2 Diagram Lingkaran Sudut Satuan Derajat
(Sumber: Penulis)

Lingkaran ini terdiri dari sudut 360° , yang mana disebut dengan satu putaran.

⁶⁶ Lauren Johnson, “Trigonometry: An Overview of Important Topics” (Chicago, Illinois, 2016), 6, <https://opus.govst.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1176&context=capstones>.

Adapun dalam satuan radian, maka diagram lingkaran terdiri dari



Gambar 3.3 Diagram Lingkaran Sudut Satuan Radian
(Sumber: Penulis)

Satu putaran diukur dalam satuan radian memiliki nilai 2π , dimana lambang phi (π) memiliki persamaan nilai yang setara dengan 3,14.

Sehingga, $360^\circ = 2\pi$ radian (satu lingkaran penuh)

$$180^\circ = \pi \text{ radian}$$

$$1^\circ = \frac{\pi}{180} \text{ radian}$$

$$\frac{\pi}{180} \text{ derajat} = 1 \text{ radian.}^{67}$$

2. Trigonometri Dasar

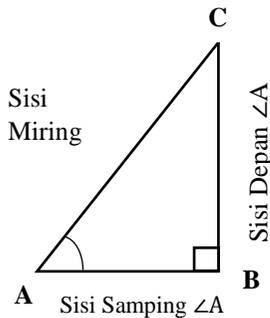
Trigonometri merupakan sebuah ilmu yang mempelajari tentang hubungan antara sisi dan sudut pada bidang segitiga. Ilmu trigonometri, pertamakali ditemukan

⁶⁷ Johnson, 7.

pada peradaban Mesir dan Babilonia. Para astronom terdahulu, telah menggunakan ilmu trigonometri sebagai penentu jarak pada Bintang dan Planet yang diukur dari Bumi. Adapun pembahasan trigonometri terbagi menjadi beberapa fokus, salah satunya yakni rasio trigonometri pada sudut.

Rasio trigonometri pada sudut akan dijelaskan melalui segitiga siku-siku ABC, dimana dalam segitiga siku-siku ABC, terdapat sudut CAB ($\angle CAB$) yang merupakan sudut A adalah sudut lancip. Hal ini berlaku dengan catatan, bahwa sisi BC menghadap sudut A. Sisi ini juga disebut sebagai sisi yang berlawanan dengan sudut A. Adapun sisi AC merupakan sisi *hypotenuse* (sisi miring) pada segitiga, sedangkan sisi AB merupakan bagian dari sudut A, sehingga disebut sebagai sisi *adjacent* pada sudut A.

Pemaparan tersebut menjelaskan, bahwa rasio trigonometri pada segitiga siku-siku ABC tersebut adalah sebagai berikut;



$$\begin{aligned} \sin \angle A &= \frac{\text{sisi depan } \angle A}{\text{sisi miring}} = \frac{BC}{AC} \\ \cos \angle A &= \frac{\text{sisi samping } \angle A}{\text{sisi miring}} = \frac{AB}{AC} \\ \tan \angle A &= \frac{\text{sisi depan } \angle A}{\text{sisi samping } \angle A} = \frac{BC}{AB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Csc } \angle A &= \frac{1}{\sin \angle A} = \frac{\text{sisi miring}}{\text{sisi depan } \angle A} = \frac{AC}{BC} \\ \text{Sec } \angle A &= \frac{1}{\cos \angle A} = \frac{\text{sisi miring}}{\text{sisi samping } \angle A} = \frac{AC}{AB} \\ \text{Cot } \angle A &= \frac{1}{\tan \angle A} = \frac{\text{sisi samping } \angle A}{\text{sisi depan } \angle A} = \frac{AB}{BC} \end{aligned}$$

Rasio trigonometri tersebut didefinisikan dengan simbol $\sin A$, $\cos A$, $\tan A$, $\text{cosec } A$, $\text{sec } A$ dan $\text{cot } A$. Pada setiap rasio $\text{cosec } A$, $\text{sec } A$ dan $\text{cot } A$ memiliki hubungan timbal balik dengan rasio $\sin A$, $\cos A$ dan $\tan A$.

Sebagaimana hubungan antara $\tan A$ dengan $\text{cot } A$ berikut;

$$\tan A = \frac{BC}{AB} = \frac{\frac{BC}{AC}}{\frac{AB}{AC}} = \frac{\sin A}{\cos A} \qquad \text{Cot } A = \frac{\cos A}{\sin A}$$

Sehingga, rasio trigonometri pada sudut lancip segitiga siku-siku ditunjukkan melalui hubungan antara besarnya nilai dari sudut serta panjang sisi dari segitiga siku-siku tersebut.⁶⁸

3. Trigonometri dan Segitiga Bola

Trigonometri bola merupakan rumus yang digunakan untuk mencari hubungan antara sudut permukaan bidang yang membentuk sudut padat serta sudut di permukaan bidang miring. Adapun Segitiga bola, merupakan sebuah figur yang terbentuk pada permukaan bola dari bidang yang membentuk sudut dan memotong bola menjadi busur lingkaran besar. Segitiga bola akan terbentuk pada permukaan bola jika dibatasi oleh tiga busur lingkaran besar dan bertemu dengan tiga sudut bidang.⁶⁹

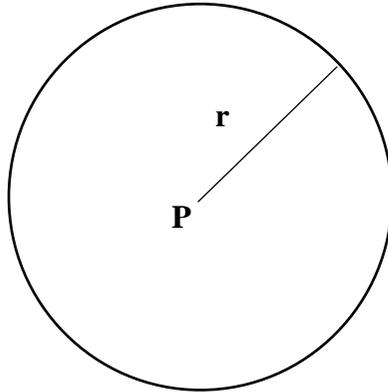
⁶⁸ "Introduction to Trigonometry," in *Mathematics* (New Delhi: National Council of Educational Research and Training, 2020), 175, epathshala.nic.in.

⁶⁹ I. Todhunter, *Spherical Trigonometry*, Fifth Edit (London: Macmillan And Co., 1886), 7, <https://www.gutenberg.org/files/19770/19770-pdf.pdf>.

a) **Definisi dan Istilah Segitiga Bola**

1) **Jari-jari Lingkaran dan Titik Lawan**

Posisi kedudukan titik yang berjarak dari garis (r) dari titik pusat (P) disebut dengan permukaan bola atau bola.



Gambar 3.4 Skema Permukaan Bola
(Sumber: Penulis)

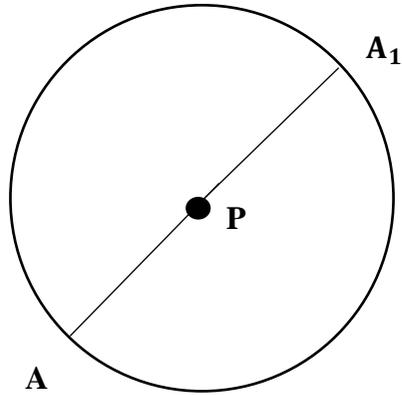
Keterangan:

P = Titik pusat permukaan bola

r = Jari-jari Bola

Jika dipermisalkan bahwa terdapat titik (A) pada permukaan bola. Garis yang menghubungkan titik (A) dengan titik pusat (P), dimana garis tersebut memotong permukaan bola pada titik (A_1). Titik (A_1) disebut dengan titik lawan dari titik (A), sebaliknya titik (A) dinamakan titik lawan dari (A_1).⁷⁰

⁷⁰ Koesdiono, "Astronomi Bola 1," ed. M. Gamal (Semarang: UNDIP Geodetic Engineering Depa, 2002), 1.



Gambar 3.5 Skema Permukaan Bola
(Sumber: Penulis)

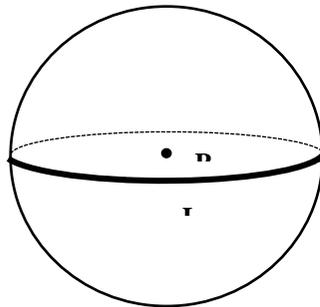
Keterangan:

A_1 = Titik Lawan Titik A

A = Titik Lawan Titik A_1

2) Lingkaran Besar

Irisan permukaan bola dengan bidang datar yang melalui titik pusat bola disebut lingkaran besar.⁷¹



Gambar 3.6 Skema Lingkaran Besar
(Sumber: Penulis)

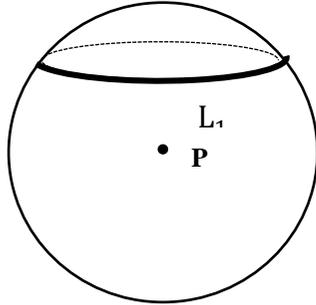
⁷¹ Koediono, 2.

Keterangan:

L = Lingkaran Besar

3) Lingkaran Kecil

Irisan permukaan bola dengan bidang yang berjarak dari pusat bola lebih kecil dari jari-jari bola, disebut dengan lingkaran kecil.⁷²



(Gambar 3.7) Skema Lingkaran Kecil

(Sumber: Penulis)

Keterangan:

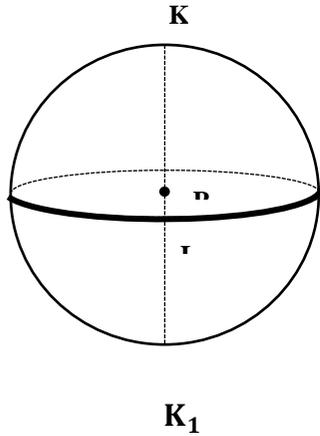
L_1 = Lingkaran Kecil

4) Kutub Lingkaran Besar

Jika titik (P) merupakan pusat dari lingkaran besar (L) dan bola. Garis yang melalui titik (P) yang tegak lurus pada bidangnya lingkaran (L), memotong permukaan bola pada dua titik (K) dan (K_1). (K) dan (K_1) tersebut dinamakan kutub dari lingkaran besar (L). Garis KK_1 dinamakan poros dari lingkaran besar (L).⁷³

⁷² Koesdiono, 2.

⁷³ Koesdiono, 3.



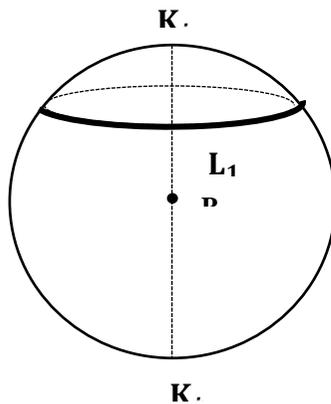
(Gambar 3.8) Skema Kutub Lingkaran Besar
(Sumber: Penulis)

Keterangan:

K dan K_1 = Kutub dari Lingkaran (L)

KK_1 = Poros dari Lingkaran (L)

5) Kutub Lingkaran Kecil



(Gambar 3.9) Kutub Lingkaran Kecil
(Sumber: Penulis)

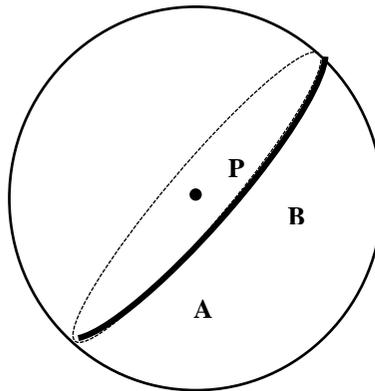
Keterangan:

K_i dan K_{i1} = Kutub dari L_1

K_iK_{i1} = Poros dari L_1

6) Irisan Bola

Lingkaran Besar ditentukan oleh dua titik yang berada pada bola. Misalkan terdapat titik (A) dan titik (B) pada bola. Kemudian terdapat bidang yang melalui titik (A), (B) dan titik (P) ((P) adalah titik pusat bola). Irisannya dengan bola adalah lingkaran besar yang melalui titik (A) dan (B).⁷⁴



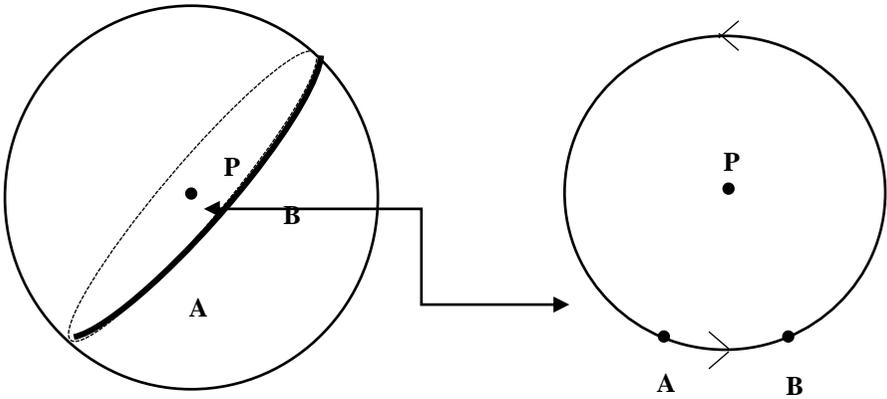
(Gambar 3.10) Skema Irisan Bola
(Sumber: Penulis)

7) Busur Lingkaran

Lingkaran besar yang melalui titik (A) dan (B) terdiri dari dua busur. Busur (AB) dan busur (BA).⁷⁵

⁷⁴ Koediono, 4.

⁷⁵ Koediono, 4.

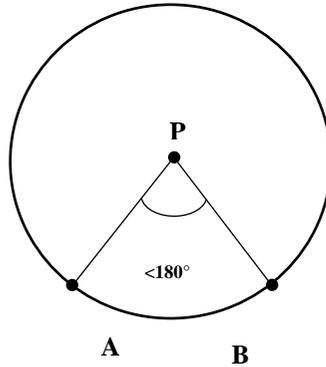


(Gambar 3.11) Skema Busur Lingkaran pada Bola
(Sumber: Penulis)

8) Panjang Busur

Panjang busur dinyatakan dalam derajat atau radial. Besar sudut yang mana besar sudutnya kurang dari 180° , maka disebut dengan jarak sferis. Dalam skema di bawah ini, terdapat busur pendek AB (besarnya kurang dari 180°). Busur ini dinamakan dengan jarak sferis antara titik (A) dan (B), sebab jarak sferis tersebut menghubungkan antara titik (A) dan (B).⁷⁶

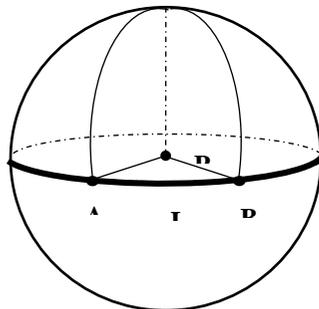
⁷⁶ Koesdiono, 5.



(Gambar 3.12) Skema Jarak Sferis
(Sumber: Penulis)

Jarak sferis antara titik (A) dan (B) merupakan jarak terpendek pada permukaan bola antara (A) dan (B). Jarak sferis dari setiap titik pada lingkaran besar ke kutubnya memiliki nilai yang sama, yakni 90° atau $\frac{1}{2} \Pi$.

Sebagaimana dengan skema di bawah ini, dimana busur (KA) memiliki nilai yang sama dengan busur (KB).⁷⁷

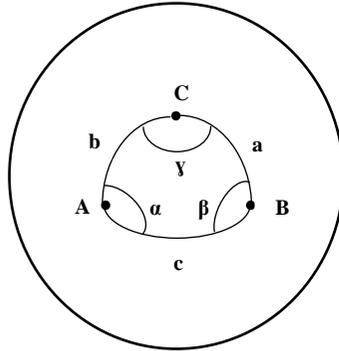


(Gambar 3.13) Proyeksi Jarak Sferis pada Bola
(Sumber: Penulis)

⁷⁷ Koesdiono, 5.

9) Segitiga Bola

Segitiga bola merupakan bidang yang terbentuk dari permukaan bola yang dibatasi oleh tiga jarak sferis.⁷⁸



(Gambar 3.14) Skema Segitiga Bola
(Sumber: Penulis)

Keterangan:

Jarak sferis (AB), (BC) dan (CA) = segitiga bola (ABC).

Jarak sferis (AB) = sisi (c)

Jarak sferis (BC) = sisi (a)

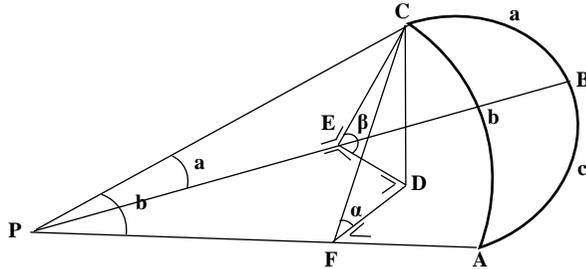
Jarak sferis (CA) = sisi (b)

Titik sudut (α), (β) dan (γ) = sudut segitiga bola (ABC)

Sisi (a), (b), (c) dan sudut (α), (β) dan (γ) = Unsur segitiga bola (ABC)

⁷⁸ Koesdiono, 7.

b) Rumus Trigonometri Segitiga Bola
1) Rumus Sinus Segitiga Bola



(Gambar 3.15) Skema Segitiga Bola ABC pada Bola Satuan
 Bola Satuan
 (Sumber: Materi Kuliah Astronomi Bola)

Pada segitiga (PCE), sudut siku-siku berada di titik (E):

$$CE = \sin a$$

Pada segitiga (CED), sudut siku-siku berada di titik (D):

$$CD = CE \sin \beta = \sin a \sin \beta$$

Pada segitiga (PCF), sudut siku-siku berada di titik (F):

$$CF = \sin b$$

Pada segitiga (CDF), sudut siku-siku berada di titik (D)⁷⁹:

$$CD = CF \sin \alpha = \sin b \sin \alpha$$

Dari keterangan rumus sinus segitiga (CED) dan (CDF), maka:

$$a. \sin a \sin \beta = \sin b \sin \alpha$$

$$b. \frac{\sin a}{\sin b} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

⁷⁹ Koediono, 17.

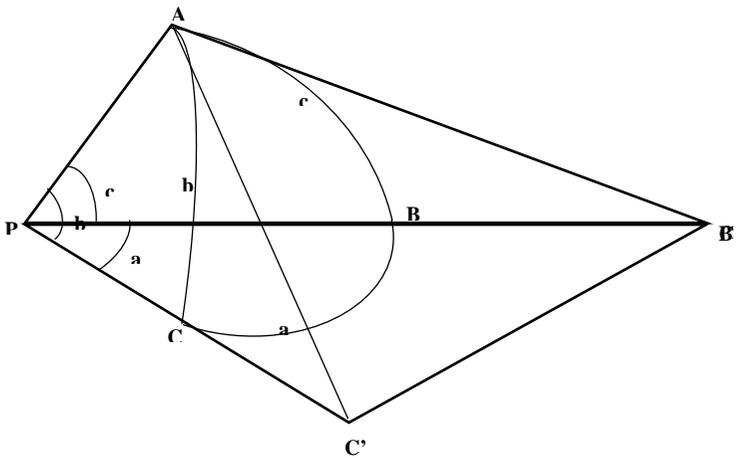
c. Melalui cara yang sama dengan point a), maka didapat rumus sinus:

$$\frac{\sin b}{\sin c} = \frac{\sin \beta}{\sin \gamma}$$

Dari point b dan c, maka dapat disimpulkan **rumus sinus segitiga bola**⁸⁰:

$$\frac{\sin a}{\sin \alpha} = \frac{\sin b}{\sin \beta} = \frac{\sin c}{\sin \gamma}$$

2) Rumus Cosinus Segitiga Bola



(**Gambar 3.16**) Skema Segitiga Bola pada Satuan
(Sumber: Materi Kuliah Astronomi Bola)

Garis singgung pada busur (AB) di (A) memotong perpanjangan garis (PB) pada titik (B') dan garis singgung pada busur (AC) pada titik (A) memotong perpanjangan (PC) pada titik (C').⁸¹

Pada segitiga (PB'C') dan segitiga (AB'C') diterapkan rumus cosinus.

⁸⁰ Koesdiono, 18.

⁸¹ Koesdiono, 20.

$$\begin{aligned}(B'C')^2 &= (PC')^2 + (PB')^2 - 2 PC' \times PB' \cos a \\ &= (AC')^2 + (AB')^2 - 2 AC' \times AB' \cos a\end{aligned}$$

Pada penjelasan bagian segitiga bola tersebut, maka dapat menghasilkan dua rumus cosinus dalam segitiga bola, yakni;

a. Rumus Cosinus Sisi⁸²

$$\cos a = \cos a \cos a + \sin b \sin c \cos \alpha$$

$$\cos b = \cos a \cos c + \sin a \sin c \cos \beta$$

$$\cos c = \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos \gamma$$

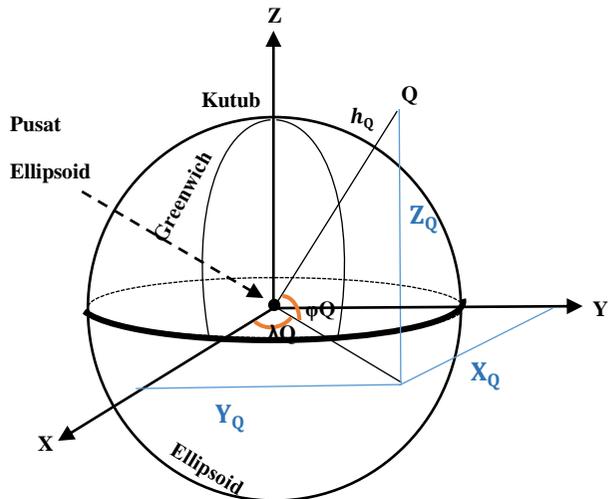
b. Rumus Cosinus Sudut⁸³

$$\cos \alpha = -\cos \beta \cos \gamma + \sin \beta \sin \gamma \cos a$$

$$\cos \beta = -\cos \alpha \cos \gamma + \sin \alpha \sin \gamma \cos b$$

$$\cos \gamma = -\cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta \cos c$$

c) Sistem Koordinat Geodetik



(Gambar 3.17) Skema Koordinat Geodetik
(Sumber: Materi Kuliah Astronomi Bola)

⁸² Koesdiono, 21.

⁸³ Koesdiono, 22.

Berdasarkan skema tersebut, maka diperoleh;

$$\begin{aligned} X_Q &= (N + h_Q) \cos \varphi_Q \cos \lambda_Q & Z_Q \\ &= [N(1 - e^2) + h_Q] \sin \varphi_Q \\ Y_Q &= (N + h_Q) \cos \varphi_Q \sin \lambda_Q & N \\ &= \text{Jari-jari Lengkung Normal} \end{aligned}$$

Parameter Sistem Koordinat:

- 1) Lokasi titik nol sistem koordinat
- 2) Orientasi beberapa sumbu koordinat
- 3) Besaran yang digunakan dalam mendefinisikan posisi titik pada sistem koordinat tersebut⁸⁴, (sistem koordinat geodetik⁸⁵ dan koordinat kartesian⁸⁶).

Koordinat Kartesian:

(X_Q, Y_Q, Z_Q)

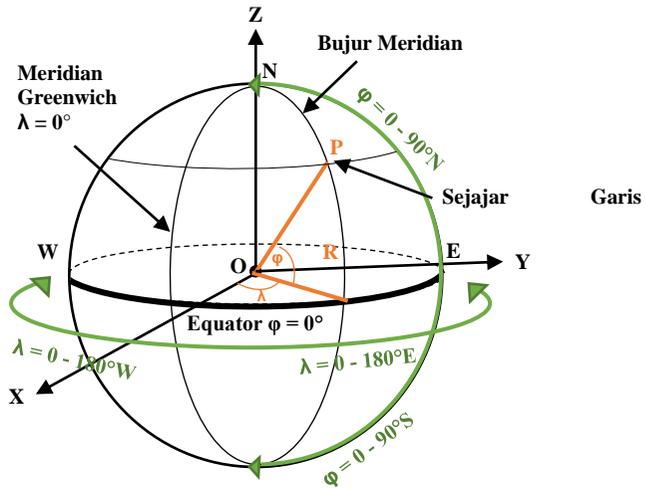
Koordinat Geodetik:

($\varphi_Q, \lambda_Q, h_Q$)

⁸⁴ Arief Laila Nugraha, "Materi Astronomi Bola 2," in *Kuliah Astronomi Bola 2* (Semarang: UNDIP Geodetic Engineering Departement, 2015), 20.

⁸⁵ Koordinat geodetik, merupakan ketetapan sistem koordinat elipsoidal spasial yang berupa simbol φ, λ, h . "Principle of Geodesy," in *World Geodetic System-1984 (WGS-84) Manual*, Second Edi (Quebec: International Civil Aciation Organization, 2002), B-3, <https://www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2014/ECARAIM/REF08-Doc9674.pdf>.

⁸⁶ Sistem koordinat kartesian, merupakan planar representasi informasi lokasi yang diperoleh dengan metode pengubahan koordinat geografis Bumi bulat menjadi sesuatu yang tidak terlalu rumit untuk pemetaan. Michael Demers, "Cartesian Coordinate System," *The International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology*, 2014, 1, <https://doi.org/10.1002/9781118786352.wbieg0221>.



(Gambar 3.18) Sistem Koordinat 3D
(Sumber: Materi Kuliah Astronomi Bola)

Keterangan⁸⁷:

λ = Bujur Geografis⁸⁸

φ = Lintang Geografis⁸⁹

⁸⁷ Nugraha, "Materi Astronomi Bola 2," 19.

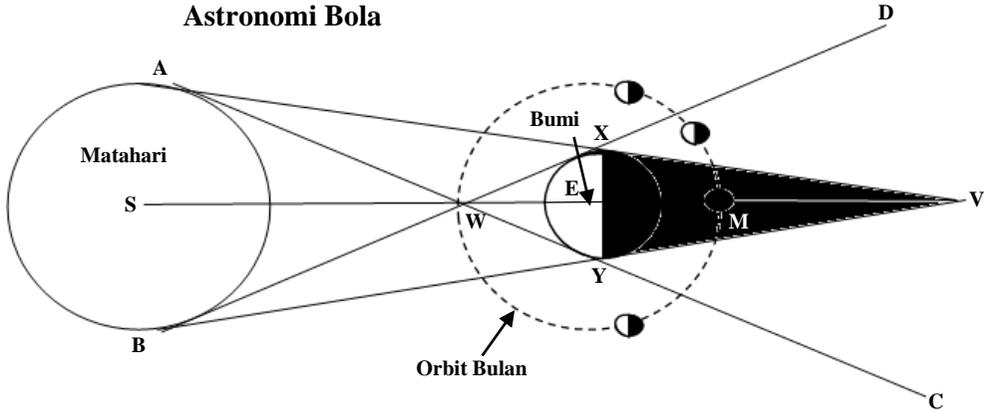
⁸⁸ Bujur geografis terdapat bagian, yakni bujur barat (BB) dan bujur timur (BT), yang berdasarkan pada garis *prime meridian*. Sehingga, wilayah Bumi yang berada pada bagian kiri *prime meridian* disebut dengan bujur barat (BB), sedangkan wilayah Bumi yang berada pada bagian kanan *prime meridian* disebut dengan bujur Timur (BT). Tim Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, "Sistem Informasi Geografis: Sistem Koordinat Peta" (Surabaya: Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, 2017), 41, http://arna.lecturer.pens.ac.id/Modul_SIG/07_Sistem_Koordinat_Peta.pdf.

⁸⁹ Lintang geografis terdapat dua bagian, yakni lintang utara (LU) dan lintang selatan (LS), yang berdasarkan pada garis *equator*. Sehingga, wilayah yang berada pada daerah atas *equator* disebut dengan lintang utara (LU),

R = Radius rata-rata Bumi⁹⁰

O = Koordinat Geosenter⁹¹

B. Algoritma Penentuan Waktu Gerhana Bulan dalam Astronomi Bola



(Gambar 3.19) Skema Gerhana Bulan
(Sumber: *Textbook on Spherical Astronomy*)

sedangkan yang berada pada daerah bawah *equator* dinamakan dengan lintang selatan (LS). Tim Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, 40.

⁹⁰ Radius rata-rata Bumi memiliki nilai persamaan 6 371 001 M, dimana nilai ini sesuai dengan jari-jari bola yang nilai volumenya sama dengan referensi *ellipsoid*. Frédéric Chambat and Bernard Valette, "Mean Radius, Mass and Inertia for Reference Earth Models," *Physics Of The Earth And Planetary Interiors* 124 (2001): 239, http://frederic.chambat.free.fr/geophy/inertie_pepi01/chambat_valette_public01_with_errata.pdf.pdf.

⁹¹ Titik koordinat geosenter merupakan sebuah titik koordinat yang ditentukan dengan data yang berasal dari data pada dua sistem satelit navigasi global (GNSS), yakni GPS (Global Positioning System) AS dan GLONASS Rusia (Global'naya Nawigatsionnaya Sput-nikowaya Sistema). Michael Meindl et al., "Geocenter Coordinates Estimated from GNSS Data as Viewed by Perturbation Theory," in *Advances Space Research* (Bern: Astronomical Institute, University of Bern, 2012), 1, <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2012.10.026>.

1. Notasi dalam Algoritma Astronomi Bola dalam Penentuan Waktu Gerhana Bulan

Pada perhitungan astronomi bola dalam penentuan waktu gerhana Matahari, terdapat beberapa notasi yang digunakan, yakni:

P : Ekuatorial horizontal paralaks Matahari

P_1 : Ekuatorial horizontal paralaks Bulan⁹²

S : Semi diameter Matahari⁹³

S_1 : Semi diameter Bulan

r : Jarak geosentris Matahari

r_1 : Jarak geosentris Bulan⁹⁴

s : Radius sudut (yang relatif pada pusat Bumi) kerucut umbra pada jarak Bulan.

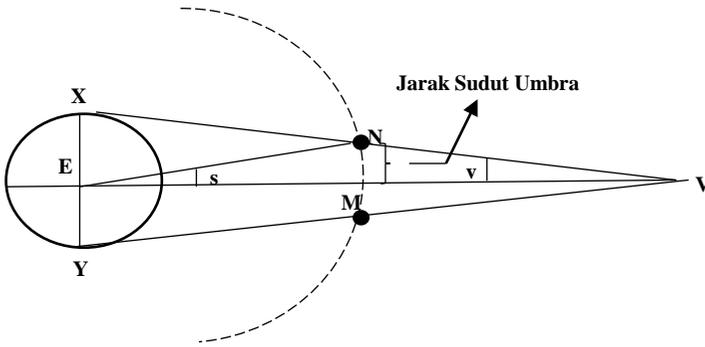
Pada notasi tersebut, (r) dan (r_1) dinyatakan dalam satuan jari-jari khatulistiwa Bumi sebagai satuan jarak.

Pada skema (3.19), jarak kerucut umbral pada jarak Bulan ketika gerhana total ditunjukkan pada garis (MN).

⁹² Equatorial Horizontal Parallax Bulan, merupakan perbedaan antara posisi yang diamati dari pusat Bulan dengan posisi pengamat yang berada di Bumi. Paralaks akan terus berubah sebab rotasi Bumi. Jean Meeus, "The Mean Distance from the Earth to the Moon," *Journal of the British Astronomical Association* 129 (2019): 27, <http://www.almanak.he.is/meeus.pdf>.

⁹³ Semidiameter, merupakan koreksi benda langit pada bagian luarnya. Biasanya nilai dari semidiameter Matahari berkisar $0^\circ 16'$. Dominique F. Prinet, "Measure of the Sun's Altitude: Ho," in *Celestial Navigation: With the Sight Reduction Tables Rom Pub. No. 249*, First Edit (Victoria: FriesenPress, 2015), 14.

⁹⁴ Jarak geosentris Bulan, merupakan jarak antara Bumi dengan Bulan yang diukur secara sistematis hingga ketelitian beberapa milimeter menggunakan metode laser serta reflektor retro yang dipasang di Bulan oleh misi Apollo. Jorge I. Zuluaga, Juan C. Figueroa, and Ignacio Ferrin, "The Simplest Method to Measure the Geocentric Lunar Distance: A Case of Citizen Science," *American Journal of Physics*, 2014, 1, <https://arxiv.org/abs/1405.4580>.

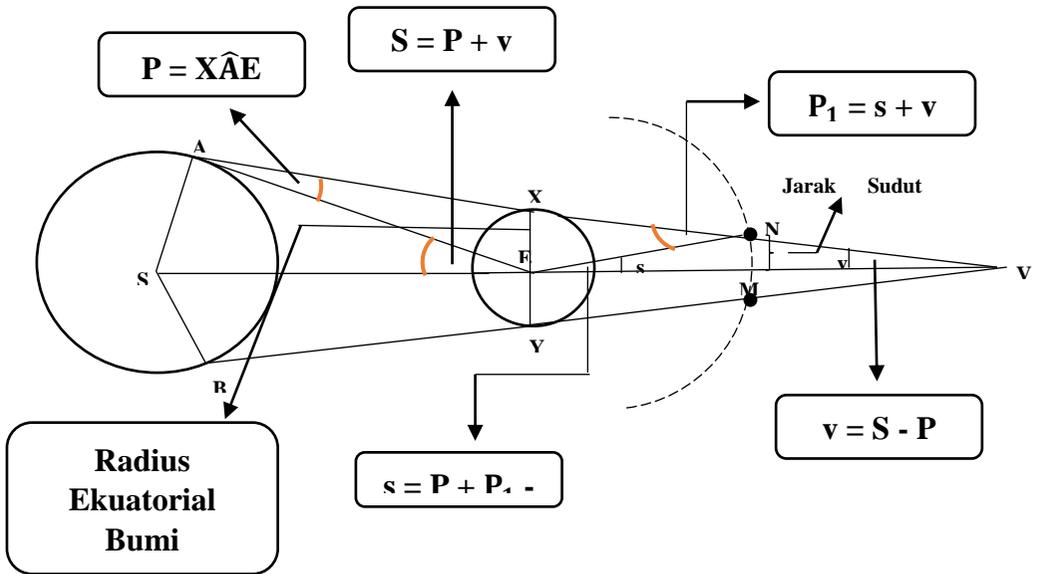


(Gambar 3.20) Jarak Sudut Umbra

(Sumber: *Textbook on Spherical Astronomy*)

Jarak sudut (s) yang berhubungan dengan titik (E), merupakan sudut \widehat{NEM} , sedangkan sudut \widehat{XVE} ditunjukkan oleh jarak sudut (v). Dari pernyataan berikut, maka akan dapat ditemukan perhitungan sudut \widehat{XNE} (sudut yang terbentuk pada Bulan dari radius Bumi). Adapun sudut \widehat{XNE} jika dilihat dari perspektif Bumi, maka sudut tersebut adalah Horizontal Paralaks Bulan (P_1).

Adapun \widehat{SEA} , merupakan sudut yang terbentuk pada Bumi dari radius Matahari. Sehingga, \widehat{SEA} dinyatakan sebagai semi diameter Matahari (S). Pada hubungan tersebut, maka juga dapat ditemukan \widehat{XAE} merupakan Horizontal Paralaks Matahari (P).



(Gambar 3.21) Skema Sudut pada Garis Lintas Gerhana Bulan
(Sumber: Penulis)

Rumus notasi (s) merupakan rumus yang diperuntukkan bagi radius sudut pada kerucut umbra. Sehingga terdapat pula rumus yang serupa dengan notasi (s) pada kerucut umbra, yakni notasi (s') yang diperuntukkan bagi titik yang terletak kerucut penumbra. Selain itu, notasi (s) maupun (s') terdapat koreksi tambahan untuk prediksi gerhana Bulan;

a. Pada kerucut umbra:

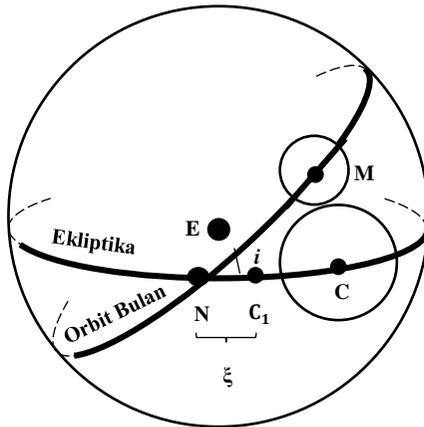
$$s = \frac{51}{50}(P + P_1 - S)$$

b. Pada kerucut penumbra:

$$s' = \frac{51}{50}(P + P_1 + S)$$

Keberadaan koreksi tersebut disebabkan dari adanya perhitungan perkiraan mengenai jarak antara dua Bulan purnama berturut-turut adalah sekitar 30 hari, maka gerakan sudut Bulan relatif terhadap bayangan adalah sekitar 12° per hari atau $30'$ per jam. Oleh karenanya, gerhana total telah dipertimbangkan akan berlangsung sekitar $\frac{52}{30}$ jam atau sekitar $1\frac{3}{4}$ jam.

2. Batas Gerhana Bulan

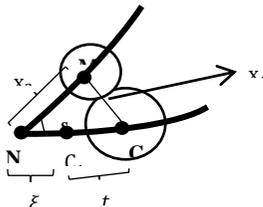


(Gambar 3. 22) Skema Batas Gerhana Bulan

(Sumber: *Textbook on Spherical Astronomy*)

Kemiringan ekliptika bidang orbit Bulan berpengaruh dalam jumlah batasan gerhana.

(NM)	: Lingkaran besar bola langit yang berpusat pada titik (E)	
(E)	: Bidang orbit bulan	
(M)	: Pusat Bulan	} saat gerhana
(C)	: Pusat bayangan Bulan	
(C ₁)	: Posisi pusat bayangan saat Bulan berada di simpul (N)	
t	: Waktu yang dibutuhkan untuk;	
	- Bulan dari titik (N) menuju titik (M)	
	- Pusat bayangan (C ₁) menuju titik (C)	
Titik Bujur Geosentris C	: Titik bujur Matahari + 180°	
ξ	: Jarak sudut Matahari (pada simpul lain)	
θ	: Kecepatan peningkatan garis bujur Matahari	} Bernilai konstan
ϕ	: Kecepatan sudut Bulan pada orbitnya.	
η	: Jarak sudut (CM)	
i	: Inklinasi ($\widehat{M\hat{N}C}$)	



(Gambar 3.23) Skema Bidang Segitiga ($\widehat{M\hat{N}C}$)

(Sumber: Penulis)

Pada skema tersebut, maka dapat diketahui bahwa jarak (NC_1) disimbolkan dengan ξ . Adapun jarak antara (NM) disimbolkan dengan X_2 dan jarak (MC) disimbolkan dengan X_1 . Jarak antara CC_1 disimbolkan dengan (t). Adapun besar sudut ($M\hat{N}C$) sama dengan besaran (s), maka nilainya adalah $0^\circ 45' 31,59''$.

Tahapan menghitung batasan gerhana Bulan:

- a) Menghitung sisi (NM) (lingkaran besar pada bola langit yang berpust di titik (E) dan didefinisikan sebagai bidang pada orbit Bulan.

Dalam menghitung jarak (NM), maka terlebih dahulu kita hitung besaran nilai X_2 , dengan rumus:

$$\tan(s) = \frac{X_2}{r_1} \dots\dots\dots (1)$$

- b) Menghitung sisi (MC) atau X_1

$$\cos (s) = \frac{r_1}{X_1} \dots\dots\dots (2)$$

- c) Mencari nilai (t), sebagai jarak pusat bayangan yang berpindah dari titik C_1 kearah titik C.

Setelah nilai sisi NM didapat, maka kita cari nilai (t) dengan rumus;

$$NM = \phi t \dots\dots\dots (3)$$

- d) Mencari nilai (ξ), sebagai waktu yang dibutuhkan Bulan untuk bergerak dari titik N kearah titik M. Cara yang digunakan adalah menggunakan rumus NC.

$$NC = \xi + \theta t \quad \dots\dots\dots (4)$$

e) Mencari nilai Inklinasi

$$\Omega = \frac{-2\pi}{18,613} \times (T - 1969,244) \quad \dots\dots\dots (5)$$

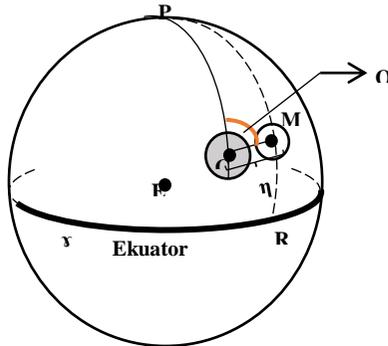
f) Mencari nilai minimum (η)⁹⁵

$$\frac{\xi \phi \sin i}{(\theta^2 + \phi^2 - 2\theta\phi \cos i)^{\frac{1}{2}}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

g) Mencari nilai (η)⁹⁶

$$\eta^2 = (\xi + \theta t)^2 + \phi^2 t^2 - 2\phi t (\xi + \theta t) \times \cos i \quad \dots\dots\dots (7)$$

3. Algoritma Astronomi Bola dalam Penentuan Gerhana Bulan



(Gambar 3.24) Skema Posisi Bulan pada Bola Langit
(Sumber: Penulis)

⁹⁵ Smart, *Textb. Spherical Astron.*

⁹⁶ Smart, 382.

Beberapa notasi yang terdapat dalam algoritma astronomi bola gerhana Bulan:

$$\begin{array}{ll} \delta_1 = \text{Deklinasi Bulan} & \delta_0 = \text{Deklinasi C} \\ \alpha_1 = \text{Asensio Rekta Bulan} & \alpha_0 = \text{Asensio Rekta C} \end{array}$$

Berdasarkan beberapa notasi tersebut, maka didapat algoritma astronomi bola gerhana Bulan sebagai berikut:

- a) Mencari Nilai Q
 - 1) $\eta \sin Q = (\alpha_1 - \alpha_0) \cos \delta_1$ (8)
 - 2) $\eta \cos Q = (\delta_1 - \delta_0)$ (9)
- b) Mencari nilai koordinat (x, y) , (x', y') ⁹⁷ dan (x_0, y_0) .
 - 1) $x = (\alpha_1 - \alpha_0) \cos \delta_1 = \eta \sin Q$ (10)
 - 2) $y = (\delta_1 - \delta_0) = \eta \cos Q$ (11)
 - 3) $x' = \text{Interval } (x)$ (12)
 - 4) $y' = \text{Interval } (y)$ (13)
 - 5) $x = x_0 + x't$ (14)
 - 6) $y = y_0 + y't$ (15)
- c) Mencari nilai M , m , N dan n ⁹⁸.
 - 1) Nilai M

$$\tan M = (x' - x_0)$$
 (16)
 - 2) Nilai m

$$\sqrt{(x' - x_0)^2}$$
 (17)
 - 3) Nilai N

$$\tan N = (y' - y)$$
 (18)
 - 4) Nilai n

$$\sqrt{(y' - y_0)^2}$$
 (19)

⁹⁷ Nilai (x', y') , merupakan perubahan nilai x dan y pada hitungan tiap jam. Nilai (x', y') tersebut dihitung melalui nilai interval dari x dan y .

⁹⁸ Nilai M , m , N dan n merupakan nilai bantuan yang berguna untuk perhitungan waktu gerhana dalam algoritma astronomi bola gerhana Bulan.

d) Mencari nilai (ψ)

$$m \sin(M - N) = \eta \sin \psi \quad \dots (20)$$

e) Menghitung waktu gerhana

$$t = -\frac{m}{n} \cos(M - N) \pm \frac{\eta}{n} \times \cos \psi \quad \dots (21)$$

f) Mencari nilai (η) (jarak sudut penentu waktu gerhana)⁹⁹

$$\eta = \frac{51}{50} \times (P + P_1 - S) + S_1 \quad \dots (22)$$

Nilai (η) tersebut kemudian dipergunakan untuk menghitung algoritma ke-(21). Hasilnya menjadi penentu waktu pada saat Bulan memasuki kontak pertama (masuk kerucut umbra) dan kontak keempat (keluar kerucut umbra).

$$\eta = \frac{51}{50} \times (P + P_1 - S) - S_1 \quad \dots (23)$$

Adapun rumus (η) ke-(23), dipergunakan untuk memperhitungkan waktu awal gerhana Bulan dan waktu akhir gerhana Bulan. Hasil (η) akan diolah menggunakan rumus ke-(21).

g) Memperkirakan waktu gerhana Bulan

1) Kontak pertama dan keempat gerhana Bulan

Setelah rumus ke-(22) diolah menggunakan rumus ke-(21), maka akan terdapat dua hasil yang berbeda.

⁹⁹ Smart, *Textb. Spherical Astron.*, 385.

Untuk kontak pertama, saat Bulan memasuki kerucut bayangan umbra:

$$t = -\frac{m}{n} \cos(M - N) + \frac{\eta}{n} x \cos \psi \quad \dots (24)$$

Untuk kontak keempat, saat Bulan keluar dari kerucut bayangan umbra:

$$t = -\frac{m}{n} \cos(M - N) - \frac{\eta}{n} x \cos \psi \quad \dots (25)$$

Jika masing-masing nilai (t) telah diketahui, maka waktu kontak pertama dan keempat Bulan pada kerucut umbra tersebut kemudian diolah kembali dengan rumus:

$$(T_0 + t) \quad \dots\dots\dots (26)$$

Keterangan:

T_0 = Waktu yang mendekati kontak gerhana Bulan

2) Awal dan akhir waktu gerhana Bulan

Seperti perkiraan waktu kontak pertama dan keempat Bulan pada bayangan umbra, maka hal yang sama juga berlaku pada penentuan waktu awal dan akhir gerhana Bulan. Setelah rumus ke-(23) diolah menggunakan rumus ke-(21), maka akan terdapat dua hasil yang berbeda.

Untuk penentuan waktu awal gerhana Bulan:

$$t = -\frac{m}{n} \cos(M - N) + \frac{\eta}{n} x \cos \psi \quad \dots\dots (27)$$

Untuk penentuan waktu akhir gerhana Bulan¹⁰⁰:

$$t = -\frac{m}{n} \cos(M - N) - \frac{\eta}{n} \times \cos \psi \quad \dots (28)$$

Jika masing-masing nilai (t) telah diketahui, maka waktu awal gerhana Bulan dan akhir gerhana Bulan pada kerucut umbra tersebut kemudian diolah kembali dengan rumus¹⁰¹:

$$(T_0 + t) \quad \dots\dots\dots (29)$$

¹⁰⁰ Smart, 384.

¹⁰¹ Smart, 384.

BAB IV

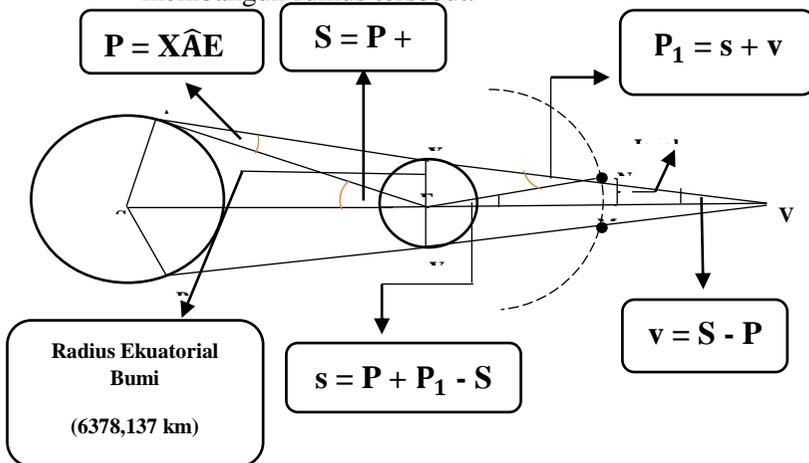
PENYEDERHANAAN ALGORITMA PENENTUAN WAKTU GERHANA BULAN DALAM ASTRONOMI BOLA

A. Tahapan Penyederhanaan dan Aplikasi Algoritma Penentuan Waktu Gerhana Bulan dalam Astronomi Bola

Data Matahari, Bulan serta Bumi yang digunakan merupakan data benda langit pada tanggal 16 Mei 2022.

1. Jarak Sudut pada Bayangan Kerucut Jarak Geosentris Bulan

Pada algoritma astronomi bola, dibutuhkan beberapa skema posisi benda langit pada bola langit. Skema ini sangat penting dalam astronomi bola, sebab algoritma nya yang banyak membutuhkan skema imajiner untuk membantu proses perhitungan. Titik-titik koordinatnya harus diukur menggunakan sudut tertentu pada bidang imajiner yang membangun rumus tersebut.



(Gambar 4.1) Skema Sudut pada Garis Lintas Gerhana Bulan

(Sumber: Penulis)

Banyak notasi yang digunakan sebagai acuan *database* algoritma astronomi bola. Sebagaimana dengan notasi jarak sudut pada bayangan kerucut jarak jarak geosentris Bulan berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{a) Horizontal Paralaks Matahari (P)} \\
 &= \sin(08,794'') \div \text{Jarak Geo Matahari}^{102} \\
 &= \sin(08,794'') \div 1^\circ 00' 39,27'' \\
 &= \mathbf{0^\circ 00' 00,15''}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b) Horizontal Paralaks Bulan (P}_1\text{)} \\
 &= 1^\circ 00' 26,15'' \qquad 1^\circ 00' 26,15'' \\
 &\quad \underline{1^\circ 00' 27,34'' -} \qquad \underline{- 0^\circ 00' 00,91'' -} \\
 &= - 0^\circ 00' 01,19'' \qquad \mathbf{1^\circ 00' 27,06''} \\
 &\quad \underline{0^\circ 45' 55''} \times \\
 &\quad - 0^\circ 00' 00,91''
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c) Semidiameter Matahari (S)} \\
 &= 0^\circ 15' 49,28'' \qquad 0^\circ 15' 49,28'' \\
 &\quad \underline{0^\circ 15' 49,27'' -} \qquad \underline{0^\circ 00' 00,01'' -} \\
 &= 0^\circ 00' 00,01'' \qquad \mathbf{0^\circ 15' 49,18''} \\
 &\quad \underline{0^\circ 45' 00,55''} \times \\
 &\quad 0^\circ 00' 00,01''
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{d) Semidiameter Bulan (S}_1\text{)} \\
 &= 0^\circ 16' 28,05'' \qquad 0^\circ 16' 28,05'' \\
 &\quad \underline{0^\circ 16' 28,38'' -} \qquad \underline{- 0^\circ 00' 00,25'' -} \\
 &= - 0^\circ 00' 00,33'' \qquad \mathbf{0^\circ 16' 28,3''} \\
 &\quad \underline{0^\circ 45' 55''} \times \\
 &\quad 0^\circ 00' 00,25''
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{e) Jarak Geosentris Matahari (r)} \\
 &= 1,0109020 \qquad 1,0109020
 \end{aligned}$$

¹⁰² Aplikasi Win Hisab 2010

$$\begin{aligned} & \frac{1,0109109}{- 0^\circ 00' 00,3''} - \frac{- 0^\circ 00' 00,02''}{1^\circ 00' 39,27''} - \\ & \frac{0^\circ 45' 55''}{- 0^\circ 00' 00,02''} \times \end{aligned}$$

f) Jarak Geosentris Bulan (r_1) = **$0^\circ 00' 9,25''$** ¹⁰³

g) Jarak sudut (dari pusat Bumi) pada kerucut umbra pada jarak Bulan.

$$\begin{aligned} s &= \frac{51}{50} \times (P + P_1 - S) \\ &= \frac{51}{50} \times (0^\circ 00' 00,15'' + 1^\circ 00' 27,06'' - 0^\circ 15' 49,18'') \\ &= 0^\circ 44' 38,03'' \times \frac{51}{50} \\ &= \frac{37^\circ 56' 19,53''}{50} \\ &= \mathbf{0^\circ 45' 31,59''} \end{aligned}$$

h) Jarak sudut (dari pusat Bumi) pada kerucut penumbra pada jarak Bulan.

$$\begin{aligned} s' &= \frac{51}{50} \times (P + P_1 + S) \\ &= \frac{51}{50} \times (0^\circ 00' 00,15'' + 1^\circ 00' 27,06'' + 0^\circ 15' 49,18'') \\ &= 0^\circ 16' 16,39'' \times \frac{51}{50} \\ &= \mathbf{1^\circ 17' 47,92''} \end{aligned}$$

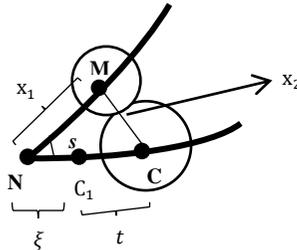
Berikut hasil perhitungan notasi *database* jarak sudut bayangan kerucut geosentris Bulan.

¹⁰³ Jarak geosentris Bulan adalah 378000 kilometer, yang kemudian dikonversikan ke dalam satuan *Astronomical Unit* menjadi 0.0025695 AU. David R. Williams, "Moon Fact Sheet," NASA Goddard Space Flight Center, 2017, <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/moonfact.html>.

(Tabel 4.1)
 (Tabel *Database* Jarak Sudut Gerhana Bulan)

Gerhana Bulan 15 Mei 2022	
Horizontal Paralaks Matahari (P)	0° 00' 00,15"
Horizontal Paralaks Bulan (P ₁)	1° 00' 27,06"
Semidiameter Matahari (S)	0° 15' 49,18"
Semidiameter Bulan (S ₁)	0° 16' 28,3"
Jarak Geosentris Matahari (r)	1° 00' 39,27"
Jarak Geosentris Bulan (r ₁)	0° 00' 9,25"
Jarak Sudut pada Kerucut Umbra (s)	0° 45' 31,59"
Jarak Sudut pada Kerucut Penumbra (s')	1° 17' 47,92"

2. Algoritma Batas Gerhana



(Gambar 4.2)

(Skema Bidang Segitiga (MNC))

(Sumber: Penulis)

Berdasarkan skema tersebut, maka terdapat beberapa notasi yang diperhitungkan dalam menentukan batas gerhana Bulan:

$$\text{a) (MC) } X_1 = \cos (s) = \frac{r_1}{X_1}$$

Rumus ini berdasarkan pada prinsip trigonometri, dimana dalam mencari sisi miring, maka diperlukan rumus cosinus. Sebab, sisi yang lain juga belum diketahui besaran nilainya.

$$\begin{aligned} &= \cos(0^\circ 45' 31,59'') = \frac{0^\circ 00' 9,25''}{X_1} \\ &= \frac{0^\circ 00' 9,25''}{0^\circ 59' 59,68''} = X_1 \\ &= \mathbf{0^\circ 00' 9,25''} = X_1 \end{aligned}$$

$$\text{b) (NM) } X_2 = \tan (s) = \frac{X_2}{r_1}$$

Sebagaimana dalam rumus X_1 , rumus ini juga berdasarkan pada prinsip trigonometri, dimana dalam mencari nilai besaran suatu sisi yang berada depan sudut, maka diperlukan rumus tangent.

$$\begin{aligned} &= 0^\circ 00' 47,68'' \times 0^\circ 00' 9,25'' = X_2 \\ &= \mathbf{0^\circ 00' 00,12''} = X_2 \end{aligned}$$

$$\text{c) } \theta = \text{Bujur Matahari} + 180^\circ$$

Nilai Bujur Matahari belum diketahui, maka Bujur Matahari diperhitungkan terlebih dahulu:

Bujur Matahari

$$\begin{array}{r} = 55^\circ 02' 58,31'' \\ \underline{55^\circ 05' 22,09''} - \\ - 0^\circ 02' 23,78'' \\ \underline{0^\circ 45' 55''} \times \\ - 0^\circ 01' 50,03'' \end{array} \qquad \begin{array}{r} 55^\circ 02' 58,31'' \\ \underline{-0^\circ 01' 50,03''} - \\ \mathbf{55^\circ 04' 48,34''} \end{array}$$

Nilai bujur Matahari telah diketahui, yakni

$$\mathbf{55^\circ 04' 48,34''}$$

Sebab nilai bujur Matahari telah diketahui, maka nilai (θ) dapat dihitung:

$$\begin{aligned}\theta &= \text{Bujur Matahari} + 180^\circ \\ &= 55^\circ 04' 48,34'' + 180^\circ \\ &= \mathbf{235^\circ 04' 48,34''}\end{aligned}$$

- d) Mencari nilai waktu yang digunakan pusat bayangan untuk bergerak dari titik C_1 ke arah titik C yang dinotasikan sebagai (t). Mencari nilai (t), menggunakan rumus (NM):

$$NM^{104} = \phi t$$

Dalam rumus tersebut, terdapat notasi (ϕ)¹⁰⁵ yang belum diketahui nilainya. Maka, terlebih dahulu kita cari nilai notasi (ϕ) tersebut:

$$\begin{aligned}(\phi) &= \frac{2\pi}{27,3 \text{ hari}} \\ &= \frac{2\pi}{(27,3 \times 24 \times 60 \times 60)} \\ &= \frac{2 \times 3,14}{2358720} \\ &= \mathbf{00^\circ 00' 00,01'' (2,7 \times 10^{-6})}\end{aligned}$$

Nilai kecepatan sudut Bulan (ϕ) telah diketahui, sehingga pencarian nilai (t) dalam rumus (NM) dapat dihitung.

$$55^\circ 04' 48,34'' = 00^\circ 00' 00,01'' \times t$$

$$\frac{55^\circ 04' 48,34''}{00^\circ 00' 00,01''} = t$$

$$\mathbf{01^\circ 12' 00,00''} = t$$

- e) Mencari nilai waktu yang dibutuhkan Bulan untuk bergerak dari titik N ke arah M (ξ), pada rumus NC.

$$NC = \xi + \theta t$$

¹⁰⁴ Nilai NM telah diketahui, melalui rumus pencarian nilai X_2 .

¹⁰⁵ Kecepatan sudut Bulan dalam orbitnya.

$$\begin{aligned}
00^\circ 00' 00,12'' &= \xi + 235^\circ 04' 48,34'' \times \\
01^\circ 12' 00,00'' & \\
00^\circ 00' 00,12'' &= \xi + 282^\circ 05' 46,01'' \\
\xi &= 282^\circ 05' 46,01'' \\
&\quad \underline{00^\circ 00' 0,12''} - \\
&\quad \mathbf{280^\circ 53' 46,01''}
\end{aligned}$$

f) Mencari nilai inklinasi

$$\begin{aligned}
\Omega &= \frac{-2\pi}{18,613} \times (T - 1969,244) \\
&= \frac{-2\pi}{18,613} \times (27,3 - 1969,244) \\
&= \frac{-2\pi}{18,613} \times (-1941,944) \\
&= 655^\circ 12' 33,02'' \\
&= \mathbf{(35,2)}
\end{aligned}$$

g) Mencari nilai minimum jarak sudut CM (η_0)

$$\begin{aligned}
\eta_0 &= \frac{\xi \phi \sin i}{(\theta^2 + \phi^2 - 2\theta\phi \cos i)^{\frac{1}{2}}} \\
= & \frac{(280^\circ 53' 46,01'') \times (2,7 \times 10^{-6}) \times \sin(35,2)}{\left((235^\circ 04' 48,34'')^2 + ((2,7 \times 10^{-6})^2) - (2 \times 235^\circ 04' 48,34'' \times 2,7 \times 10^{-6} \times \cos(35,2)) \right)^{\frac{1}{2}}} \\
&= \frac{0^\circ 00' 01,57''}{(55262^\circ 39' 02,89'' - 00^\circ 00' 03,73'')^{\frac{1}{2}}} \\
&= \frac{00^\circ 00' 01,57''}{235^\circ 04' 48,34''} \\
&= \mathbf{00^\circ 00' 00,01''}
\end{aligned}$$

h) Mencari nilai jarak sudut CM (η)

$$\begin{aligned}
\eta^2 &= (\xi + \theta t)^2 + \phi^2 t^2 - 2\phi t \times (\xi + \theta t) \times \cos i \\
&= ((280^\circ 53' 46,01'') + (235^\circ 04' 48,34''))^2 + \\
&\quad \left(2 \times ((2,7 \times 10^{-6}) \times (01^\circ 12' 00,00'')) \right) \times ((280^\circ 53' 46,01'' \\
&\quad (235^\circ 04' 48,34'')) \times \cos(35,2)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= (562^\circ 59' 21,29'')^2 + (00^\circ 00' 00'') - \\
&(00^\circ 00' 10,73'') \\
&= 562^\circ 59' 21,29''
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\eta &= \sqrt{(562^\circ 59' 21,29'')} \\
&= 23^\circ 43' 38,62'' \\
&= (23,72739444)
\end{aligned}$$

Berikut hasil perhitungan notasi *database* batas gerhana Bulan.

(Tabel 4.2)
(Tabel *Database* Batas Gerhana Bulan)

Gerhana Bulan 15 Mei 2022	
Panjang sisi MC (X_1)	0° 00' 9,25''
Panjang sisi NM (X_2)	0° 00' 00,12''
Tambahan Bujur Matahari (θ)	235° 04' 48,34''
Waktu Pusat Bayangan ($C_1 - C$) (t)	01° 12' 00,00''
Waktu Pusat Bayangan (N-M) (ξ)	280° 53' 46,01''
Inklinasi (Ω)	35,2
Nilai minimum jarak sudut CM (η_0)	00° 00' 00,01''
Nilai jarak sudut CM (η)	23,72739444

3. Algoritma Astroomi Bola dalam Penentuan Gerhana Bulan

Pada algoritma astronomi bola dalam penentuan gerhana Bulan, dibutuhkan beberapa data, seperti Asensio Rekta

(RA) dan Deklinasi (Dek), yang sebelumnya dilakukan interpolasi terlebih dahulu.

a) Deklinasi Bulan

$$\begin{array}{r}
 = -18^{\circ} 01' 51,75'' \qquad -18^{\circ} 00' 51,75'' \\
 \underline{-18^{\circ} 14' 42,78''} - \qquad \underline{00^{\circ} 09' 50,05''} - \\
 = \quad 0^{\circ} 12' 51,03'' \qquad \mathbf{-18^{\circ} 11' 48,8''} \\
 \underline{0^{\circ} 45' 55''} \times \\
 0^{\circ} 09' 50,05''
 \end{array}$$

b) Asensio Rekta (RA) Bulan

$$\begin{array}{r}
 = 229^{\circ} 03' 45,06'' \qquad 229^{\circ} 03' 45,06'' \\
 \underline{229^{\circ} 40' 18,39''} - \qquad \underline{-0^{\circ} 27' 58,51''} - \\
 = \quad -0^{\circ} 36' 33,33'' \qquad \mathbf{229^{\circ} 31' 43,57''} \\
 \underline{0^{\circ} 45' 55''} \times \\
 -0^{\circ} 27' 58,51''
 \end{array}$$

c) Deklinasi C

$$\begin{array}{r}
 = 19^{\circ} 01' 38,34'' \qquad 19^{\circ} 01' 38,34'' \\
 \underline{19^{\circ} 02' 13,16''} - \qquad \underline{-0^{\circ} 00' 26,65''} - \\
 = \quad -0^{\circ} 00' 34,82'' \qquad \mathbf{-19^{\circ} 01' 40,99''}^{106} \\
 \underline{0^{\circ} 45' 00,55''} \times \\
 -0^{\circ} 00' 26,65''
 \end{array}$$

d) Asensio Rekta (RA) C

$$\begin{array}{r}
 = 52^{\circ} 42' 03,04'' \qquad 52^{\circ} 42' 03,04'' \\
 \underline{52^{\circ} 44' 31,48''} - \qquad \underline{-0^{\circ} 01' 53,06''} - \\
 = \quad -0^{\circ} 02' 28,44'' \qquad \mathbf{52^{\circ} 42' 03,04''} \\
 \underline{0^{\circ} 45' 55''} \times \qquad \underline{12^{\circ} 00' 00,00''}^{107} + \\
 -0^{\circ} 01' 53,06'' \qquad \mathbf{64^{\circ} 43' 56,64''}
 \end{array}$$

Berikut hasil perhitungan notasi *database* batas gerhana Bulan.

¹⁰⁶ Nilainya adalah negatif (-), sebab C sifatnya merupakan bayangan.

¹⁰⁷ Meki nilainya setara dengan asensio rekta Matahari, aturannya ditambah $12^{\circ} 00' 00,00''$, sebab diameternya berlawanan dengan pusat Matahari.

(Tabel 4.3)
(Tabel Database Algoritma Gerhana Bulan)

Gerhana Bulan 15 Mei 2022	
Deklinasi Bulan (δ_1)	-18° 11' 48,8"
Asensio Rekta Bulan (α_1)	229° 31' 43,57"
Deklinasi C (δ_0)	-19° 01' 40,99"
Asensio C (α_0)	64° 43' 56,64"

Adapun tahapan perhitungan algoritma astronomi bola dalam penentuan waktu gerhana Bulan, adalah sebagai berikut:

a) Mencari nilai Q ($\sin Q$) dan ($\cos Q$)

1) Nilai $\sin Q$

$$\begin{aligned} \eta \times \sin Q &= (\alpha_1 - \alpha_0) \times \cos \delta_1 \\ 23^\circ 43' 38,62'' \times \sin Q &= (229^\circ 31' 43,57'' - 64^\circ \\ &\quad 43' 56,64'') \times \\ &\quad \cos(18^\circ 11' 48,88'') \\ 23^\circ 43' 38,62'' \times \sin Q &= 156^\circ 33' 17,06'' \\ \frac{23^\circ 43' 38,62''}{156^\circ 33' 17,06''} &= \sin Q \\ \mathbf{0^\circ 09' 05,62''} &= \sin Q \\ \mathbf{8^\circ 43' 02,66''} &= Q \end{aligned}$$

2) Nilai $\cos Q$

$$\begin{aligned} \eta \times \cos Q &= (\delta_1 - \delta_0) \\ 23^\circ 43' 38,62'' \times \cos Q &= ((-18^\circ 11' 48,8'') - (- \\ &\quad 19^\circ 01' 40,99'')) \\ 23^\circ 43' 38,62'' \times \cos Q &= 0^\circ 49' 52,19'' \\ \frac{23^\circ 43' 38,62''}{0^\circ 49' 52,19''} &= \cos Q \\ \mathbf{28^\circ 32' 49,89''} &= \cos Q \end{aligned}$$

b) Mencari nilai koordinat (x, y) , (x', y') dan (x_0, y_0) .

$$\begin{aligned}
1) \text{ Nilai koordinat } (x,y) \\
x &= (\alpha_1 - \alpha_0) \times \cos \delta_1 &= \eta \times \sin Q \\
&= 156^\circ 33' 17,06'' &= 23^\circ 43' 38,62'' \times \\
& & \quad 0^\circ 09' 05,62'' \\
&= \mathbf{156^\circ 33' 17,06''} &= \mathbf{3^\circ 35' 46,14''} \\
y &= (\delta_1 - \delta_0) &= \eta \times \cos Q \\
&= 0^\circ 49' 52,19'' &= 23^\circ 43' 38,62'' \times \\
& & \quad 28^\circ 32' 49,89'' \\
&= \mathbf{0^\circ 49' 52,19''} &= \mathbf{677^\circ 21' 01,72''}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
2) \text{ Nilai koordinat } (x', y') \\
x' &= 156^\circ 33' 17,06'' &= 3^\circ 35' 46,14'' \\
&= \mathbf{76^\circ 29' 00''} \\
y' &= 0^\circ 49' 52,19'' = 677^\circ 21' 01,72'' \\
&= \mathbf{338^\circ 16' 00''}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
3) \text{ Nilai koordinat } (x_0, y_0) \\
x_0 &= x &= x_0 + x't \\
&= 156^\circ 33' 17,06'' &= x_0 + 76^\circ 29' 00'' \times \\
& & \quad 01^\circ 12' 00,00'' \\
&= 156^\circ 33' 17,06'' &= x_0 + 91^\circ 46' 48'' \\
&= 156^\circ 33' 17,06'' &= x_0 \\
& \quad \underline{91^\circ 46' 48''} - & \\
&= \mathbf{64^\circ 46' 29,06''} &= x_0 \\
y_0 &= y &= y_0 + y't \\
&= 677^\circ 21' 01,72'' &= y_0 + 338^\circ 16' 00'' \times \\
& & \quad 01^\circ 12' 00,00'' \\
&= 677^\circ 21' 01,72'' &= y_0 + 405^\circ 55' 12'' \\
&= 677^\circ 21' 01,72'' &= y_0 \\
& \quad \underline{405^\circ 55' 12''} - & \\
&= \mathbf{271^\circ 25' 49,72''} &= y_0
\end{aligned}$$

c) Mencari nilai bantu koreksi waktu gerhana Bulan (M , m , N dan n)

1) Nilai M

$$\begin{aligned}\tan M &= (x' - x_0) \\ &= (76^\circ 29' 00'' - 64^\circ 46' 29,06'') \\ &= 11,70859444 \\ M &= \mathbf{85^\circ}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}2) \text{ Nilai } m &= \sqrt{(76^\circ 29' 00'' - 64^\circ 46' 29,06'')^2} \\ &= \sqrt{(137,0911838)} \\ &= \mathbf{11,70859444}\end{aligned}$$

3) Nilai N

$$\begin{aligned}\tan N &= (y' - y_0) \\ &= (338^\circ 16' 00'' - 271^\circ 25' 49,72'') \\ &= 66,8361889 \\ N &= \mathbf{89^\circ}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}4) \text{ Nilai } n &= \sqrt{(y' - y_0)^2} \\ &= \sqrt{(338^\circ 16' 00'' - 271^\circ 25' 49,72'')^2} \\ &= \sqrt{4467,076147} \\ &= \mathbf{66,8361889}\end{aligned}$$

d) Mencari nilai (ψ)

$$\begin{aligned}m \sin(M - N) &= \eta \sin \psi \\ ((11,70859444 \times \sin 85^\circ) - (11,70859444 \times \sin 89^\circ)) &= \\ (23,72739444 \times \sin \psi) &= \\ ((11,6640397) - (11,70681116)) &= \\ &= (23,72739444 \times \sin \psi) \\ \frac{(-0,04277146)}{23,72739444} &= \sin \psi \\ (-1,802619336 \times 10^{-3}) &= \sin \psi \\ \mathbf{(-0,1032825359)} &= \psi\end{aligned}$$

e) Menghitung Waktu Gerhana Bulan

1) Waktu Kontak Pertama Bulan Masuk Kerucut Umbra

Sebelum menghitung waktu kontak pertama Bulan masuk kerucut umbra, terlebih dahulu cari nilai konstanta (η), dengan rumus:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{51}{50} \times (P + P_1 - S) + S_1 \\ &= \frac{51}{50} \times (00^\circ 00' 00,15'' + 01^\circ 00' 27,06'' - 0^\circ 15' 49,18'') + 0^\circ 16' 28,3'' \\ &= \frac{51}{50} \times (00^\circ 44' 38,03'') + (0^\circ 16' 28,3'') \\ &= \frac{(37^\circ 56' 19,53'')}{50} + (0^\circ 16' 28,3'') \\ &= (0^\circ 45' 31,59'') + (0^\circ 16' 28,3'') \\ &= \mathbf{1^\circ 01' 59,89''} \end{aligned}$$

Setelah nilai konstanta (η) diketahui, maka waktu kontak pertama Bulan masuk kerucut umbra dihitung melalui rumus:

$$\begin{aligned} t_1 &= -\frac{m}{n} \cos(M - N) + \frac{\eta}{n} \times \cos \psi \\ &= -\frac{(11,70859444)}{(66,8361889)} \times \cos(85^\circ - 89^\circ) + \frac{1^\circ 01' 59,89''}{66,8361889} \\ &\quad \times \cos(-0,1032825359) \\ &= ((-0,1751834542) \times (\cos 85^\circ)) - \\ &\quad ((-0,1751834542) \times (\cos 89^\circ)) + \\ &\quad \left(\frac{1,033302778}{66,8361889}\right) \times \cos(-0,1032825359) \\ &= ((-0,01526824407) - (-3,057372844 \times 10^{-3})) \\ &\quad + (0,01546022888) \times (0,9999983753) \\ &= (-0,01221087123) + (0,01546020376) \end{aligned}$$

$$= 0^{\circ} 00' 11,7''$$

Kontak pertama Bulan masuk kerucut umbra:

$$\begin{aligned}(T_0 + t) &= (21^{\circ} 39' 44'' + 0^{\circ} 00' 11,7'') \\ &= 21^{\circ} 40' 20,7''\end{aligned}$$

2) Waktu Kontak Keempat Bulan Keluar Kerucut Umbra

$$\begin{aligned}t_2 &= -\frac{m}{n} \cos(M - N) - \frac{\eta}{n} x \cos \psi \\ &= -\frac{(11,70859444)}{(66,8361889)} x \cos(85^{\circ} - 89^{\circ}) - \frac{1^{\circ} 01' 59,89''}{66,8361889} \\ &\quad x \cos(-0,1032825359) \\ &= ((-0,1751834542)x (\cos 85^{\circ})) - \\ &\quad ((-0,1751834542)x (\cos 89^{\circ})) - \\ &\quad \left(\frac{1,033302778}{66,8361889}\right) x \cos(-0,1032825359) \\ &= ((-0,01526824407) - (-3,057372844 x 10^{-3})) \\ &\quad - (0,01546022888) x (0,9999983753) \\ &= (-0,01221087123) - (0,01546020376) \\ &= -0^{\circ} 01' 39,62''\end{aligned}$$

Kontak terakhir Bulan keluar kerucut umbra:

$$\begin{aligned}(T_0 + t) &= (21^{\circ} 39' 44'' + (-0^{\circ} 01' 39,62'')) \\ &= 0^{\circ} 39' 41,38''\end{aligned}$$

3) Waktu Awal Gerhana Bulan

Sebelum menghitung waktu awal gerhana Bulan, terlebih dahulu cari nilai konstanta (η), dengan rumus:

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{51}{50} \times (P + P_1 - S) - S_1 \\
 &= \frac{51}{50} \times (00^\circ 00' 00,15'' + 01^\circ 00' 27,06'' - 0^\circ 15' 49,18'') - 0^\circ 16' 28,3'' \\
 &= \frac{51}{50} \times (00^\circ 44' 38,03'') - (0^\circ 16' 28,3'') \\
 &= \frac{(37^\circ 56' 19,53'')}{50} - (0^\circ 16' 28,3'') \\
 &= (0^\circ 45' 31,59'') - (0^\circ 16' 28,3'') \\
 &= \mathbf{0^\circ 29' 03,29''} \\
 &= \mathbf{0,4842472222}
 \end{aligned}$$

Setelah nilai konstanta (η) diketahui, maka waktu awal gerhana Bulan dihitung melalui rumus:

$$\begin{aligned}
 t_1 &= -\frac{m}{n} \cos(M - N) + \frac{\eta}{n} \times \cos \psi \\
 &= -\frac{(11,70859444)}{(66,8361889)} \times \cos(85^\circ - 89^\circ) + \\
 &\frac{0,4842472222}{66,8361889} \times \cos(-0,1032825359) \\
 &= ((-0,1751834542) \times (\cos 85^\circ)) - \\
 &\quad ((-0,1751834542) \times (\cos 89^\circ)) + \\
 &\quad ((7,24528478 \times 10^{-3}) \times (0,9999983753)) \\
 &= (-0,01221087123) + (7,245273009 \times 10^{-3}) \\
 &= \mathbf{(-0^\circ 00' 17,88'')}
 \end{aligned}$$

Waktu awal gerhana Bulan:

$$\begin{aligned}
 (T_0 + t) &= (23^\circ 00' 00'' + (-0^\circ 00' 17,88'')) \\
 &= \mathbf{22^\circ 59' 42,12''}
 \end{aligned}$$

4) Waktu Akhir Gerhana Bulan

$$\begin{aligned}
 t_2 &= -\frac{m}{n} \cos(M - N) - \frac{\eta}{n} \times \cos \psi \\
 &= -\frac{(11,70859444)}{(66,8361889)} \times \cos(85^\circ - 89^\circ) - \\
 &\quad \frac{0,4842472222''}{66,8361889} \times \cos(-0,1032825359) \\
 &= ((-0,1751834542)x (\cos 85^\circ)) - \\
 &\quad ((-0,1751834542)x (\cos 89^\circ)) - \\
 &\quad \left(\frac{0,4842472222}{66,8361889}\right) \times \cos(-0,1032825359) \\
 &= (-0,01221087123) - (7,245273009 \times 10^{-3}) \\
 &= (-0^\circ 01' 10,04'')
 \end{aligned}$$

Waktu akhir gerhana Bulan:

$$\begin{aligned}
 (T_0 + t) &= (00^\circ 15' 20'' + (-0^\circ 01' 10,04'')) \\
 &= 0^\circ 14' 09,96''
 \end{aligned}$$

B. Akurasi Hasil Penyederhanaan Algoritma Penentuan Gerhana Bulan dalam Astronomi Bola

Pada pengujian akurasi, maka diperlukan adanya sebuah indikator sebagai tolok ukur penentuan nilai keabsahan validasi sebuah perhitungan. Berdasarkan pada pernyataan tersebut, maka hasil algoritma astronomi bola dalam penentuan waktu gerhana Bulan akan dikomparasikan dengan data gerhana Bulan milik NASA. NASA dijadikan sebagai tolok ukur dalam penelitian ini, sebab NASA telah diakui keabsahan datanya oleh dunia internasional dalam hal perhitungan data astronomis. Selain itu, dalam memperhitungkan data serta pengerjaan proyeknya, NASA berada dalam pengawasan langsung federasi Amerika Serikat serta sistem CADRe, yang merupakan komponen penting NASA dalam penatagunaan program yang

sedang berlangsung dan bertanggungjawab pada pemerintah Amerika Serikat dalam hal proyek antariksa.

Berikut hasil komparasi antara hasil algoritma astronomi bola dengan data NASA dalam penentuan waktu gerhana Bulan:

(Tabel 4.4)
(Komparasi Waktu Gerhana Bulan)

Waktu Gerhana Bulan				
Algoritma Astronomi Bola		<i>Database NASA</i> ¹⁰⁸		Selisih Waktu
Kontak Pertama	21° 40' 20,7"	Kontak Pertama	21° 32' 07"	0° 08' 13,7" (lebih awal)
Awal Gerhana	22° 59' 42,12"	Awal Gerhana	22° 29' 03"	0° 30' 39,12" (lebih awal)
Kontak Terakhir	0° 39' 41,38"	Kontak Terakhir	0° 50' 48"	0° 11' 6,62" (lebih awal)
Akhir Gerhana	0° 14' 09,96"	Akhir Gerhana	0° 55' 07"	0° 40' 57,04" (lebih awal)

Pada tabel tersebut terlihat jelas, bahwa terdapat perbedaan yang signifikan dalam penentuan waktu gerhana Bulan. Perbedaan dalam selisih waktu tersebut, berkisar antara hampir 8 menit hingga 40 menit (lebih awal). Sehingga, dalam hal ini algoritma astronomi bola dalam penentuan gerhana Matahari dapat dikatakan sebagai metode perhitungan gerhana Bulan yang akurat. Hal ini disebabkan oleh selisih yang dihasilkan tidak lebih lambat 3 menit dari standar akurasi NASA, Bao Lin Liu serta Alan D. Fiala.

¹⁰⁸ Lihat Lampiran I. Jean Meeus, "Total Lunar Eclipse of 2022 May 16" (Greenbelt, Maryland, 2013), 1, <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/LEplot/LEplot2001/LE2022May16T.pdf>.

Berikut merupakan perbandingan kenampakan gerhana Bulan antara data algoritma astronomi bola dengan data NASA;

Awal Gerhana	
	
<p>(Gambar 4.3) Kenampakan Gerhana Bulan 15 Mei 2022 pada pukul 21:40:20 (Sumber: Aplikasi Stellarium 0.22.3)</p>	<p>(Gambar 4.4) Kenampakan Gerhana Bulan 15 Mei 2022 pada pukul 21:32:07 (Sumber: Aplikasi Stellarium 0.22.3)</p>

Kontak Pertama	
	
<p>(Gambar 4.5) Kenampakan Gerhana Bulan 15 Mei 2022 pada pukul 22:59:42 (Sumber: Aplikasi Stellarium 0.22.3)</p>	<p>(Gambar 4.6) Kenampakan Gerhana Bulan 15 Mei 2022 pada pukul 22:29:03 (Sumber: Aplikasi Stellarium 0.22.3)</p>

Kontak Terakhir



(Gambar 4.7) Kenampakan Gerhana Bulan 15 Mei 2022 pada pukul 0:39:41
(Sumber: Aplikasi Stellarium 0.22.3)



(Gambar 4.8) Kenampakan Gerhana Bulan 15 Mei 2022 pada pukul 0:50:48
(Sumber: Aplikasi Stellarium 0.22.3)

Akhir Gerhana



(Gambar 4.9) Kenampakan Gerhana Bulan 15 Mei 2022 pada pukul 0:14:10
(Sumber: Aplikasi Stellarium 0.22.3)



(Gambar 4.10) Kenampakan Gerhana Bulan 15 Mei 2022 pada pukul 0:55:07
(Sumber: Aplikasi Stellarium 0.22.3)

Penyederhanaan algoritma penentuan waktu gerhana Bulan dalam astronomi bola pada penelitian ini, memiliki beberapa kelebihan:

1. Penyederhanaan algoritma penentuan waktu gerhana Bulan dalam astronomi bola, menjadi semakin mudah dan tidak menghasilkan perhitungan yang rancu.
2. Penyederhanaan algoritma penentuan waktu gerhana Bulan dalam astronomi bola akan mempersingkat waktu selama tahapan perhitungan serta tidak memerlukan banyak perhitungan turunan di dalamnya.
3. Algoritma yang sudah disederhanakan dalam penelitian ini, lebih banyak memberikan informasi secara detail pada setiap perhitungannya yang terkadang tidak ditemukan dalam algoritma astronomi bola, seperti halnya menghitung inklinasi serta besaran sudut garis lintasan nodal Bulan.
4. Algoritma yang telah disederhanakan dapat menyajikan hasil perhitungan yang lebih rinci dan terhindar dari kerancuan data.

Adapun kekurangan yang terdapat dalam penelitian penyederhanaan algoritma penentuan waktu gerhana Bulan dalam astronomi bola ini adalah;

1. Meski telah disederhanakan, namun belum memiliki sistem perhitungan yang berbentuk singkat. Masih diperlukan beberapa perhitungan tambahan yang digunakan sebagai bahan ketelitian rumus perhitungan lainnya.
2. Meski terbilang akurat, hasil perhitungannya belum mendekati data yang dimiliki NASA. Hasil yang dikeluarkan masih terdapat jarak selisih lebih dari 3 menit. Bahkan terkadang menghasilkan waktu yang terbilang awal jika dibandingkan dengan hasil perhitungan gerhana Bulan dari NASA.

3. Masih dibutuhkan banyak ketelitian serta pemilihan rumus yang tepat dalam pengaplikasian algoritmanya.

BAB V

PENUTUP

A. Simpulan

Berdasarkan pada pemaparan tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Penyederhanaan algoritma astronomi bola dalam penentuan waktu gerhana Bulan dapat dilakukan sebagaimana halnya perhitungan astronomi bola yang telah ada sebelumnya. Namun dalam hal ini, penyederhanaan algoritma astronomi bola dalam penentuan gerhana Bulan dilakukan melalui beberapa pendekatan rumus formula geometri dan aritmatika. Pemilihan algoritma yang tepat, juga berpengaruh pada *output* yang dihasilkan melalui beberapa tahapan perhitungan sebelumnya. Sehingga, perlu adanya kehati-hatian serta ketelitian dalam penyederhanaan algoritma penentuan waktu gerhana Bulan tersebut. Penyederhanaan algoritma astronomi bola dalam penentuan waktu gerhana Bulan dilakukan secara runtut dan berkala. Penyederhanaan pada algoritma penentuan gerhana Bulan tersebut, tidak dapat serta merta menyajikan data yang terbilang praktis dalam tahapan perhitungannya. Sebagaimana pada ciri khas algoritma astronomi bola pada umumnya, algoritma astronomi bola dalam penentuan waktu gerhana Bulan tersebut juga masih terbilang dapat menimbulkan ‘efek domino’ yang cukup signifikan. *Syntax Error* masih dapat ditemukan dalam tahapan algoritmanya, meski bentuk algoritma nya sudah dibentuk dalam tahapan yang sangat sederhana.
2. Berdasarkan hasil perhitungan algoritma astronomi bola penentuan gerhana Bulan, jika dikomparasikan dengan hasil data milik NASA (yang telah diakui dunia internasional

perihal keakuratan datanya), maka dapat dikategorikan sebagai perhitungan yang akurat.

B. Saran

1. Prosedur penyederhanaan dalam algoritma penentuan gerhana Bulan dalam astronomi bola, dilakukan dengan cara:
 - a. Tentukan letak sudut Bulan pada garis edar dan titik nodalnya, kemudian lakukan perhitungan nilai garis edar maupun bayangannya menggunakan prinsip trigonometri.
 - b. Rumus yang digunakan disesuaikan dengan tipikal gerhana Bulan yang akan dicari.
 - c. Data-data yang digunakan dalam perhitungan, terlebih dahulu dilakukan interpolasi untuk menghindari kerancuan data dalam perhitungan.
2. Meski telah dibentuk dalam sistem algoritma yang sederhana, Algoritma astronomi bola penentuan waktu gerhana Bulan dalam penelitian ini, masih sangat diperlukan adanya ketelitian dalam memasukkan data serta perhitungannya.
3. Algoritma astronomi bola dapat dijadikan sebagai sumber referensi alternatif dalam penentuan waktu gerhana Bulan, namun juga didampingi dengan literatur lainnya yang memiliki perhitungan algoritma yang lebih efisien serta memberikan data-data yang praktis.
4. Perlu adanya kajian lebih lanjut dalam hal astronomi bola, khususnya dalam penentuan waktu gerhana Bulan.

DAFTAR PUSTAKA

Buku:

Abdussamad, Zuchri. *Metode Penelitian Kualitatif*. Edited by Patta Rapanna. I. CV. Syakir Media Press, 2021.

Abubakar, Rifa'i. *Pengantar Metodologi Penelitian*. Yogyakarta: SUKA-Press, 2021.

Bashori, Muh. Hadi. *Penanggalan Islam: Peradaban Tanpa Penanggalan, Inikah Pilihan Kita?* Jakarta: PT Elex Media Komputindo, 2013.

Espenak, Fred, and Jean Meeus. "Five Millennium Catalog of Lunar Eclipse: -1999 to +3000 (2000 BCE to 3000 CE)." Greenbelt, Maryland, 2009.

Izzuddin, Ahmad. *Ilmu Falak Praktis*. Semarang: Pustaka Rizki Putra, 2012.

———. *Sistem Penanggalan*. Edited by Rezha Candra Yudhistira. I. Semarang: CV. Karya Abad Jaya, 2015.

Kadir, A. *Formula Baru Ilmu Falak*. Jakarta: Amzah, 2012.

Karttunen, Hannu, and Pekka Kröger. *Fundamental Astronomy*.
New York: Springer, 2007.

Khazin, Muhyiddin. *Ilmu Falak Dalam Teori Dan Praktik*.
Yogyakarta: BUANA PUSTAKA, n.d.

———. *Kamus Ilmu Falak*. Jogjakarta: BUANA PUSTAKA,
2005.

Depa, 2002.

Kidder, Stanley Q., and Thonas H. *Satellite Meteorology*. United
States of America: Academic Press Limited, 1995.

Kovalevsky, Jean, and P. Kenneth Seidelmann. *Fundamentals of
Astrometry. Fundamentals of Astrometry*, 2004.
<https://doi.org/10.1017/cbo9781139106832>.

Mahalli, Ahmad Mudjab. *Hadits-Hadits Muttafaq 'Alaih*. Jakarta:
Kencana, 2013.

Ngatno. *Buku Ajar Metodologi Penelitian Bisnis*. Semarang: CV.

Indoprinting, 2015.

Placide, Dzeugang. *Introduction to Computer Software*. Republic of Came: PCHS Mankon, 2014.

Prinet, Dominique F. "Measure of the Sun's Altitude: Ho." In *Celestial Navigation: With the Sight Reduction Tables Rom Pub. No. 249*, First Edit., 216. Victoria: FriesenPress, 2015.

Seidelmann, P. Kenneth. *Explanatory Supplement to the Astronomical*. California: University Science Book, 2006.

Smart, W. M. *Textbook on Spherical Astronomy. Textbook on Spherical Astronomy*, 1977.
<https://doi.org/10.1017/cbo9781139167574>.

Suryana. *Metodologi Penelitian*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia, 2020.

Tim Observatorium Bosscha. *Perjalanan Mengenal Astronomi*. Edited by Adriana Wisni Ariasti, Fajar Dirghantara, and Hakim Luthfi Malasan. Bandung: Institut Teknologi

Bandung, 1995.

Tim Penyusun. *Panduan Penulisan Karya Tulis Ilmiah*. Semarang: Pascasarjana UIN Walisongo, 2018.

Zein, Ibrahim, and Ahmed El-Wakil. "On the Origins of the Hijrī Calendar: A Multi-Faceted Perspective Based on the Covenants of the Prophet and Specific Date Verification." *Religions* 12, no. 1 (2021). <https://doi.org/10.3390/rel12010042>.

Zuluaga, Jorge I., Juan C. Figueroa, and Ignacio Ferrin. "The Simplest Method to Measure the Geocentric Lunar Dstance: A Case of Citizen Science." *American Journal of Physics*, 2014, 1–16. <https://arxiv.org/abs/1405.4580>.

E-Book:

Chambat, Frédéric, and Bernard Valette. "Mean Radius, Mass and Inertia for Reference Earth Models." *Physics Of The Earth And Planetary Interiors* 124 (2001): 237–53. http://frederic.chambat.free.fr/geophy/inertie_pepi01/chambat

_valette_publie01_with_errata.pdf.pdf.

Jensen, Christian S., and Richard T. Snodgrass. *Encyclopedia of Database Systems*. Edited by Ling Liu and M. Tamer Ozsü. Second Edi. New York: Springer, 2018. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8265-9_1423.

Johnson, Lauren. "Trigonometry: An Overview of Important Topics." Chicago, Illinois, 2016. <https://opus.govst.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1176&context=capstones>.

Johnson, Rob. "Spherical Trigonometry," n.d.

Meeus, Jean. "The Mean Distance from the Earth to the Moon." *Journal of the British Astronomical Association* 129 (2019): 27–28. <http://www.almanak.he.is/meeus.pdf>.

———. "Total Lunar Eclipse of 2022 May 16." Greenbelt, Maryland, 2013. <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/LEplot/LEplot2001/LE2022May16T.pdf>.

Murray, Daniel A. *Spherical Trigonometry*. New York: Longmans, Green, And CO., 1908.

https://www.wilbourhall.org/pdfs/Spherical_Trigonometry2.pdf.

Quebec: International Civil Aciation Organization, 2002.

https://www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2014/ECA_RAIM/REF08-Doc9674.pdf.

Tim Politeknik Elektronika Negeri Surabaya. “Sistem Informasi

Geografis: Sistem Koordinat Peta,” 51. Surabaya: Politeknik

Elektronika Negeri Surabaya, 2017.

[http://arna.lecturer.pens.ac.id/Modul_SIG/07 Sistem Koordinat Peta.pdf](http://arna.lecturer.pens.ac.id/Modul_SIG/07_Sistem_Koordinat_Peta.pdf).

Todhunter, I. *Spherical Trigonometry*. Fifth Edit. London:

Macmillan And Co., 1886.

<https://www.gutenberg.org/files/19770/19770-pdf.pdf>.

Toomer, G.J. *Ptolemy's Almagest*. I. London: Gerald Duckworth

& Co. Ltd., 1984.

https://classicalliberalarts.com/resources/PTOLEMY_ALMA_GEST_ENGLISH.pdf.

Utomo, Rinto Saputro. "Pengertian Baris Aritmatika," n.d.

Yoshiwara, Katherine. *Trigonometry*. Los Angeles: Pierce College, 2020. <https://yoshiwarabooks.org/trig/trig.pdf>.

"Principle of Geodesy." In *World Geodetic System-1984 (WGS-84) Manual*, Second Edi., 138.

Makalah Kuliah:

Koesdiono. "Astronomi Bola 1." edited by M. Gamal. Semarang: UNDIP Geodetic Engineering

Nugraha, Arief Laila. "Materi Astronomi Bola 2." In *Kuliah Astronomi Bola 2*, 28. Semarang: UNDIP Geodetic Engineering Departement, 2015.

Jurnal:

Alimuddin. "Gerhana Bulan Perspektif Astronomi." *Al Daulah*, no. 1 (2014).

Amalia, Rizka, and Titin Suprihatin. “Tinjauan Ilmu Falak Terkait Fenomena Gerhana Bulan Penumbra Terhadap Kebijakan Salat Gerhana Pada Ormas Islam.” *Journal Riset Keluarga Hukum Islam*, no. 2 (2021).
<https://doi.org/10.29313/jrhki.v1i2.430>.

Azmi, Muhammad Fariz. “Prediksi Pergerakan Bayangan Bumi Saat Terjadi Gerhana Bulan Menggunakan Ephemeris Hisab Rukyat.” *El Falaky: Jurnal Ilmu Falak*, no. 2 (2019).

Bastoni, M. “Accuracy of Solar Eclipse Calculation Algorithm Based on Jet Propulsion Laboratory Data Nasa.” *Al-Ahkam* 30, no. 1 (2020): 95–118.
<https://doi.org/https://dx.doi.org/10.21580/ahkam.2020.30.1.5036>.

Demers, Michael. “Cartesian Coordinate System.” *The International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology*, 2014, 19.
<https://doi.org/10.1002/9781118786352.wbieg0221>.

Demouth, Julian. "Between Umbra and Penumbra." *Proc. 23th ACM Sympos: Computational Geometry*, 2007.
<https://doi.org/10.1145/1247069.1247117>.

Fahmi, Moelki. "Kajian Perangkat Hisab Rukyat Nusantara (Rubu' Mujayyab Dan Astrolabe Dalam Hisab Awal Waktu Salat)." *Bimas Islam*, no. 1 (2015).

Farhana, Fatin. "Geocentric Theory," 2011.
<https://www.scribd.com/document/62266351/Geocentric-Theory>.

Hidayat, Ehsan. "Penentuan Jumlah Gerhana Bulan Dengan Argumen Lintang Bulan Dan Teori Aritmatika." *Miyah: Jurnal Studi Islam*, no. 1 (2019).

"Introduction to Trigonometry." In *Mathematics*, 173–94. New Delhi: National Council of Educational Research and Training, 2020. epathshala.nic.in.

Ismail. "Hisab Urfi Gerhana Matahari Dan Gerhana Bulan." *Al Marshad: Jurnal Astronomi Islam Dan Ilmu-Ilmu Berkaitan*,

no. 1 (2020). <https://doi.org/10.30596/jam.v%vi%i.4411>.

Izzuddin, “Syaiikh Zubair Al-Jailany Dalam Sejarah Hisab Di Indonesia.” *Al Marshad: Jurnal Astronomi Islam Dan Ilmu-Ilmu Berkaitan*, no. 2 (2016).
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.30596%2Fjam.v2i2.2532>.

Jayusman. “Pemikiran Ilmu Falak Kyai Noor Ahmad SS.” *Ahkam*, no. 1 (2014).

Raharto, Moedji, and Novi Sopwan. “Fenomena Gerhana Bulan Dan Gerhana Matahari Dalam Sistem Kalender,” 2019.

Raisal, Abu Yazid, Hariyadi Putraga, Nuhammad Hidayat, and Arwin Juli Rakhmadi. “Analisis Pengaruh Aphelion Dan Perihelion Terhadap Suhu Menggunakan Weather Station.” *Jurnal Environmental Science* 3, no. 2 (2021): 121–27.

<https://doi.org/https://doi.org/10.35580/jes.v3i2.19996>.

Rodríguez, Omar Hernández, and Jorge M. López Fernández. “Trigonometry in Three Steps,” n.d.

https://www.researchgate.net/publication/335307973_Trigonometry_in_Thre_Steps.

Shobri, M. Teguh. “Kitab Sullam An-Nayyirain Dalam Tinjauan Astronomi Modern.” *An Nisa'*, no. 2 (2014).

Smith, Brett. *A Quick Guide to GPL*. Free Software Foundation, Inc., 2007.

Suprpto, N, and V K Yanti. “The Understanding of Undergraduate Physics Students Regarding The Super Blood Moon Total Lunar Eclipse Phenomenon May 26, 2021.” *Journal of Physics: Conference Series 2049*, 2021. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2049/1/012004>.

Wahyudin, Dede. “Telaah Sejarah Kitab Klasik: Sebuah Ikhtiar Untuk Memahami Khazanah Ilmu Falak.” *Model Pengembangan Hukum Islam*, 2018.

Meindl, Michael, Gerhard Beutler, Daniela Thaller, Rolf Dach, and Adrian Jäggi. “Geocenter Coordinates Estimated from GNSS Data as Viewed by Perturbation Theory.” In *Advances*

Space Research. Bern: Astronomical Institute, University of Bern, 2012.

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2012.10.026>.

Mujab, Sayful. “Gerhana: Antara Mitos, Sains Dan Islam.”

Yudisia: Jurnal Pemikiran Hukum Dan Hukum Islam, no. 1 (2014). <https://doi.org/10.21043/yudisia.v5i1.700>.

Putri, Hasna Tuddar. “Hisab Urfi Syekh Abbas Kutakarang:

Kajian Etnoastronomi Dalam Penentuan Awal Bulan Hijriah.” *Ar Raniry* 21, no. 1 (2019): 52–72.

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22373/jms.v21i1.6476>.

Website:

Adams, Jennifer. “What Is NASA?” NASA Goddard Space Flight

Center, 2021. <https://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-nasa-58.html>.

Espenak, Fred. “Eclipses and The Saros.” NASA Eclipse Website,

2012. <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEsaros/SEsaros.html>.

“MeerKAT Radio Telescope.” National Research Foundation,
2020. <https://www.sarao.ac.za/gallery/meerkat/>.

Stellarium. “Stellarium,” n.d. <http://stellarium.org/>.

Aplikasi:

Stellarium-0.22.3

WinHisab 2010

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Fiki Nuafi Qurrota Aini
Tempat, Tanggal Lahir : Semarang, 12 Mei 1996
Alamat : Jalan Tanggul Mas Timur, Gang VIII, No.273, RT08/RW09, Kel. Panggung Lor, Kec.Semarang Utara, Kota Semarang, 50177
Email : Ichisatssuga@gmail.com

Riwayat Pendidikan

A. Pendidikan Formal

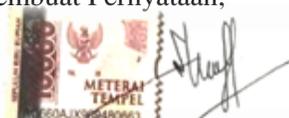
1. TK Aisyiyah Bustanul Athfal 35 Semarang (lulus tahun 2002)
2. MI Al Khoiriyah 2 Semarang (lulus tahun 2008)
3. MTs Futuhiyyah 2 Mranggen (lulus tahun 2011)
4. MA NU Banat Kudus (lulus tahun 2014)
5. UIN Walisongo Semarang (lulus tahun 2019)

B. Pendidikan Non Formal

1. TPQ An-Nur Semarang (1999-2008)
2. Lembaga Pendidikan Indonesia-Amerika (2007-2008)
3. Pondok Pesantren Putri Al-Badriyyah Mranggen (2009-2011)
4. Pondok Pesantren Yanabi'ul 'Ulum wa Rahmah Kudus (2012-2014)

Semarang, 13 Desember 2022

Pembuat Pernyataan,



Fiki Nu'afi Qurrota Aini

NIM. 1802048007

LAMPIRAN I

Total Lunar Eclipse of 2022 May 16

Ecliptic Conjunction = 04:15:18.8 TD (= 04:14:06.0 UT)
 Greatest Eclipse = 04:12:41.6 TD (= 04:11:28.8 UT)

Penumbral Magnitude = 2.3726 P. Radius = 1.2854° Gamma = -0.2532
 Umbral Magnitude = 1.4137 U. Radius = 0.7580° Axis = 0.2555°

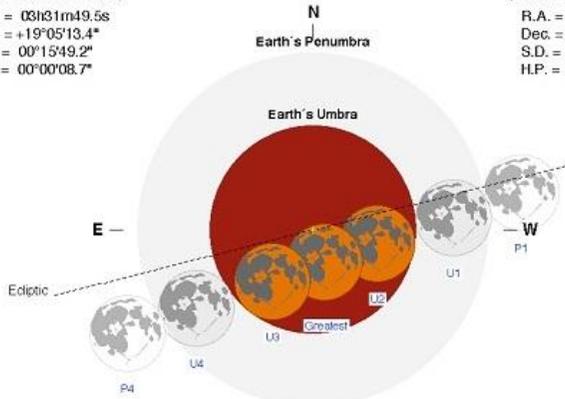
Saros Series = 131 Member = 34 of 72

Sun at Greatest Eclipse
 (Geocentric Coordinates)

R.A. = 03h31m49.5s
 Dec. = +19°05'13.4"
 S.D. = 00°15'49.2"
 H.P. = 00°00'08.7"

Moon at Greatest Eclipse
 (Geocentric Coordinates)

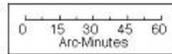
R.A. = 15h31m27.8s
 Dec. = -19°19'40.4"
 S.D. = 00°16'29.9"
 H.P. = 01°00'33.1"



Eclipse Durations

Penumbral = 05h18m40s
 Umbral = 03h27m14s
 Total = 01h24m53s

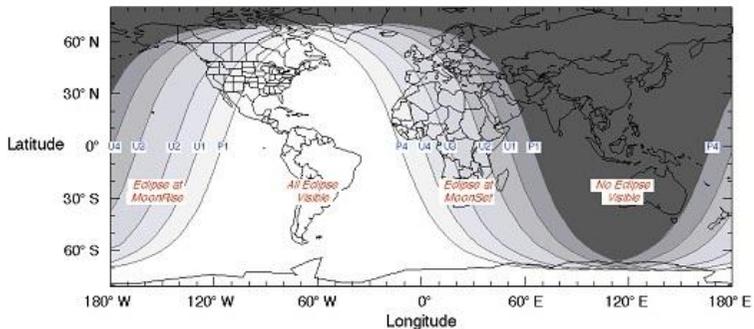
$\Delta T = 73$ s
 Rule = CdT (Danjon)
 Eph. = VSOP87/ELP2000-85



F. Espenak, NASA's GSFC
eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html

Eclipse Contacts

P1 = 01:32:07 UT
 U1 = 02:27:53 UT
 U2 = 03:29:03 UT
 U3 = 04:53:56 UT
 U4 = 05:55:07 UT
 P4 = 06:50:48 UT



2009 Apr 29

(Sumber: Jean Meus, "Total Lunar Eclipse of 2022 May 16")

LAMPIRAN II

A. Data Ephemeris Matahari

The screenshot shows the 'Win Hisab 2010 v2.1.2 - (Data Matahari)' application. The interface includes a sidebar with icons for 'Perhitungan', 'Paket', 'Pengukuran', 'Layar', 'Info Bantuan', and 'Kalkulator'. The main window displays input fields for 'Tipe Kalender' (Masehi), 'Tipe Waktu' (Per Jam), and 'Nilai Input' (Date: 15 Mei 2022, Time: 22:22:55). A 'Process' button is visible. Below the input fields is a table with the following data:

Tanggal Masehi	Jam	Julian Date	Apparent Ecliptic Longitude	Apparent Ecliptic Latitude	Apparent Right Ascension	Apparent Declination	True Geocentric Distance	Semi Diameter	True Obliquity	Equation Of Time	Mutation In Longitude	Greenwich Sidereal Time
15 Mei 2022 22:00:00	2459715.4	59° 12' 38.31"	0.00°	52° 42' 03.04"	59° 01' 38.34"	19° 02' 16.04"	1.010026	15.49.27"	23° 26' 16.04"	3m 37.89 s	0° 00' 14.86"	203° 23' 36.18"
15 Mei 2022 23:00:00	2459715.4	59° 16' 22.09"	0.04°	52° 44' 31.48"	59° 02' 13.16"	19° 02' 13.16"	1.0100103	15.49.27"	23° 26' 16.04"	3m 37.85 s	0° 00' 14.85"	218° 26' 04.16"

(Sumber: Aplikasi Win Hisab 2010)

B. Data Ephemeris Bulan

The screenshot shows the 'Win Hisab 2010 v2.1.2 - (Data Bulan)' application. The interface is similar to the solar ephemeris version, with input fields for 'Tipe Kalender' (Masehi), 'Tipe Waktu' (Per Jam), and 'Nilai Input' (Date: 15 Mei 2022, Time: 22:22:55). A 'Process' button is visible. Below the input fields is a table with the following data:

Tanggal Masehi	Jam	Julian Date	Apparent Longitude	Apparent Latitude	Apparent Right Ascension	Apparent Declination	Horizontal Parallax	Semi Diameter	Angle Bright Limb	Fraction Illumination
15 Mei 2022 22:00:00	2459715.4	231° 27' 37.06"	0° 00' 58.26"	229° 03' 45.50"	-18° 01' 51.75"	1° 02' 26.15"	16' 28.05"	208° 40' 53.83"	0.99902	
15 Mei 2022 23:00:00	2459715.4	232° 04' 28.50"	0° 02' 30.70"	229° 40' 18.39"	-18° 14' 42.70"	1° 00' 27.34"	16' 28.38"	205° 42' 43.14"	0.99931	

(Sumber: Aplikasi Win Hisab 2010)