

**PERHITUNGAN GERHANA MATAHARI METODE
BESSEL DENGAN MENGGUNAKAN DATA *SUN AND
MOON EPHEMERIS* DALAM *SOFTWARE ACCURATE
TIMES***

SKRIPSI

Oleh
Muhammad Raafi Fauzani
NIM. C06218007



Universitas Islam Negeri Sunan Ampel
Fakultas Syariah dan Hukum
Jurusan Hukum Perdata Islam
Program Studi Ilmu Falak
Surabaya
2022

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Raafi Fauzani
NIM : C06218007
Fakultas/Jurusan/Prodi : Syariah dan Hukum/ Hukum Perdata Islam/
Ilmu Falak
Judul Skripsi : Perhitungan Gerhana Matahari Metode *Bessel*
Dengan Menggunakan Data *Sun And Moon*
Ephemeris Dalam *Software Accurate Times*

Menyatakan bahwa skripsi ini secara keseluruhan adalah hasil penelitian/ karya saya sendiri, kecuali pada bagian-bagian yang dirujuk sumbernya.

Surabaya, 22 Juli 2022

Saya yang menyatakan,



Muhammad Raafi Fauzani
NIM. C06218007

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi yang ditulis oleh Muhammad Raafi Fauzani NIM. C06218007 ini telah diperiksa dan disetujui untuk dimunaqasahkan.

Surabaya, 22 Juli 2022

Pembimbing,



Agus Solikin, M.S.I
NIP. 198608162015031003

PENGESAHAN

Skripsi yang ditulis oleh Muhammad Raafi Fauzani NIM. C06218007 ini telah dipertahankan didepan sidang Munaqasah Skripsi Fakultas Syariah dan Hukum UIN Sunan Ampel Surabaya pada hari Rabu 10 Agustus 2022 dan dapat diterima sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan program sarjana strata satu dalam Ilmu Syariah.

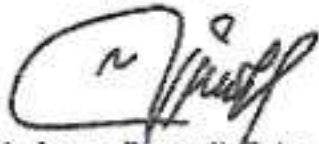
Majelis Munaqasah Skripsi

Penguji I,




Agus Solikin, M.S.I
NIP. 198608162015031003

Penguji II,



Dr. H. Moh. Imron Rosyadi, S.Ag., MH
NIP. 197704152006041002

Penguji III,



Siti Tatmainul Qurub, SHI., M.S.I
NIP. 198912292015032007

Penguji IV,



Zainatul Ilmiyah, MH
NIP. 199302152020122020

Surabaya, 10 Agustus 2022

Menegaskan,

Fakultas Syariah dan Hukum
Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya
Dekan,



Dr. Hj. Saqiyah Musyafa'ah, M.Ag.
NIP. 196303271999032001



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA
PERPUSTAKAAN

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031-8431972 Fax. 031-8413300 E-mail:
perpus@uinsby.ac.id

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Muhammad Raafi Fauzani
NIM : C06218007
Fakultas/Jurusan : Syariah dan Hukum / Ilmu Falak
E-mail : myciraafi@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah:

Skripsi Tesis Disertasi Lain-lain (.....)

Yang berjudul:

Perhitungan Gerhana Matahari Metode *Bessel* Dengan Menggunakan Data *Sun And Moon Ephemeris* Dalam *Software Accurate Times*

Beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikan, dan menampilkan/ mempublikasikan di internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan/atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 25 Agustus 2022

Penulis

Muhammad Raafi Fauzani

ABSTRAK

Skripsi ini menjawab dua rumusan masalah. Pertama, Bagaimana langkah-langkah perhitungan gerhana Matahari metode Bessel dengan menggunakan data *Sun and Moon Ephemeris* dalam *Software Accurate Times*. Kedua, bagaimana hasil perhitungan gerhana Matahari metode Bessel dengan menggunakan data *Sun and Moon Ephemeris* dalam *Software Accurate Times*.

Metode penelitian yang digunakan yaitu kualitatif dengan jenis penelitian studi pustaka. Data primer yang digunakan oleh penulis ialah buku “Algoritma Gerhana” dan Aplikasi *Accurate Times*. Sedangkan data sekunder penulis menggunakan buku, artikel, website, jurnal, skripsi yang mengkaji terkait gerhana Matahari. Teknik pengumpulan data yang di gunakan adalah menggunakan telaah dokumentasi. Analisis data yang digunakan adalah kualitatif deskriptif.

Hasil penelitian ini menyimpulkan. Pertama, langkah perhitungan gerhana Matahari metode Bessel dengan menggunakan data *sun and moon ephemeris* dalam *software Accurate Times* yaitu dimulai dengan mencari jam waktu referensi (T_0) ketika fraksi iluminasi Bulan memiliki nilai yang sangat kecil di waktu GMT. Kemudian mengambil data Matahari dan Bulan dalam *software Accurate Times*, mencari sudut waktu *ephemeris*, menghitung elemen Bessel, menghitung nilai koordinat *rectangular* pengamat, menghitung koordinat sudut pengamat, menghitung koreksi waktu puncak gerhana Matahari, menghitung koreksi waktu puncak gerhana Matahari pengulangan pertama hingga ketiga, Menghitung waktu tengah gerhana, menghitung koreksi awal dan akhir fase cincin, menghitung waktu awal dan akhir fase cincin, menghitung koreksi untuk awal dan akhir gerhana menggunakan rumus pengulangan atau iterasi, menghitung koreksi awal gerhana (kpl) pengulangan pertama hingga ketiga, menghitung jam awal gerhana, menghitung koreksi akhir gerhana (kpr) pengulangan pertama hingga ketiga, menghitung jam akhir gerhana. Hasil perhitungan jadwal gerhana Matahari metode Bessel dengan dengan menggunakan data *sun and moon ephemeris* dalam *software accurate times* apabila dibandingkan dengan hasil jadwal yang dihitung oleh NASA dalam Javascript Solar Eclipse Explorer menghasilkan hasil yang akurat. Hasil jadwal gerhana dengan perhitungan data *sun and moon ephemeris* dalam *software accurate times* untuk kasus 15 gerhana untuk beberapa Kota di Indonesia memiliki rata-rata selisih sebesar 2 detik.

Selaras dengan kesimpulan penulis merekomendasikan untuk mengambil data dari data *sun and moon ephemeris* dalam *software accurate times*, mengingat hasil jadwal gerhana Matahari yang dihasilkan dengan beracuan pada data tersebut terbukti akurat. Jadwal dari perhitungan gerhana Matahari menggunakan data *sun and moon ephemeris* dalam *software accurate times* dapat dilakukan penelitian lanjutan dengan melakukan uji verifikasi atas pengamatan kondisi gerhana Matahari di masa mendatang.

DAFTAR ISI

SAMPUL DALAM	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PERSETUJUAN PEMBIMBING	iii
PENGESAHAN	iv
MOTTO	v
ABSTRAK.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TRANSLITERASI	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Identifikasi Masalah dan Batasan Masalah.....	7
C. Rumusan Masalah.....	8
D. Kajian Pustaka.....	8
E. Tujuan Penelitian.....	11
F. Kegunaan Hasil Penelitian	11
G. Definisi Operasional	12
H. Metode Penelitian.....	15
I. Sistematika Penulisan	19
BAB II GERHANA MATAHARI DALAM KAJIAN SYARIAT ISLAM DAN ASTRONOMI BESERTA DATA <i>SUN AND MOON EPHEMERIS</i> DALAM <i>SOFTWARE ACCURATE TIMES</i> UNTUK PERHITUNGAN <i>BESSEL</i>	22
A. Definisi Gerhana Matahari	22
B. Dasar Hukum Gerhana Matahari.....	24
C. Gerhana Matahari dalam Kajian Astronomi	28

D. Konsep Gerhana Matahari Metode Bessel.....	33
BAB III <i>SUN AND MOON EPHEMERIS</i> DALAM <i>SOFTWARE ACCURATE TIMES</i> DAN ALGORITMA GERHANA MATAHARI BESSEL MENGGUNAKAN DATA <i>SUN AND MOON EPHEMERIS</i> DALAM <i>SOFTWARE ACCURATE TIMES</i>	68
A. Gambaran Umum <i>Sun And Moon Ephemeris</i> Dalam <i>Software Accurate Times</i>	68
B. Data Perhitungan Gerhana Matahari Bessel Menggunakan Data <i>Sun And Moon Ephemeris</i> Dalam <i>Software Accurate Times</i>	52
BAB IV PERHITUNGAN GERHANA MATAHARI METODE <i>BESSEL</i> DENGAN MENGGUNAKAN DATA <i>SUN AND MOON EPHEMERIS</i> DALAM <i>SOFTWARE ACCURATE TIMES</i>	55
A. Langkah-Langkah Perhitungan Gerhana Matahari Metode Bessel dengan Menggunakan Data <i>Sun and Moon Ephemeris</i> Dalam <i>Software Accurate Times</i>	55
B. Hasil Perhitungan Gerhana Matahari Metode Bessel dengan Menggunakan Data <i>Sun and Moon Ephemeris</i> Dalam <i>Software Accurate Times</i>	; 9
BAB V PENUTUP	306
A. Kesimpulan.....	306
B. Saran	307

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Kota yang dihitung berdasarkan 15 gerhana	53
Tabel 3.2. Data-data yang digunakan untuk perhitungan 15 gerhana Matahari	56
Tabel 4.1. Kesimpulan fase-fase gerhana Matahari cincin 26 Desember 2019 yang dilihat dari kota Batam	74
Tabel 4.2. Kesimpulan fase-fase gerhana Matahari hybrid 20 April 2023 yang dilihat dari kota Surabaya	88
Tabel 4.3. Kesimpulan fase-fase gerhana Matahari total 20 April 2042 yang dilihat dari kota Jambi	103
Tabel 4.4. Hasil jadwal gerhana Matahari metode Bessel dengan menggunakan data <i>sun and moon ephemeris</i> dalam <i>software accurate times</i>	104
Tabel 4.5. Hasil jadwal gerhana dari NASA.....	106
Tabel 4.6. Selisih antara jadwal gerhana yang dihitung dengan data <i>sun and moon ephemeris</i> dalam <i>software accurate times</i> dengan jadwal gerhana yang dihitung oleh NASA.....	107

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Wilayah di sekitar titik simpul yang menjadi tempat terjadinya gerhana Matahari	30
Gambar 2.2.	Figur Geometri Gerhana Matahari Total.....	32
Gambar 2.3.	Figur Geometri Gerhana Matahari Cincin.....	33
Gambar 2.4.	Bidang fundamental x dan y beserta sumbu bayangan.....	36
Gambar 3.1.	Input <i>Sun And Moon Ephemeris</i> Dalam <i>Software Accurate Times</i>	51
Gambar 3.2.	Menu utama <i>software Accurate Times</i>	51
Gambar 3.3.	Hasil output <i>sun and moon ephemeris</i> dalam <i>software Accurate Times</i>	54



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Ilmu falak merupakan ilmu yang mempelajari seluk-beluk benda-benda langit dari segi bentuk, ukuran, keadaan fisik, posisi, gerakan dan hubungan antara benda satu dengan yang lainnya. Keterangan dari seluk-beluk benda-benda langit tersebut dapat diketahui dari berbagai penyelidikan. Kemudian dari penyelidikan-penyelidikan inilah dapat diketahui fenomena-fenomena alam yang berkaitan dengan ilmu falak salah satunya adalah gerhana¹.

Gerhana atau dalam astronomi dikenal dengan, *Eclipse* dan dalam bahasa Arab dikenal dengan istilah *Kusuf* atau *Khusuf* merupakan fenomena alam yang disebabkan oleh peredaran benda-benda langit terutama akibat dari peredaran Bumi, Bulan dan Matahari. Pada dasarnya istilah *Kusuf* dan *Khusuf* ini dapat digunakan untuk menyebut gerhana Matahari ataupun gerhana Bulan. Hanya saja kata *Kusuf* lebih dikenal untuk menyebut gerhana Matahari, sedangkan *Khusuf* digunakan untuk menyebut gerhana Bulan.

Alasannya karena *Kusuf* berarti menutupi, dapat digambarkan adanya fenomena alam bahwa ketika dilihat dari Bumi, Bulan menutupi Matahari sehingga terjadilah gerhana Matahari. Sedangkan *Khusuf* berarti memasuki

¹ Abd Salam Nawawi, *Ilmu Falak Praktis* (Surabaya: Imtiyaz, 2016), 2

menggambarkan fenomena alam bahwa Bulan memasuki bayangan Bumi sehingga terjadilah gerhana Bulan².

Pada zaman dahulu fenomena gerhana ini sering dikait-kaitkan dengan hal-hal mistis misalnya, di daerah Jawa terjadinya gerhana dipercaya jika Bulan atau Matahari yang mengalami gerhana itu dimakan oleh *buto* (raksasa) sehingga masyarakat beramai-ramai membuat bunyi-bunyian agar Bulan atau Matahari tidak jadi dimakan raksasa. Kemudian masyarakat juga percaya terjadinya fenomena gerhana ini akan membawa petaka sehingga para wanita yang sedang hamil dianjurkan untuk bersembunyi di bawah kolong tempat tidur, bahkan hewan-hewan peliharaan (sapi, kambing) yang sedang hamil pun perutnya akan ditepuk-tepuk dengan abu agar bayi yang di dalam perut sang induk tidak mati. Mitos tentang terjadinya gerhana ini tidak hanya dipercaya oleh masyarakat di Indonesia³.

Pada zaman Rasulullah saw pun, gerhana juga sering dikait-kaitkan dengan kematian dan kelahiran seseorang⁴. Hal ini tidak dibenarkan oleh Rasulullah saw sebagaimana sabda beliau:

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 karena kematian seseorang atau lahirnya seseorang. Jika melihat hal tersebut maka

² Muhyidin Khazin, *Ilmu Falak Dalam Teori dan Praktik* (Yogyakarta: Buana Pustaka 2004), 186.

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

⁴ Ainul Yaqin dan Fahmi Fatwa Rosyadi ”Hadist gerhana dan Wafatnya Ibrahim ibn Muhammad” *Tahkim*, No.1 Vol.1 (2018), 55.

berdo'alah kepada Allah, bertakbirlah, kerjakanlah shalat dan bersedekahlah.” (HR. Bukhari no. 1044)⁵

Pada dasarnya fenomena gerhana merupakan peristiwa tertutupnya objek benda langit yang disebabkan oleh benda langit/objek lain yang melintas didepannya atau berada disatu garis bujur astronomis yang sama. Maka dari itu gerhana Matahari akan terjadi pada saat ijtimak, dimana Matahari dan Bulan berada pada kedudukan/bujur astronomi yang sama yang akan mengakibatkan gerhana matahari total. Gerak matahari dan bulan membentuk lintasan yang membentuk sudut bervariasi. Lintasan tersebut akan menemui titik temu yang menyebabkan gerhana total, sedangkan gerhana Matahari tidak selalu sejajar dengan bumi. Hal ini disebut dengan gerhana Matahari parsial.

Bidang elips lintasan Bumi dengan bidang ekliptika membentuk sudut 23.5° karena kedua bidang ini berhimpit. Sedangkan bidang lintasan Bulan dan bidang ekliptika tidak berhimpit, melainkan membentuk sudut sebesar $5^\circ 8'$. Oleh karena itu, tidak setiap ijtimak'(konjungsi) akan terjadi gerhana Matahari begitu pula tidak setiap istiqbal (oposisi) akan terjadi gerhana Bulan.

Gerhana Matahari dapat terjadi setiap 18 tahun sekali dan disaksikan di semua tempat yang sedang mengalami siang dan hanya tempat yang menerima bayang-bayang Bulan saja yang dapat melihat gerhana Matahari,

⁵ Imam Abi Abdillah Muhammad bin Ismail ibnu Ibrahim bin al Mughirah bin Bardzabah al Bukhari al Jafi'I, *Shahih Bukhari*, Juz 2 (Beirut: Daar al-Fikr, 1986) 87.

meskipun demikian bisa saja dalam satu tahun tidak terjadi gerhana Matahari. Maka dari itu diperlukan alat-alat atau perhitungan untuk memprediksi terjadinya gerhana supaya tidak melewatkan fenomena yang tidak selalu terjadi sewaktu-waktu. Meskipun demikian, dalam realitanya fenomena gerhana terlebih gerhana Matahari ini kurang mendapat perhatian yang khusus oleh masyarakat. Padahal dalam fenomena ini juga terdapat unsur ibadahnya bagi umat muslim seperti sabda Rasulullah saw berikut:

فَإِذَا رَأَيْتُمُوهُمَا فَكَبِّرُوا وَادْعُوا اللَّهَ وَصَلُّوا وَتَصَدَّقُوا (رواه البخارى و مسلم عن عائشة)

“Apabila kamu melihatnya (gerhana Matahari atau gerhana Bulan) maka hendaklah kamu bertakbir, berdo’a kepada Allah, melaksanakan salat, dan bersedekah. (HR. Bukhari dan Muslim dari Aisyah)”⁶

Seiring berjalannya waktu fenomena gerhana Matahari ini mulai dijadikan ajang observasi oleh masyarakat, namun masih sangat sedikit yang melakukannya, karena tidak banyak orang yang mengetahui tentang perhitungan atau prediksi gerhana Matahari ini. Untuk mengetahui jenis-jenis gerhana Matahari dapat dilihat dari posisi piringan Matahari yang memasuki bayangan inti Bulan, maka dari itu gerhana Matahari terbagi menjadi tiga macam, yaitu gerhana Matahari sebagian, gerhana Matahari cincin dan Gerhana Matahari total. Gerhana Matahari sebagian terjadi dimana posisi Bulan berada tidak tepat di tengah-tengah garis antara Matahari dan Bumi, sehingga hanya menutupi sebagian Matahari. Sedangkan gerhana Matahari total terjadi dimana posisi bulan terletak di

⁶ Ibid. 87.

antara Bumi dan Matahari sehingga terlihat menutup sebagian atau seluruh cahaya Matahari di langit Bumi, sedangkan gerhana Matahari cincin tidak jauh berbeda dengan gerhana Matahari total, namun yang membedakan yaitu ukuran bulan lebih kecil sehingga tidak seluruh permukaan Bulan mampu menutup semua permukaan Matahari⁷.

Pada dasarnya perhitungan gerhana Matahari adalah menghitung waktu yaitu kapan atau jam berapa terjadi kontak gerhana Matahari. Untuk gerhana Matahari total akan terjadi 4 kali kontak yaitu:⁸

1. Kontak pertama adalah ketika piringan Matahari mulai menyentuh masuk pada bayangan Bulan. Pada posisi ini waktu dimulainya terjadi gerhana;
2. Kontak kedua adalah ketika seluruh piringan Matahari sudah memasuki bayangan Bulan. Pada posisi ini gerhana Matahari total dimulai;
3. Kontak ketiga adalah ketika piringan Matahari mulai menyentuh untuk keluar dari bayangan Bulan, pada posisi ini gerhana Matahari total akan berakhir;
4. Kontak keempat adalah ketika seluruh piringan Matahari sudah keluar dari bayang Bulan. Pada posisi ini waktu gerhana telah berakhir.

Sedangkan pada gerhana Matahari sebagian hanya dua kali kontak yaitu:

⁷ Ibid., 88.

⁸ Muhyidin khazin, *Ilmu Falak dalam Teori dan...*, 85.

1. Kontak pertama adalah ketika piringan Matahari mulai menyentuh masuk pada bayangan Bulan. Pada posisi ini waktu gerhana dimulai;
2. Kontak kedua adalah ketika piringan Matahari sudah keluar dari bayangan Bulan. Pada posisi ini waktu Gerhana sebagian berakhir⁹.

Guna memprediksi fenomena gerhana Matahari yang tidak selalu terjadi dalam kurun waktu 1 tahun dibutuhkan kecermatan dalam perhitungannya. Biasanya untuk menghitung (memprediksi) gerhana Matahari kebanyakan orang masih menggunakan kitab-kitab klasik seperti *Al-Dur Al-Aniq*, *Nūrul Anwār* dan lain sebagainya. Selain mengacu pada kitab-kitab klasik biasanya orang-orang sering menggunakan kalkulator *saintific*, Kalkulator Program, Microsoft Excel, atau software Visual Basic dan lain sebagainya untuk membantu perhitungan mereka. Akan tetapi ada salah satu metode perhitungan gerhana Matahari yang mudah digunakan namun mempunyai tingkat akurasi yang tinggi, yaitu algoritma Bessel.

Kemudian dalam penelitian ini algoritma Bessel yang biasa dilakukan dengan menggunakan Microsoft Excel. Langkah-langkah perhitungan Bessel yaitu (1) menghitung jarak antara titik pusat bulan dengan bumi dalam satuan astronomi; (2) menghitung tiga sudut bantu; (3) menghitung asensio rekta sumbu bayangan; (4) menghitung *Ephemeris Sidereal Time*; (5) menghitung sudut waktu sumbu bayangan; (6) menghitung nilai g ; (7) menghitung deklinasi sumbu bayangan; (8) menghitung sudut penumbra dan umbra; (9)

⁹ Ibid.

menghitung jarak titik pusat bulan dengan bumi dalam satuan jari-jari khatulistiwa Bumi; (10) menghitung sumbu koordinat bidang fundamental; (11) menghitung jarak antara bidang fundamental dengan kerucut umbra dan penumbra; (12) menghitung jari-jari penumbra dan umbra; (13) menghitung nilai variasi per-jam dari semua elemen Bessel. Dalam perhitungan ini akan dipadukan dengan perhitungan gerhana matahari yang telah dihitung oleh NASA

NASA merupakan lembaga independen dari pemerintah AS bertanggung atas sipil, program ruang angkasa, serta *auronutika* dan ruang penelitian. NASA menyediakan berbagai macam hasil perhitungan fenomena astronomi, terkhusus perhitungan gerhana Matahari yang akan menjadi acuan sekaligus pembanding dalam penelitian ini. Hasil perhitungan gerhana matahari dari NASA akan dibandingkan dengan hasil perhitungan gerhana Matahari metode Bessel yang datanya diambil dari *Software Accurate Times*. *Software Accurate Times* sendiri merupakan software yang wajib di install bagi penggiat ilmu falak, dikarenakan data-data yang digunakan sudah menggunakan data yang memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Didalam *Software* ini didapati menu *Sun and Moon Ephemeris*, dimana data ini merupakan data koordinat dari Matahari dan Bulan.

Disini penulis ingin menguji bagaimana akurasi data *Sun and Moon Ephemeris* dalam *Software Accurate Times*, dengan melakukan perhitungan gerhana Matahari metode Bessel yang dibandingkan dengan hasil

perhitungan gerhana Matahari metode NASA. Karena untuk saat ini rerata para ilmuwan falak yang ada di Indonesia menggunakan data ephemeris dari Jean Meeus ataupun Winhisab, dimana selisih yang dihasilkan dari data *Jean Meeus* ataupun *Software Winhisab* lumayan jauh yakni rerata 5 hingga 10 detik untuk setiap kontak gerhana¹⁰.

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut penulis menganggap bahwsanya penelitian tentang perhitungan gerhana Matahari ini penting sebagai penambahan wawasan para pakar ilmu falak. Hasil yang diperoleh dari perhitungan gerhana Matahari metode Bessel dengan data *Sun and Moon Ephemeris* dari *Software Accurate Times* ini kemudian akan dibandingkan dengan hasil yang diperoleh melalui website NASA khususnya perhitungan gerhana Matahari. Hal inilah yang menarik minat penulis untuk membahasnya dengan judul “Perhitungan Gerhana Matahari Metode *Bessel* Dengan Menggunakan Data *Sun And Moon Ephemeris* Dalam *Software Accurate Times*”

B. Identifikasi dan Batasan Masalah

Sesuai dengan latar belakang di atas penulis mengidentifikasi adanya masalah diantaranya sebagai berikut:

1. Kejadian atau fenomena alam sering di kaitkan dengan hal mistis.
2. Mitos masyarakat Indonesia tentang gerhana yang meresahkan

¹⁰ Alfian Maghfuri, *Algoritma Gerhana* (Malang: Madza Media, 2020), 10.

3. Banyak masyarakat yang melewatkan kejadian terjadinya gerhana
4. Masih banyak ketidak akuratan beberapa metode perhitungan dalam mencari kontak gerhana Matahari
5. Adanya perhitungan gerhana Matahari menggunakan metode baru
6. Langkah-langkah perhitungan gerhana Matahari metode Bessel dengan menggunakan data *Sun and Moon Ephemeris* dalam *Software Accurate Times*
7. Hasil perhitungan gerhana Matahari metode Bessel dengan menggunakan data *Sun and Moon Ephemeris* dalam *Software Accurate Times*

Melihat identifikasi masalah yang ada, penulis hanya mengambil dua masalah untuk dijadikan batasan masalah, agar pembahasan dalam penelitian ini tidak terlalu luas, adapun batasan masalah tersebut sebagai berikut:

1. Langkah-langkah perhitungan gerhana Matahari metode Bessel dengan menggunakan data *Sun and Moon Ephemeris* dalam *Software Accurate Times*
2. Hasil perhitungan gerhana Matahari metode Bessel dengan menggunakan data *Sun and Moon Ephemeris* dalam *Software Accurate Times*

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi dan batasan masalah di atas dapat di tarik rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana langkah-langkah perhitungan gerhana Matahari metode Bessel dengan menggunakan data *Sun and Moon Ephemeris* dalam *Software Accurate Times*?
2. Bagaimana Hasil perhitungan gerhana Matahari metode Bessel dengan menggunakan data *Sun and Moon Ephemeris* dalam *Software Accurate Times*?

D. Kajian Pustaka

Kajian pustaka merupakan deskripsi ringkas tentang penelitian atau kajian yang sudah pernah dilakukan sebelumnya yang berkaitan dengan masalah yang akan diangkat oleh penulis, serta menghubungkan penelitian dengan literatur-literatur yang ada dan mengisi celah-celah penelitian sebelumnya¹¹. Kemudian isinya nanti dapat dilihat bahwa kajian yang dilakukan oleh penulis bukan merupakan pengulangan atau duplikasi dari kajian atau penelitian yang sudah ada¹². Sejauh penelusuran penulis ditemukan beberapa penelitian yang berkaitan dengan perhitungan gerhana Bulan dan Matahari yang mengukur tingkat akurasi suatu metode perhitungan, namun belum ada yang membahas tentang perhitungan gerhana

¹¹ John W. Creswell, *Research Design Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif dan Mixed* (Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2014), 40.

¹² Fakultas Syariah UIN Sunan Ampel Surabaya, *Petunjuk Teknis Penulisan Skripsi*. (Surabaya, 2017), 8.

Matahari metode Bessel. Berikut kajian pustaka yang akan penulis paparkan, diantaranya adalah:

1. Skripsi yang ditulis oleh Khotibul Umam yang berjudul Analisis Metode Hisab Gerhana Matahari Dalam Kitab Irsyād Al-Murid¹³. Dalam skripsinya, Khotibul Umam menyimpulkan bahwa bahwa kitab Irsyād Al-Murid merupakan kitab yang tergolong memakai hisab hakiki tahkiki kontemporer. kitab tersebut menggunakan rumus-rumus yang langsung dioperasikan tanpa harus melihat ke jadwal atau tabel. Adapun dari segi akurasi maka kitab Irsyād al-Murid karangan KH. Ahmad Ghozali ini sudah termasuk akurat dan dapat dijadikan pedoman dalam menentukan waktu gerhana Matahari karena selisih hasil perhitungan kitab Irsyād al-Murid dengan hasil NASA hanya berbeda tipis, yakni rata-rata selisihnya antara 1-2 menit.
2. Skripsi yang ditulis oleh Muhammad Farih Al Husna yang berjudul Studi Analisis Program *Tracking* Gerhana Matahari Karya Muhammad Wasil¹⁴. Dalam skripsinya Muhammad Farih menyimpulkan bahwa algoritma Program Tracking Gerhana Matahari memiliki akurasi yang tinggi dalam segi prediksi waktu dan tidak akurat dalam prediksi koordinat lokasi jika dibandingkan dengan tolak ukur NASA. Secara

¹³ Khotibul Umam, “Metode Hisab Gerhana Matahari Dalam Kitab Irsyad Al Murid” Skripsi—UIN Walisongo Semarang, 2014).

¹⁴ Muhammad Farih Al Husna, “Studi Analisis Program *Tracking Gerhana Matahari Karya Muhammad Wasil*” Skripsi—UIN Walisongo Semarang, 2019).

pandangan hukum Islam program ini boleh atau sah digunakan untuk memperkirakan waktu terjadinya gerhana Matahari.

3. Skripsi yang ditulis oleh Ehsan Hidayat yang berjudul Analisis Pola Gerhana Matahari Ditinjau Dari Kriteria Nilai Argumen Lintang Bulan (F), Gamma (γ), Dan Magnitudo (u)¹⁵. Dalam skripsinya Ehsan Hidayat menyimpulkan bahwa secara umum pola gerhana Matahari yang terbentuk berdasarkan periode saros adalah hampir memberikan pola sama, baik jumlah setiap tahun maupun jenisnya dengan kata lain polanya tidak beraturan dikarenakan kontribusi gamma dan magnitudo tersebut tidak beraturan dalam hal selisih angka. Aurasi yang didapat dari algoritma Jean Meeus juga sudah tidak diragukan karena dalam beberapa periode saros memberikan hasil sama dengan data gerhana yang diberikan oleh NASA.
4. Skripsi yang ditulis oleh Siti Anisah yang Berjudul Studi Analisis Hisab Gerhana Matahari Dengan Kitab Tadzkirat Al-Ikhwan Fi Ba'dli At-Tawarikh Wa Al-A'mali Al-alakiyyati Bi Samarani Karya KH. Ahmad Dahan As-Samarani¹⁶. Dalam skripsi yang disusun oleh Siti Anisah menyimpulkan bahwa tingkat akurasi dari hasil perhitungan dalam kitab yang dibahas dibandingkan dengan gerhana dari NASA pada website-nya

¹⁵ Ehsan Hidayat, "Analisis Pola Gerhana Matahari Ditinjau dari Kriteria Nilai Argumen Lintang Bulan (F), Gamma (γ), dan Magnitudo (u)" Skripsi—UIN Walisongo Semarang, 2017).

¹⁶ Siti Anisah, "Studi Analisis Hisab Gerhana Matahari Dengan Kitab Tadzkirat Al-Ikhwan Fi Ba'dli At-Tawarikh Wa Al-A'mali Al-alakiyyati Bi Samarani Karya KH. Ahmad Dahan As-Samarani" Skripsi—UIN Walisongo Semarang, 2020).

karena sejauh perhitungan dari NASA adalah yang paling akurat. Perbedaan antara kedua perhitungan sangatlah signifikan yaitu selisih 2 jam 21 menit 16 detik.

5. Skripsi yang ditulis oleh Fiki Nu'afi Qurrota Aini yang Berjudul Studi Komparatif Sistem Perhitungan Gerhana Matahari *Elements Of Solar Eclipses Jean Meeus dan Textbook On Spherical Astronomy W.M. SMART*¹⁷. Dalam karya ilmiah yang disusun oleh Fiki Nu'afi Qurrota Aini menyimpulkan bahwa perbedaan sistem perhitungan *Elements Of Solar Eclipses Jean Meeus dan Textbook On Spherical Astronomy* disebabkan oleh dua faktor, yaitu konsep elemen Bessel dan proses perhitungan gerhana Matahari. Dapat diketahui bahwa hasil perhitungan memberikan waktu gerhana Matahari beberapa detik hingga menit untuk gerhana matahari cincin pada tanggal tersebut. Perbedaan yang ada antara kedua perhitungan yang disuguhkan oleh penulis menemukan hasil yang sedikit berbeda yaitu dengan selisih 2 menit 10,15 detik. Hasil perhitungan gerhana Matahari *Elements Of Solar Eclipses* lebih mendekati waktu hasil perhitungan gerhana Matahari yang dihitung oleh NASA

¹⁷ Fiki Nu'afi Qurrota Aini, "Studi Komparatif Sistem Perhitungan Gerhana Matahari *Elements Of Solar Eclipses Jean Meeus dan Textbook On Spherical Astronomy W.M. SMART*." Skripsi—UIN Walisongo Semarang, 2019).

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, secara garis besar tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui Langkah-langkah perhitungan gerhana Matahari metode Bessel dengan menggunakan data *Sun and Moon Ephemeris* dalam *Software Accurate Times*
2. Untuk mengetahui Hasil perhitungan gerhana Matahari metode Bessel dengan menggunakan data *Sun and Moon Ephemeris* dalam *Software Accurate Times*.

F. Kegunaan Hasil Penelitian

Dalam penelitian yang dilakukan oleh peneliti, diharapkan memiliki kegunaan baik secara teoritis maupun praktis.

1. Aspek Teoritis

Diharapkan dari hasil penelitian ini dapat memberikan sumbangan (manfaat) secara teoritis, yaitu untuk pengembangan ilmu falak seluruh Indonesia khususnya UIN Sunan Ampel Surabaya

2. Aspek Praktis

Secara praktis hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi ilmu bagi masyarakat tentang perhitungan Gerhana Matahari untuk mengukur tingkat akurasi suatu metode dibuktikan dengan beberapa perhitungan yang tersebar luas didunia terlebih dengan perhitungan gerhana yang telah dipublikasikan oleh NASA.

G. Definisi Operasional

Definisi Operasional memuat penjelasan tentang pengertian yang bersifat operasional dari konsep atau variabel penelitian sehingga dapat dijadikan acuan dalam menelusuri, menguji atau mengukur variabel yang dibuat dalam penelitian¹⁸. Oleh karena itu sebelum membahas penelitian yang akan diteliti, penulis akan menjelaskan tentang judul penelitian dari permasalahan yang akan dibahas oleh penulis. Hal ini ditujukan agar penelitian ini mudah dipahami oleh pembaca. Adapun judul yang diangkat oleh penulis adalah “Akurasi *Sun and Moon Ephemeris* Dalam *Software Accurate Times* Untuk Perhitungan Gerhana Matahari Metode *Bessel*”. Adapun variabel yang sesuai dengan judul penulis yaitu:

1. Perhitungan Gerhana Matahari Metode *Bessel*

Perhitungan Gerhana Matahari Metode Bessel merupakan metode yang dilakukan untuk perhitungan waktu-waktu gerhana secara lokal. Metode ini dianggap sebagai metode paling kuat dalam ketepatannya mengenai prediksi gerhana. Para astronom dan lembaga-lembaga astronomi banyak menggunakan metode ini untuk memprediksi gerhana.

¹⁸ Fakultas Syariah UIN Sunan Ampel Surabaya, *Petunjuk Teknis Penulisan Skripsi* (Surabaya: 2017), 9.

2. *Sun and Moon Ephemeris*

Sun and Moon Ephemeris merupakan suatu data *Ephemeris* yang dibutuhkan untuk menghitung Gerhana Matahari dengan Metode *Bessel*. Data *Sun and Moon Ephemeris* yang dimaksud oleh penulis diperoleh dari aplikasi *Accurate Time*. Perhitungan Gerhana Matahari Metode *Bessel*

3. *Software Accurate Times*

Software Accurate Times merupakan software yang dirancang oleh Muhammad Odeh yang berasal dari Yordania. Software ini digunakan untuk menghitung waktu salat umat islam. Keakurasian data yang diperoleh dari aplikasi tersebut sangatlah mempunyai dampak yang signifikan terhadap perhitungan ibadah umat islam. Tidak hanya untuk menghitung waktu salat saja, data yang didapat dari aplikasi ini bisa digunakan untuk mencari arah kiblat, konversi tarikh, data hasil awal Bulan, juga untuk mencari data ephemeris dari Matahari dan Bulan.

H. Metode Penelitian

Guna memudahkan proses penelitian diperlukan adanya metode penelitian. Berdasarkan latar belakang diatas penulis menggunakan metode

kualiatatif yaitu penelitian yang tidak diperoleh dari prosedur statistik atau bentuk hitungan¹⁹.

1. Jenis penelitian

Jenis penelitian yang penulis gunakan yaitu studi pustaka (*library research*). Jenis penelitian kepustakaan ini bersifat deskriptif analitik, aritmatik dan aplikatif, yang bertujuan untuk menganalisa data-data baik yang bersumber dari buku-buku ataupun literatur. Riset/studi pustaka tidak hanya membaca dan mencatat literatur atau buku-buku. Jadi riset pustaka/studi pustaka/studi dokumen merupakan serangkaian kegiatan yang berkenaan dengan metode pengumpulan data, pustaka, mencatat serta mengolah bahan penelitian²⁰.

2. Data yang dikumpulkan

a. Data primer

Data primer ialah data yang diperoleh oleh penulis dari sumber rujukan utama, dimana rujukan ini terkait secara langsung dengan objek penelitian²¹. Yakni terkait dengan informasi tentang perhitungan gerhana Matahari metode besel dengan menggunakan data *sun and moon ephemeris* dalam *software accurate times*.

Disini data yang penulis kumpulkan adalah

¹⁹ Eko Sugiarto, *Menyusun Proposal Penelitian Kualitatif, Skripsi dan Tesis* (Yogyakarta: Suaka Media, 2015), 8.

²⁰ Mestika Zed, *Metode Penelitian Kepustakaan* (Jakarta: Yayasan Obor Indonesia, tt), 3.

²¹ Enny Radjab dan Andi Jam'an, *Metodologi Penulisan Bisnis* (Makassar: Lembaga Perpustakaan dan Penerbitan Universitas Muhammadiyah Makassar, 2017), 110.

1) Data ephemeris Matahari dan Bulan dalam *software accurate times*.

2) Hasil perhitungan Excel gerhana Matahari metode Bessel dengan data ephemeris Matahari dan Bulan dalam *software accurate times*

b. Data sekunder

Data sekunder ialah data yang didapatkan dan dikumpulkan oleh penulis dari berbagai sumber yang ada yakni buku, artikel, website, jurnal, skripsi yang mengkaji terkait gerhana Matahari²².

3. Sumber data

a. Sumber data primer

Sumber data Primer merupakan sumber data utama untuk mendapatkan informasi penting yang berkaitan dengan penelitian.

Sumber data primer ini meliputi:

1) Buku Alfan Maghfuri Bojonegoro yang berjudul “Algoritma Gerhana”.

2) Aplikasi *Accurate Times*.

b. Sumber data sekunder

Sumber data sekunder merupakan sumber data tambahan yang digunakan untuk menunjang keberhasilan dari penelitian yang akan

²² Ibid.,111.

bersifat memperkuat argument. Sumber-sumber data sekunder diantaranya:

- 1) Ilmu Falak dalam Teori dan Praktik oleh Muhyidin Khazin;
- 2) Ilmu Falak Praktik oleh Kementrian Agama.
- 3) Jurnal, Internet, dan beberapa buku ilmu falak yang membahas tentang gerhana Matahari.
- 4) Link *website* fenomena gerhana Matahari yang dihitung oleh NASA “ <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/solar.html>”
- 5) Link *website* jadwal dan informasi tentang gerhana Matahari dan Bulan yang dibuat oleh Fred Espenak dalam “eclipsewise.com”

4. Teknik pengumpulan data

Teknik pengumpulan data merupakan teknik atau cara dalam penelitian untuk mengumpulkan data. Dalam penelitian ini penulis menggunakan teknik pengumpulan data penelaahan pustaka (dokumentasi). Penelaahan pustaka yaitu kajian kritis atas pembahasan suatu topik yang sudah ditulis oleh para peneliti atau ilmuwan yang terakreditasi (sudah diakui kepakarannya).

Penelaahan pustaka adalah salah satu cara pengumpulan data yang mengumpulkan dokumen-dokumen sebagai sumber data²³. Metode ini digunakan untuk mendapatkan gambaran tentang objek penelitian,

²³ Arikunto Suharsimi, *Metodologi Penelitian* (Yogyakarta: Bina Aksara, 2006), 177.

serta hal-hal yang menyangkut penelitian, sehingga dengan metode ini diharapkan gambaran kongkrit pada penelitian dapat dilihat dengan jelas.

5. Teknik analisis data

Setelah data terkumpul, data kemudian dianalisis. Analisis data dalam penelitian kualitatif dilakukan secara deduktif. Setelah data terkumpul maka langkah selanjutnya adalah menganalisis data untuk mencari dan menata secara sistematis catatan yang sudah terkumpul dalam bentuk dokumentasi. Analisis data yang digunakan adalah kualitatif deskriptif yaitu upaya yang dilakukan dengan data, mengorganisasi data, memilah-milah menjadi satuan yang dapat dikelola sehingga mendapatkan poin penting serta memutuskan hasil yang didapat yang dapat digambarkan dalam penelitian.

I. Sistematika Pembahasan

Agar memudahkan dalam memahami dan mempelajari penelitian ini maka perlu dijelaskan mengenai sistematika pembahasan penelitian. Secara garis besar penulisan penelitian dibagi menjadi 5 (lima) bab. Dalam setiap bab terdiri dari sub-sub pembahasan. Sistematika pembahasan penelitian adalah sebagai berikut:

Bab Pertama Pendahuluan. Dalam bab ini memuat latar belakang masalah, identifikasi dan batasan masalah, rumusan masalah, kajian pustaka,

tujuan penelitian, kegunaan hasil penelitian, definisi operasional, metodologi penelitian dan sistematika pembahasan.

Bab Kedua Gerhana Matahari Dalam Tinjauan Syariat dan Sains Dalam bab ini membahas landasan teori yang digunakan. Berisi tentang definisi gerhana Matahari dalam tinjauan Ilmu Falak, pengertian gerhana Matahari dalam tinjauan Sains (Astronomi), dasar hukum gerhana Matahari dan metode perhitungan gerhana Matahari metode NASA.

Bab Ketiga, *Sun and Moon Ephemeris* dalam *Software Accurate times* dan *Algoritma* Gerhana Matahari Bessel. Dalam bab ini akan dibahas mengenai gambaran umum *Sun dan Moon ephemeris* di *Software Accurate Times*, data *Sun dan Moon Ephemeris* pada *Software Accurate Times*, data yang akan digunakan dalam perhitungan Gerhana matahari Metode Bessel.

Bab Keempat, pembahasan berisi tentang langkah-langkah perhitungan gerhana Matahari menggunakan data *Sun And Moon Ephemeris* Dalam *Software Accurate Times* Metode *Bessel* dan Bagaimana Hasil serta akurasi perhitungan gerhana Matahari metode Bessel dengan menggunakan data *Sun and Moon Ephemeris* dalam *Software Accurate Times*.

Bab Kelima Penutup. Bab ini merupakan penutup dimana didalamnya berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan oleh peneliti. Pada bab ini juga akan disampaikan saran yang diberikan oleh peneliti terkait penelitian yang dilakukan. Dengan adanya penutup yang dijelaskan sebagai bentuk akhir penulisan dalam penelitian.

BAB II

GERHANA MATAHARI DALAM KAJIAN SYARIAT ISLAM DAN ASTRONOMI BESERTA DATA MATAHARI DAN BULAN DALAM *SOFTWARE ACCURATE TIMES* UNTUK PERHITUNGAN *BESSEL*

A. Definisi Gerhana Matahari

Gerhana Matahari didalam Kamus Besar Bahasa Indonesia dimaknai dengan “saat Bulan terletak di tengah-tengah jarak antara Bumi dan Matahari sehingga bayangan Bulan jatuh ke permukaan Bumi. Kata “*eclipse*” dalam bahasa inggris sering digunakan dalam penyebutan gerhana. Pada umumnya penyebutan “*eclipse of the sun*” untuk gerhana Matahari, dan “*eclipse of the moon*” untuk penyebutan gerhana Bulan atau juga “*solar eclipse*” untuk gerhana Matahari dan “*lunar eclipse*” penyebutan untuk gerhana Bulan¹.

Kata “gerhana” didalam bahasa Arab dibedakan menjadi dua penyebutan istilah, yaitu كَسَفَ – كَسَفًا وَكُسُوفًا yang berarti “menutupi”, dan خَسَفَ خَسَفًا وَخُسُوفًا – yang berarti menenggelamkan. Kalimat اِنْكِسَافُ الشَّمْسِ memiliki arti gerhana Matahari kemudian kalimat اِنْخَسَفَ الْقَمَرُ yang memiliki arti gerhana Bulan². Penyebutan gerhana Matahari lebih sering menggunakan kata *kusūf* sedangkan untuk gerhana Bulan lebih sering menggunakan kata

¹ Ahmad Izzuddin, *Fiqh Hisab Rukyah* (Jakarta: Erlangga, 2007), 41.

² Ahmad Warson Munawwir, *Al-Munawwir Kamus Arab-Indonesia* (Surabaya: Pustaka Progressif, 1997), 339 dan 1209.

*khusūf*³. Dari beberapa pengertian diatas maka kita dapat memberikan sebuah kesimpulan bahwa kalimat “gerhana” menurut bahasa ialah hilangnya sinar atau cahaya dari suatu benda dikarenakan keadaannya yang ditutupi oleh benda lainnya. Fenomena gerhana yang terjadi di Bumi ini sejatinya terjadi karena keterkaitan antara tiga benda langit, yakni: Matahari, Bulan, dan Bumi⁴.

Kemudian arti dari gerhana Matahari menurut istilah yang disampaikan oleh beberapa ahli falak dan astronomi melalui beberapa karyanya diantaranya ialah. Pertama, pendapat gerhana Matahari dari Muhammad Hadi Bashori yang menyatakan bahwa gerhana Matahari merupakan sebuah peristiwa yang terjadi akibat terhalangnya cahaya suatu benda oleh benda lainnya, konteksnya secara astronomi ialah cahaya Matahari yang terhalang oleh keadaan Bulan⁵. Lalu Muhyiddin Khazin didalam kamus falaknya yang memaknai gerhana Matahari ialah piringan Bulan yang menutupi piringan Bumi, yang mana peristiwa ini dapat terjadi dan diamati jika pengamat dari Bumi baik sebagian atau secara keseluruhan⁶

³ Alimuddin, Jurnal Ilmiah : *Gerhana Matahari Perspektif Astronomi* (Makassar : Al-Daulah, 2014), 72.

⁴ Arwin Juli Rakhmadi Butar-Butar, *Astronomi Islam* (Medan: UMSU Press, 2015), 108.

⁵ Muhammad Hadi Bashori, *Pengantar Ilmu Falak* (Jakarta: Pustaka Al-Kautsar, 2015), 225.

⁶ Muhyiddin Khazin, *Kamus Ilmu Falak* (Yogyakarta: Buana Pustaka, 2005), 45-47

B. Dasar Hukum Gerhana Matahari

Di bawah ini adalah beberapa dalil-dalil terkait gerhana matahari dalam Alquran dan Hadis:

1. Q.S. Yunus ayat 5

هُوَ الَّذِي جَعَلَ الشَّمْسُ ضِيَاءً وَالْقَمَرَ نُورًا وَقَدَرَهُ مَنَازِلَ لِتَعْلَمُوا عَدَدَ السِّنِينَ وَالْحِسَابَ مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا بِالْحَقِّ يُفَصِّلُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَعْلَمُونَ

“Dialah yang menjadikan matahari bersinar dan bulan bercahaya, dan Dialah yang menetapkan tempat-tempat orbitnya, agar kamu mengetahui bilangan tahun, dan perhitungan (waktu). Allah tidak menciptakan demikian itu melainkan dengan benar. Dia menjelaskan tanda-tanda (kebesaran-Nya) kepada orang-orang yang mengetahui.”⁷

2. Q.S. Al-Anbiya 33

وَهُوَ الَّذِي خَلَقَ اللَّيْلَ وَالنَّهَارَ وَالشَّمْسَ وَالْقَمَرَ كُلٌّ فِي فَلَكٍ يَسْبَحُونَ

“Dan Dialah yang telah menciptakan malam dan siang, matahari dan bulan. Masing-masing beredar pada garis edarnya.”⁸

3. Q.S. Yasiin 38-40

وَالشَّمْسُ بَحرِي لِمُسْتَقَرٍّ لَهَا ذَلِكَ تَقْدِيرُ الْعَزِيزِ الْعَلِيمِ ۝ ٣٨ وَالْقَمَرَ قَدْرَهُ مَنَازِلَ حَتَّىٰ عَادَ كَالْعُرْجُونِ الْقَدِيمِ ۝ ٣٩ لَا الشَّمْسُ يَنْبَغِي لَهَا أَنْ تُدْرِكَ الْقَمَرَ وَلَا اللَّيْلُ سَابِقُ النَّهَارِ وَكُلٌّ فِي فَلَكٍ يَسْبَحُونَ

“Dan Matahari berjalan di tempat peredarannya. Demikianlah ketetapan (Allah), Yang Mahaperkasa lagi Maha Mengetahui. 39. Dan telah Kami tetapkan tempat peredaran bagi Bulan sehingga (setelah ia sampai ke tempat peredaran yang terakhir) kembalilah ia seperti bentuk tandan yang tua. 40. Tidaklah mungkin bagi Matahari mengejar Bulan dan malampun tidak dapat mendahului siang. Dan masing-masing beredar pada garis edarnya.”⁹

⁷ Lajnah Pentashih Alquran, Aplikasi Alquran Kemenag.

⁸ Ibid

⁹ Ibid.

4. Q.S. al-An'am 96

فَالِقُ الْإِصْبَاحِ وَجَعَلَ اللَّيْلَ سَكَنًا وَالشَّمْسَ وَالْقَمَرَ حُسْبَانًا ذَلِكَ تَقْدِيرُ الْعَزِيزِ
الْعَلِيمِ

“Dia menyingsingkan pagi dan menjadikan malam untuk beristirahat, dan (menjadikan) Matahari dan Bulan untuk perhitungan. Itulah ketetapan Allah Yang Mahaperkasa lagi Maha Mengetahui.”¹⁰

5. Q.S. Ar-Ra'd 2

اللَّهُ الَّذِي رَفَعَ السَّمَوَاتِ بِغَيْرِ عَمَدٍ تَرَوْنَهَا ثُمَّ اسْتَوَىٰ عَلَى الْعَرْشِ وَسَحَّرَ الشَّمْسَ
وَالْقَمَرَ كُلًّا يَجْرِي لِأَجَلٍ مُّسَمًّى يُدَبِّرُ الْأَمْرَ يُفَصِّلُ الْآيَاتِ لَعَلَّكُمْ بِلِقَاءِ رَبِّكُمْ
تُؤْتُونَ

“Allah yang meninggikan langit tanpa tiang (sebagaimana) yang kamu lihat, kemudian Dia bersemayam di atas ‘Arsy. Dia menundukkan matahari dan bulan; masing-masing beredar menurut waktu yang telah ditentukan. Dia mengatur urusan (makhluk-Nya), dan menjelaskan tanda-tanda (kebesaran-Nya), agar kamu yakin akan pertemuan dengan Tuhanmu.”¹¹

Meskipun beberapa ayat di atas tidak menyebutkan secara sepsifik terkait gerhana Matahari namun peredaran secara teratur yang dilakukan Bumi, Bulan, dan Matahari merupakan sebuah pesan yang telah disampaikan Allah SWT. kepada makhluknya. Melalui pesan tersebut maka saat ini banyak sekali algoritma perhitungan posisi benda langit, ini merupakan suatu keniscayaan yang dilakukan manusia dalam hal mencari ilmu pengetahuan yang mana dulu ilmu dalam mengetahui posisi benda langit

¹⁰ Ibid

¹¹ Ibid

tersebut tidak dijumpai. Namun, dengan turunnya beberapa ayat tersebut maka Allah memberikan jawaban-Nya bahwa peredaran benda-benda langit dapat diketahui oleh manusia sehingga manusia dapat melakukan sebuah penelitian yang mendalam terkait peredaran benda langit tersebut.

Ada suatu riwayat hadis yang menyebutkan bahwa ketika terjadi gerhana di masa Rasulullah, maka saat itu masyarakat kota Makkah menganggap fenomena tersebut merupakan akibat dari wafatnya putra Rasulullah yang bernama Ibrahim. Menurut sejarawan, meninggalnya Ibrahim terjadi pada tahun 10 Hijriah. Terkait dengan Bulan wafatnya, maka ada banyak pendapat yang menyebutkan Bulan ketika Ibrahim wafat¹². Namun, apabila dilacak secara astronomis Bulan wafatnya Ibrahim yang berbarengan dengan peristiwa gerhana ialah pada Bulan Syawal 10 Hijriah atau 27 Januari 621 Masehi. Terlepas dari adanya perbedaan pendapat tersebut sejatinya Rasulullah menyampaikan pesan melalui hadis:

حَدَّثَنَا شِهَابُ بْنُ عَبَّادٍ قَالَ حَدَّثَنَا إِبْرَاهِيمُ بْنُ حُمَيْدٍ عَنْ إِسْمَاعِيلَ عَنْ قَيْسٍ قَالَ سَمِعْتُ
 أَبَا مَسْعُودٍ يَقُولُ قَالَ النَّبِيُّ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ إِنَّ الشَّمْسَ وَالْقَمَرَ لَا يَنْكَسِفَانِ
 لِمَوْتِ أَحَدٍ مِنَ النَّاسِ وَلَكِنَّهُمَا آيَتَانِ مِنْ آيَاتِ اللَّهِ فَإِذَا رَأَيْتُمُوهَا فَقُومُوا فَصَلُّوا

“Telah menceritakan kepada kami Syihab bin 'Abbad berkata: telah menceritakan kepada kami Ibrahim bin Humaid dari Isma'il dari Qais berkata: Aku mendengar Abu Mas'ud berkata: Nabi shallallahu 'alaihi wa sallam bersabda: Sesungguhnya Matahari dan Bulan tidak akan mengalami gerhana disebabkan karena matinya seorang dari manusia, tetapi keduanya adalah dua tanda dari tanda-tanda kebesaran Allah. Jika kalian melihat gerhana keduanya maka berdirilah untuk shalat.”¹³

¹² Alan Maghfuri, *Algoritma Gerhana...*, 37.

¹³ Terjemah Shahih Bukhari (Hadis ke 997), 441.

Rasulullah memerintahkan untuk beribadah ketika terjadinya gerhana Matahari, karena sejatinya gerhana Matahari memang bukan pertanda atas kematian seseorang. Fenomena ini memang terjadi karena kekuasaan Allah swt. salah satu wujud untuk mengagumi fenomena tersebut ialah dengan melakukan salat gerhana. Rasulullah juga menganjurkan untuk banyak berzikir dan berdoa kepada Allah ketika terjadinya gerhana. Ibadah yang dilakukan ini merupakan bentuk kekaguman manusia atas kekuasaan Allah SWT., maka dari itu Rasulullah menganjurkan untuk memperbanyak ibadah ketika terjadinya peristiwa gerhana. Dari salat gerhana yang dianjurkan oleh Rasulullah maka banyak menghasilkan kajian fikih yang sangat panjang mengenai tatacara dan hukum salat gerhana. Hukum melaksanakan salat gerhana ialah berhukum sunah¹⁴. Sunah ini merupakan sunah *Muakkadah*¹⁵. Salat ini disyariatkan untuk orang yang sedang dalam perjalanan ataupun orang yang sedang tidak dalam perjalanan, baik laki-laki ataupun perempuan, baik untuk pemuda ataupun yang tua.

Waktu pelaksanaan salat gerhana tentu dilaksanakan ketika umat manusia yang ada di lokasi terjadinya gerhana Matahari. Namun dalam pelaksanaannya, kegiatan ini dimulai sejak mulai terjadinya gerhana hingga tersingkap dengan hadis:

¹⁴ Abdul Hayyic al-Kattani, , *Terj. Al-Fiqhu Al-Islāmiyyu wa Adillatuhu -Wahbah az-Zuhaili*, Jilid I (Depok: Gema Insani, 2007), 484.

¹⁵ Masykur dkk, *Fikih lima mazhab Terj. Al-Fiqh 'alā al-Madzāhib al-Khamsah – Muhammad Jawad Mughniyah* (Jakarta: lentera Basritama, 1996), 128.

فَإِذَا رَأَيْتُمُوهُمَا فَتَمُومُوا فَصَلُّوا

“Jika kalian melihatnya, maka lakukanlah salat.” (*Muttafaq ‘alaih*)¹⁶

فَإِذَا رَأَيْتُمْ مِنْهَا شَيْئًا فَصَلُّوا وَادْعُوا اللَّهَ حَتَّى يُكْشَفَ مَا بَيْنَكُمْ

“Jika kalian melihat gerhana, maka shalat dan berdo'alah kepada Allah sampai Matahari kembali normal (seperti sedia kala).” (H.R. Muslim)¹⁷

C. Gerhana Matahari dalam Kajian Astronomi

1. Konsep Gerhana Matahari Secara Astronomi

Apabila ditinjau secara astronomi peristiwa gerhana Matahari ini berkenaan dengan adanya perputaran Bulan mengelilingi Bumi selama 29.5306 hari yang menyebabkan Bulan memiliki beberapa fase, fase-fase tersebut diantaranya adalah:

- a. *New Moon* (Bulan Baru)
- b. *New Crescent* (Sabit Awal)
- c. *First Quarter* (Kuartal Pertama)
- d. *Waxing Gibbous* (Cembung Awal)
- e. *Full Moon* (Purnama)
- f. *Waning Gibbous* (Cembung Akhir)
- g. *Third Quarter* (Kuartal Ketiga)
- h. *Waning Crescent* (Bulan Sabit Akhir)
- i. *New Moon* (Bulan Baru)

¹⁶ Ibid.

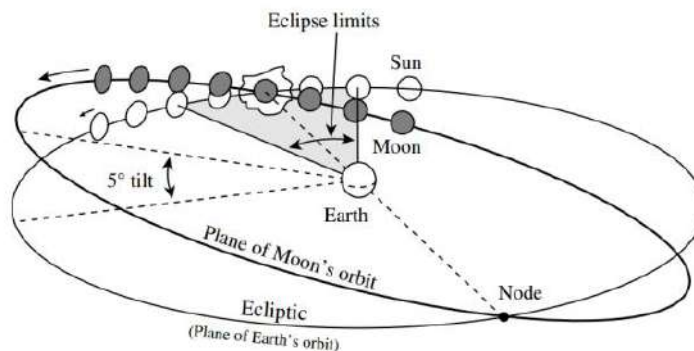
¹⁷ Ibid., 129.

Fase yang dikenal dengan *New Moon* atau Bulan baru ini tidak bisa kita lihat dikarenakan posisi Bulan yang sangat berdekatan dengan Matahari sehingga cahaya dari Bulan akan kalah terang dari cahaya Matahari. Orbit Bulan yang membentuk lintasan yang tidak sejajar dengan bidang lintasan Bumi, sehingga antara lintasan Bulan dengan Bumi membentuk sudut yang nilainya sekitar 5.8° ¹⁸. Sudut ini dikenal dengan sudut inklinasi, yakni perpotongan antara lingkaran orbit Bulan dengan lintasan Bumi dengan membentuk dua titik yang dinamakan titik simpul. Titik simpul pertama dinamakan titik simpul atas atau "*ascending node*", titik simpul kedua dinamakan titik simpul bawah atau "*descending node*". Ketika posisi Matahari dan Bulan berada di dua wilayah titik simpul ini dan berdekatan disaat terjadinya konjungsi, maka gerhana Matahari akan terjadi.

Maka dengan demikian peristiwa gerhana Matahari tidak selalu terjadi di setiap terjadinya konjungsi atau ijtimak, melainkan hanya terjadi ketika ijtimak antara Matahari dan Bulan berada didalam wilayah dua titik simpul ini¹⁹.

¹⁸ Mark littmann, et al., *Totality Eclipses of The Sun* (New York: Oxford University Press, 2008), 26.

¹⁹ Mark littmann, et al., *Totality Eclipses ...*, 13.



Gambar 2.1. Wilayah di sekitar titik simpul yang menjadi tempat terjadinya gerhana Matahari²⁰.

Peristiwa gerhana Matahari melalui gambar diatas digambarkan bahwa kedudukan Bulan berada diantara Matahari dan Bumi. Di posisi ini cahaya Matahari yang datang ke Bumi akan terhalang oleh posisi Bulan yang berada diantara keduanya. Cahaya Matahari yang terhalang oleh posisi Bulan akan menyebabkan munculnya bayangan Bulan yang jatuh ke Bumi. Ukuran Matahari yang besar inilah yang menyebabkan bayangan Bulan selalu berbentuk kerucut yang hanya jatuh di beberapa permukaan Bumi saja. Maka dengan demikian tidak semua lokasi di Bumi dapat menyaksikan gerhana Matahari, hanya lokasi yang menerima bayang-bayang Bulan saja yang dapat mengalami gerhana Matahari²¹.

2. Tipe Gerhana Matahari

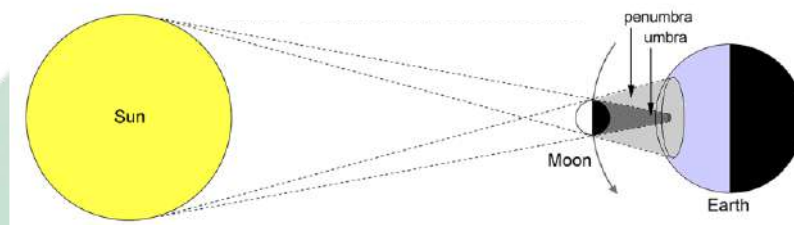
a. Gerhana Matahari total / *Total solar eclipse*

Gerhana Matahari total atau sempurna adalah peristiwa yang terjadi ketika posisi Matahari-Bulan-Bumi berada pada satu garis

²⁰ Ibid.

²¹ Alan Maghfuri, *Algoritma Gerhana: Kajian Mengenai Perhitungan Gerhana Matahari dengan Data Ephemeris Hisab Rukyat* (Malang: Madza Media, 2020), 21.

lurus dan posisi Bulan ini dekat dengan Bumi, atau istilah astronominya ketika Bulan berada di posisi *perigee*²². Meskipun ukuran Bulan sebenarnya lebih kecil ketimbang Matahari, namun sebab jarak Bumi ke Bulan lebih dekat ketimbang jarak Bumi ke Matahari, maka Bulan bisa sepenuhnya menutupi seluruh piringan dari Matahari. Pada peristiwa ini, bayangan kerucut (umbra) Bulan menjadi panjang dan dapat menyentuh permukaan Bumi.



Gambar 2.2. Figur Geometri Gerhana Matahari Total²³.

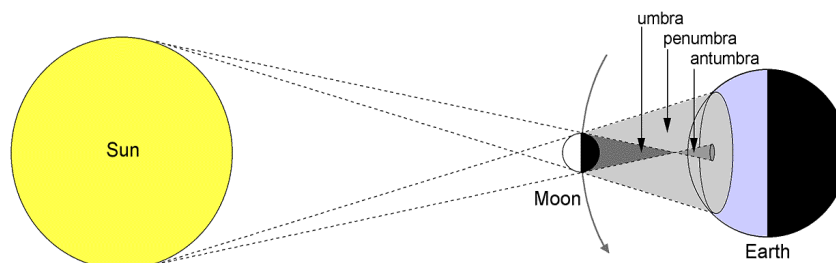
b. Gerhana Matahari cincin / *Annular solar eclipse*

Gerhana Matahari cincin ialah peristiwa ketika posisi Bumi-Bulan-Matahari berada pada satu garis lurus dan posisi Bulan berada di posisi terjauh dari Bumi. Pada posisi ini bayangan kerucut (umbra) Bulan menjadi pendek dan tidak dapat menyentuh permukaan Bumi. Dari jarak Bumi ke Bulan yang jauh ini maka akan menyebabkan diameter Bulan terlihat lebih kecil ketimbang

²² *Perigee*, bahasa Yunani *Peri*: Dekat dan *Go*: Bumi

²³ Fred Espenak, *Solar Eclipse Basics*, dalam <http://eclipsewise.com/solar/SEhelp/SEbasics.html>, diakses pada 15 Juni 2021

diameter Matahari, sehingga ada bagian tepi piringan Matahari yang dapat dilihat apabila pengamat berada di Bumi.



Gambar 2.3. Figur Geometri Gerhana Matahari Cincin²⁴.

Untuk gerhana Matahari total serta cincin didalamnya terdapat empat kontak gerhana, yakni: ketika piringan Bulan menyentuh piringan Matahari (waktu dimulainya gerhana). Kedua, saat seluruh piringan Matahari menutupi piringan Matahari (waktu mulai total). Ketiga, ketika piringan Bulan mulai bersentuhan dikala piringan tersebut keluar dari piringan Matahari (waktu akhir total). Keempat, yakni ketika seluruh piringan Bulan sudah keluar dari piringan Matahari (waktu gerhana telah berakhir).

c. Gerhana Matahari hibrid / *Annular-Solar Eclipse*

Ini merupakan gerhana yang digabungkan atas dua jenis gerhana, yakni gerhana Matahari total dan gerhana Matahari cincin. Ini terjadi ketika di suatu daerah dipermukaan Bumi terlihat total, tetapi di daerah lain terlihat sebagai gerhana Matahari cincin. Hal ini disebabkan oleh pertengahan gerhana, puncak bayangan Bulan

²⁴ Fred Espenak, *Solar Eclipse Basics*, dalam <http://eclipsewise.com/solar/SEhelp/SEbasics.html>, diakses pada 15 Juni 2021

menyentuh lengkungan Bumi yang tinggi hingga terlihat di suatu daerah sebagai gerhana Matahari total. Sementara di waktu yang bersamaan, di sebelah Barat dan Timur permukaan Bumi yang rendah yang sampai hanya perpanjangan dari bayangan inti atau (antumbra), hingga terlihat sebagai gerhana cincin²⁵.

d. Gerhana Matahari sebagian / *Partial Solar Eclipse*

Gerhana Matahari sebagian merupakan peristiwa ketika posisi keadaan Bulan dengan Bumi pada jarak yang dekat, sehingga bayangan kerucut (umbra) Bulan menjadi panjang dan dapat menyentuh permukaan Bumi, namun Bumi-Bulan-Matahari tidak tepat pada satu garis yang sejajar. Pada gerhana sebagian hanya terjadi dua kontak yakni ketika piringan Bulan mulai menyentuh Bulan (waktu mulai gerhana), serta ketika piringan Bulan sudah keluar dari piringan Matahari (waktu gerhana sebagian berakhir).

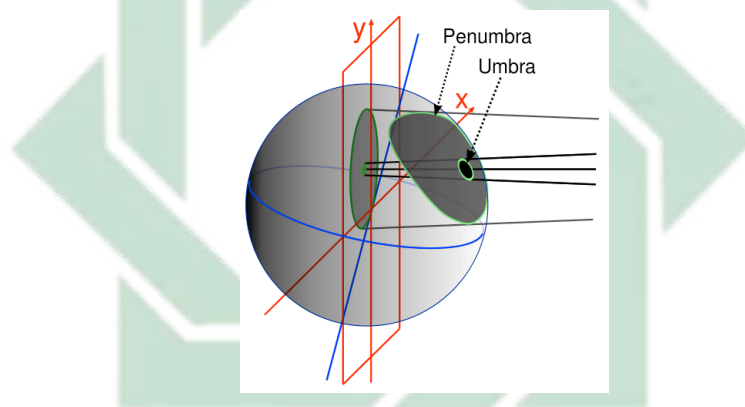
D. Perhitungan Gerhana Matahari Metode Bessel

Perhitungan Bessel ini dikemukakan oleh astronom dan matematikawan Prusia Friedrich Bessel. Ia memperkenalkan metode baru untuk memprediksi gerhana Matahari. Metode ini sangat sukses sehingga pada hari ini metode ini banyak digunakan oleh kalangan astronom untuk melakukan perhitungan gerhana yang akurat dengan menggunakan

²⁵ Abu Sabda, *Ilmu Falak: Rumusan Syar'i & Astronomi Seri 02* (Bandung:Persipers, 2019), 127-128.

komputasi. Kunci keakuratan metode ini juga terletak pada data ephemeris Matahari dan Bulan, apabila data yang digunakan tidak akurat maka akan menghasilkan hasil perhitungan yang tidak akurat juga. Hingga saat ini metode perhitungan gerhana Matahari yang akurat masih dipegang oleh teori Bessel ini²⁶.

Gerhana Matahari metode ini digambarkan atas posisi dan gerakan dari bayangan Bulan yang diarahkan ke pusat Bumi. Lihat gambar di bawah ini.



Gambar 2.4. Bidang fundamental x dan y beserta sumbu bayangan²⁷

Gerhana Matahari dengan konsep Bessel ini dihitung dari Bidang fundamental tersebut terdiri dari bidang datar dua dimensi yang dinamai dengan X dan Y memiliki pusat di titik O yang berada di pusat Bumi. Poros X merupakan poros yang berpotongan pada bidang fundamental dengan bidang ekuator. Poros X merupakan poros yang mempunyai nilai positif ke

²⁶ Fred Espenak, "Explanation of Besselian Elements for Solar Eclipses", dalam <http://www.eclipsewise.com/solar/SEhelp/SEbeselm.html>, diakses pada 20 Februari 2022.

²⁷ Ibid.

arah timur, sedangkan poros Y bernilai positif ke arah utara.²⁸ Beberapa elemen yang harus dicari dengan metode Bessel ini adalah X , Y , d , M , $L1$, $L2$, sudut $f1$, sudut $f2$ ²⁹.

Elemen X dan Y merupakan koordinat cartesian dari sumbu bayangan bulan di Bidang Dasar (dalam satuan radius ekuator Bumi). Elemen d merupakan deklinasi sumbu bayangan, sedangkan elemen M merupakan sudut jam sumbu bayangan Bulan. Radius bayangan penumbra pada bidang fundamental dinyatakan dengan elemen $L1$, sedangkan radius bayangan umbra dinyatakan dengan elemen $L2$. Elemen $L2$ bernilai positif ketika terjadi gerhana Matahari cincin, sedangkan bernilai negatif ketika terjadi gerhana Matahari total. Radius pada elemen $L1$ dan $L2$ dihitung dari sudut yang terbentuk antara bayangan umbra dan penumbra dengan sumbu bayangan yang juga merupakan elemen yang dinyatakan dengan $f1$ dan $f2$.³⁰

Data Matahari dan Bulan digunakan untuk perhitungan pencarian jadwal gerhana Matahari dengan metode bessel. Adapun data Matahari yang digunakan adalah sebagai berikut.³¹

1. Deklinasi Matahari (δ_m)

Deklinasi Matahari merupakan jarak Matahari di sepanjang lingkaran deklinasi (lingkaran ini merupakan lingkaran yang ditarik dari

²⁸ Alfian Maghfuri, *Algoritma Gerhana...*, 89-90.

²⁹ Ibid.

³⁰ Ibid., 90.

³¹ Ibid., 94.

kedua kutub langit dan memotong tegak lurus ekuator) yang dimulai dari ekuator hingga ke titik pusat Matahari³².

2. Asensioekta Matahari (am)

Jarak sepanjang ekuator yang dimulai dari titik Aries (*Vernal Equinox*) hingga titik pusat Matahari atau hingga ke titik perpotongan lingkaran deklinasi Matahari³³.

3. Jarak antara Bumi dan Matahari atau yang disingkat dengan (R)

Adalah jarak yang diukur dari titik pusat Bumi ke titik pusat Matahari dalam satuan *Astronomical Unit*³⁴.

Untuk data Bulan yang digunakan ialah sebagai berikut:

1. Deklinasi Bulan (δ_b)

Deklinasi Bulan merupakan jarak Bulan di sepanjang lingkaran deklinasi (lingkaran ini merupakan lingkaran yang ditarik dari kedua kutub langit dan memotong tegak lurus ekuator) yang dimulai dari ekuator hingga ke titik pusat Bulan³⁵.

2. Asensioekta Bulan (ab)

³² Kementerian Agama RI, *Ephemeris 2022* (Jakarta: Direktur Jenderal Bimbingan Masyarakat Islam, 2022), 1.

³³ Ibid., 1

³⁴ Ibid., 2.

³⁵ Ibid.

Jarak sepanjang ekuator yang dimulai dari titik Aries (*Vernal Equinox*) hingga titik pusat Bulan atau hingga ke titik perpotongan lingkaran deklinasi Bulan³⁶.

3. Horizontal Paralaks Bulan (HPb)

Adalah beda nilai sudut antara garis yang ditarik dari titik pusat Bulan ke titik pusat Bumi serta garis yang ditarik dari titik pusat Bulan ke titik di permukaan Bumi³⁷.

Gerhana Matahari terjadi ketika elongasi Bulan bernilai sangat kecil dan lintang Bulan kurang dari $1^{\circ} 24' 10''$ maka kita harus mencari di jam berapa Bulan memiliki elongasi terkecilnya, lalu kemudian mencari data Matahari dan Bulan seperti yang telah disampaikan sebelumnya berdasarkan jam elongasi terkecil Bulan dan satu jam sesudahnya, jam ketika elongasi terkecil ini menggunakan jam GMT³⁸.

Data-data di atas diambil didalam *software Accurate Times* dalam menu *sun and moon ephemeris*. Data-data tersebut merupakan data yang fundamental, yang digunakan untuk perhitungan elemen besel guna pencarian jadwal gerhana Matahari. Untuk jam waktu elongasi terkecil Bulan dilambangkan T_0 , dan untuk satu jam sesudahnya adalah T_1 ³⁹.

³⁶ Ibid.

³⁷ Ibid., 3.

³⁸ P. Kenneth Seidelmann, *Explanatory Supplement to The Astronomical Almanac* (California: University Science Book, 1992), 422.

³⁹ Fred Espenak, "Explanation of Besselian Elements for Solar Eclipses", dalam <http://www.eclipsewise.com/solar/SEhelp/SEbeselm.html>, diakses pada 20 Februari 2022.

Ada satu data yang tidak disajikan dalam menu *sun and moon ephemeris* di *software Accurate Times*. Data tersebut merupakan sudut waktu *ephemeris* atau yang biasa disebut dengan *Ephemeris Sidereal Time*. Di bawah ini ialah langkah-langkah dalam mencari sudut waktu *ephemeris*:

1. Mencari hari julian pada tanggal tertentu dengan rumus:⁴⁰

$$JD = 1720994.5 + \text{Int} (365.25 * Y)^{41} + \text{Int} (30.60001 * (M + 1)) + D + B + ((\text{Jam}) / 24) - \text{Zona Waktu} / 24$$

Dimana:

D = Tanggal

M = Jika nilai bulan < 3 maka nilai M = bulan + 12; jika tidak maka nilai bulan

Y = Jika nilai bulan < 3 maka Y = tahun - 1; jika tidak maka nilai tahun

B = Jika nilai tahun < 1582 dan nilai bulan = 10 dan nilai tanggal < 5 maka B = 2 - Int (Tahun / 100) + Int (Int (Tahun / 100) / 4)); jika tidak maka nilai B = 0

2. Menghitung nilai bilangan abad julian (T)

$$T = (JD - 2451545) / 36525$$

3. Menghitung sudut waktu ephemeris (EST)

$$EST = 6,6973745583 + 2400,0513369072 \times T + 0,0000258622 \times T^2$$
⁴²

⁴⁰ Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit* (Yogyakarta: Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Gajah Mada, 2012), 9.

⁴¹ Int adalah lambang untuk menyatakan integer (bilangan bulat dari suatu bilangan). Contoh Int (10) = 10. Int (10.66) = 10.

⁴² Ketentuan untuk nilai EST yaitu tidak lebih dari 24. Sehingga reduksi nilai EST antara 0 hingga 24.

Untuk mencari elemen X , Y , d , M , $L1$, $L2$, sudut $f1$, sudut $f2$ dapat dihitung seperti di bawah ini:

1. Menghitung b

b merupakan jarak antara titik pusat Bulan dengan Bumi dalam satuan astronomi yang dapat dihitung dengan menggunakan data R , Horizontal Paralaks Bulan, dan rata-rata Horizontal Paralaks Matahari.⁴³

b dapat dihitung dengan rumus:

$$b = \sin 8,794144'' \div (R \times \sin \text{HPb})$$

2. Menghitung $g1$, $g2$, dan $g3$ ⁴⁴.

Perhitungan $g1$, $g2$, dan $g3$ membutuhkan data deklinasi Matahari dan Bulan (δ_m dan δ_b), lalu asensiorekta Matahari dan Bulan (α_m dan α_b), dan b . Perhitungan ini sangat berguna dalam mencari asensiorekta sumbu bayangan (a) dan deklinasi sumbu bayangan (d). $g1$, $g2$, dan $g3$ dapat dihitung dengan rumus:

$$g1 = \cos \delta_m \times \cos \alpha_m - b \times \cos \delta_b \times \cos \alpha_b$$

$$g2 = \cos \delta_m \times \sin \alpha_m - b \times \cos \delta_b \times \sin \alpha_b$$

$$g3 = \sin \delta_m - b \times \sin \delta_b$$

3. Menghitung asensiorekta sumbu bayangan (a)⁴⁵

$$\text{Jika } g1 < 0 \text{ maka } \tan a = (g2 / g1) + 180$$

$$\text{Jika } g1 > 0 \text{ dan } g2 < 0 \text{ maka } \tan a = (g2 / g1) + 360$$

⁴³ P. Kenneth Seidelmann, *Explanatory...*, 436.

⁴⁴ Ibid.

⁴⁵ Ibid.

4. Menghitung sudut waktu sumbu bayangan (M)⁴⁶

$$M = EST \times 15 - a$$

5. Menghitung nilai g , g disini berguna untuk mencari nilai deklinasi sumbu bayangan (d)

$$g = \sqrt{(g1^2 + g2^2 + g3^2)}$$

6. Menghitung (d), yakni deklinasi sumbu bayangan

$$\sin d = g3 / g$$

7. Menghitung sumbu koordinat bidang fundamental, yakni bidang X , Y , dan Z . X dan Y adalah bagian dari elemen Bessel, untuk Z digunakan pada saat mencari sumbu penumbra dan umbra⁴⁷

$$X = (\cos \delta b \times \sin (\alpha b - a)) / \sin (HPb)$$

$$Y = (\sin \delta b \times \cos (d) - \cos \delta b \times \sin (d) \times \cos (\alpha b - a)) / \sin (HPb)$$

$$Z = (\sin \delta b \times \sin (d) + \cos \delta b \times \cos (d) \times \cos (\alpha b - a)) / \sin (HPb)$$

8. Menghitung $f1$ dan $f2$. Ini adalah sudut penumbra dan umbra⁴⁸

$$\sin f1 = (\sin (959,63''^{49}) + 0,2725076^{50} \times \sin (8,794144''^{51}))$$

$$\sin f2 = (\sin (959,63'') - 0,272281^{52} \times \sin (8,794144''))$$

9. Menghitung nilai $c1$ dan $c2$, ini adalah jarak antara bidang fundamental dengan kerucut penumbra dan umbra⁵³.

⁴⁶ Alfian Maghfuri, *Algoritma Gerhana...*, 99.

⁴⁷ P. Kenneth Seidelmann, *Explanatory...*, 437.

⁴⁸ Ibid., 439.

⁴⁹ Nilai ini adalah nilai semidiameter rata-rata Matahari

⁵⁰ Nilai ini adalah jari-jari penumbra, diadopsi dari Fred Espenak dalam <http://www.eclipsewise.com/solar>

⁵¹ Nilai ini adalah nilai horizontal paralaks rata-rata Matahari

⁵² Nilai ini adalah jari-jari umbra, diadopsi dari Fred Espenak dalam <http://www.eclipsewise.com/solar>

$$c1 = Z + 0,2725076 \times \operatorname{cosec}(f1)$$

$$c2 = Z - 0,272281 \times \operatorname{cosec}(f2)$$

10. Menghitung $L1$ dan $L2$, yakni jari-jari penumbra dan umbra

$$L1 = c1 \times \tan(f1)$$

$$L2 = c2 \times \tan(f2)$$

11. Menghitung nilai variasi satu jam dari elemen Bessel kecuali nilai $\tan f1$ dan $\tan f2$. Nilai yang dihitung adalah $X1$, $Y1$, $d1$, $M1$, $L11$, dan $L21$.

Perhitungan $X1$, $Y1$, $d1$, $M1$, $L11$, dan $L21$ didasarkan pada data Matahari dan Bulan di jam $T1$, yakni satu jam setelah waktu elongasi Bulan terkecil ($T0$) didapatkan. Kemudian selisih antara perhitungan elemen Bessel berdasarkan $T1$ dikurangi dengan perhitungan elemen Bessel berdasarkan $T0$.

12. Menghitung nilai koordinat *rectangular* pengamat

$$\tan u = 0,9966471893 \times \tan \varphi$$

$$\rho \sin \varphi' = 0,9966471893 \times \sin(u)^{54} + \frac{h}{r} \times \sin \varphi$$

$$\rho \cos \varphi' = \cos(u) + \frac{h}{r} \times \cos \varphi$$

13. Menghitung koordinat sudut pengamat

$$H = M0 + \lambda - 0,00417807 \times \Delta T$$

$$\xi = \rho \cos \varphi' \times \sin H$$

$$\eta = \rho \sin \varphi' \times \cos(d0) - \rho \cos \varphi' \times \cos H \times \sin(d0)$$

⁵³ P. Kenneth Seidelmann, *Explanatory...*, 439.

⁵⁴ Hasil dari $\tan u$.

$$\zeta = \rho \sin \varphi' \times \sin (d\theta) + \rho \cos \varphi' \times \cos H \times \cos (d\theta)$$

$$\xi_1 = 0,01745329 \times M1 \times \rho \cos \varphi' \times \cos H$$

$$\eta_1 = 0,01745329 \times (M1 \times \xi \times \sin (d\theta) - \zeta \times dI)$$

14. Menghitung koreksi waktu puncak gerhana Matahari

$$u = X0 - \xi$$

$$v = Y0 - \eta$$

$$u1 = X1 - \xi_1$$

$$v1 = Y1 - \eta_1$$

$$n^2 = u1^2 + v1^2$$

$$k1 = -\left(\frac{u \times u1 + v \times v1}{n^2}\right)$$

15. Menghitung koreksi waktu puncak gerhana Matahari pengulangan pertama (iterasi pertama)

$$X = X0 + X1 \times k1$$

$$Y = Y0 + Y1 \times k1$$

$$d = d\theta + dI \times k1$$

$$M = M0 + M1 \times k1$$

$$H = M^{55} + \lambda - 0,00417807 \times \Delta T$$

$$\xi = \rho \cos \varphi' \times \sin H$$

$$\eta = \rho \sin \varphi' \times \cos d - \rho \cos \varphi' \times \cos H \times \sin d$$

$$\zeta = \rho \sin \varphi' \times \sin d + \rho \cos \varphi' \times \cos H \times \cos d$$

$$\xi_1 = 0,01745329 \times M1 \times \rho \cos \varphi' \times \cos H$$

⁵⁵ Hasil dari M iterasi pertama.

$$\eta_1 = 0,01745329 \times (MI \times \xi^{56} \times \sin d - \zeta \times dl)$$

$$u = X - \xi$$

$$v = Y - \eta$$

$$u_1 = XI - \xi_1$$

$$v_1 = YI - \eta_1$$

$$n^2 = u_1^2 + v_1^2$$

$$k_2 = -\left(\frac{u \times u_1 + v \times v_1}{n^2}\right) + k_1$$

Proses pengulangan dilakukan minimal 3 kali untuk memperoleh hasil puncak gerhana yang akurat.

16. Menghitung waktu tengah gerhana

$$\text{Max} = T_0 + \text{koreksi waktu puncak gerhana Matahari} - \Delta T$$

17. Menghitung koreksi awal dan akhir fase cincin atau total

$$L_2 = L_2 \text{ pukul } 0 + L_2 \text{ pukul } 1 \times \text{koreksi waktu puncak gerhana Matahari}$$

$$L_2' = L_2 - \zeta \times \tan f_2$$

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

$$ksu = \frac{(u_1 \times v - u \times v_1)}{n \times L_2'}$$

$$su = \frac{L_2'}{n} \times \sqrt{1 - ksu^2}$$

18. Menghitung waktu awal dan akhir fase cincin atau total

$$\text{Waktu awal cincin atau total} = \text{Max} - su$$

⁵⁶ Hasil dari ξ iterasi pertama.

⁵⁷ Bila nilai mutlak dari ksu kurang dari 1 maka terjadi gerhana Matahari cincin atau total, bila nilainya lebih dari 1 maka terjadi gerhana matahari sebagian. Lebih lanjut lihat Alfan Maghfuri, *Algoritma Gerhana...*, 109.

Waktu akhir cincin atau total = Max + su

19. Menghitung koreksi untuk awal dan akhir gerhana menggunakan rumus pengulangan atau iterasi beserta magnitudo gerhana

$L1 = L10 + L11 \times$ koreksi waktu puncak gerhana Matahari

$L1' = L1 - \zeta \times \tan f1$

$m =$

$$ksp = \frac{(u1 \times v - u \times v1)}{n \times L1'}$$

$$sp = \frac{L1'}{n} \times \sqrt{1 - ksp^2}$$

$kpl1 =$ koreksi waktu puncak gerhana Matahari – sp

$kpr1 =$ koreksi waktu puncak gerhana Matahari + sp

20. Menghitung koreksi awal gerhana (kpl) yang dilakukan pengulangan beserta jadwal awal gerhana

$X = X0 + X1 \times kpl1$

$Y = Y0 + Y1 \times kpl1$

$d = d0 + d1 \times kpl1$

$M = M0 + M1 \times kpl1$

$L1 = L10 + L11 \times kpl1$

$H = M + \lambda - 0,00417807 \times \Delta T$

$\xi = \rho \cos \varphi' \times \sin H$

$\eta = \rho \sin \varphi' \times \cos d - \rho \cos \varphi' \times \cos H \times \sin d$

$\zeta = \rho \sin \varphi' \times \sin d + \rho \cos \varphi' \times \cos H \times \cos d$

$$\xi_1 = 0,01745329 \times MI \times \rho \cos \varphi' \times \cos H$$

$$\eta_1 = 0,01745329 \times (MI \times \xi \times \sin d - \zeta \times dI)$$

$$u = X - \xi$$

$$v = Y - \eta$$

$$u_1 = XI - \xi_1$$

$$v_1 = YI - \eta_1$$

$$n^2 = u_1^2 + v_1^2$$

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

$$L1' = L1 - \zeta \times \tan f_1$$

$$ksp = \left(\frac{u_1 \times v - u \times v_1}{n \times L1'} \right)$$

$$sp = - \left(\frac{u \times u_1 - v \times v_1}{n^2} \right) - \frac{L1'}{n} \times \sqrt{1 - ksp^2}$$

$$kpl2 = kpl1 + sp$$

Perhitungan di atas sebaiknya dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali untuk menghasilkan nilai yang akurat dan presisi untuk kontak awal gerhana.

$$\text{Awal gerhana} = T0 + \text{koreksi awal gerhana} - \Delta T$$

21. Menghitung koreksi akhir gerhana (kpr) yang dilakukan pengulangan dan adwal akhir gerhana

$$X = X0 + XI \times kpr1$$

$$Y = Y0 + YI \times kpr1$$

$$d = d0 + dI \times kpr1$$

$$M = M0 + M1 \times kpr1$$

$$L1 = L10 + L11 \times kpr1$$

$$H = M + \lambda - 0,00417807 \times \Delta T$$

$$\xi = \rho \cos \varphi' \times \sin H$$

$$\eta = \rho \sin \varphi' \times \cos d - \rho \cos \varphi' \times \cos H \times \sin d$$

$$\zeta = \rho \sin \varphi' \times \sin d + \rho \cos \varphi' \times \cos H \times \cos d$$

$$\xi1 = 0,01745329 \times M1 \times \rho \cos \varphi' \times \cos H$$

$$\eta1 = 0,01745329 \times (M1 \times \xi \times \sin d - \zeta \times d1)$$

$$u = X - \xi$$

$$v = Y - \eta$$

$$u1 = X1 - \xi1$$

$$v1 = Y1 - \eta1$$

$$n^2 = u1^2 + v1^2$$

$$n = \sqrt{n^2} = 0,357477204$$

$$L1' = L1 - \zeta \times \tan f1$$

$$ksp = \left(\frac{u1 \times v - u \times v1}{n \times L1'} \right)$$

$$sp = -\left(\frac{u \times u1 - v \times v1}{n^2} \right) + \frac{L1'}{n} \times \sqrt{1 - ksp^2}$$

$$kpr2 = kpr1 + sp$$

Perhitungan di atas sebaiknya dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali untuk menghasilkan nilai yang akurat dan presisi untuk kontak akhir gerhana.

Akhir gerhana = T_0 + koreksi akhir gerhana - ΔT



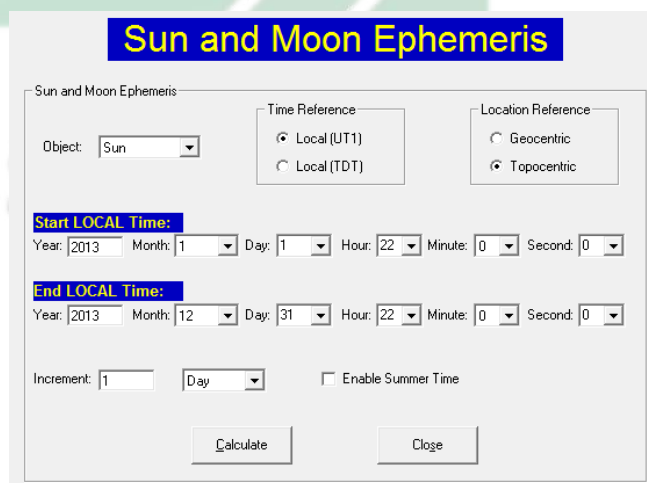
UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB III

ALGORITMA GERHANA MATAHARI BESSEL MENGGUNAKAN DATA *SUN AND MOON EPHEMERIS* DALAM *SOFTWARE ACCURATE TIMES*

A. Gambaran Umum *Sun And Moon Ephemeris* Dalam *Software Accurate Times*

Aplikasi *software accurate time* mempunyai menu yang berisikan data-data koordinat Matahari dan Bulan yang disajikan dalam bentuk note. Untuk mengetahui data koordinat Matahari dan Bulan awalnya kita harus memasukkan beberapa nilai kedalam input program sehingga nanti program akan melakukan execute atas input yang telah dimasukkan oleh pengguna. Di bawah ini merupakan gambar input *Sun And Moon Ephemeris* Dalam *Software Accurate Times*¹.

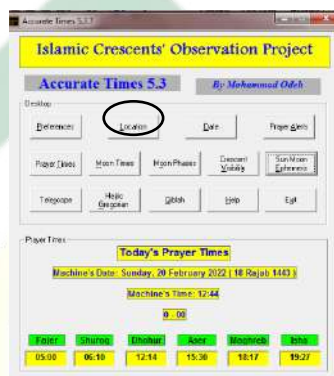


The screenshot shows a software window titled "Sun and Moon Ephemeris". Inside the window, there are three main sections: "Object", "Time Reference", and "Location Reference". The "Object" section has a dropdown menu set to "Sun". The "Time Reference" section has two radio buttons: "Local (UT1)" (selected) and "Local (TDT)". The "Location Reference" section has three radio buttons: "Geocentric", "Topocentric" (selected), and "Geocentric". Below these sections, there are two "LOCAL Time" input sections. The "Start LOCAL Time:" section has fields for Year (2013), Month (1), Day (1), Hour (22), Minute (0), and Second (0). The "End LOCAL Time:" section has fields for Year (2013), Month (12), Day (31), Hour (22), Minute (0), and Second (0). At the bottom, there is an "Increment" field set to 1, a "Day" dropdown, and a checkbox for "Enable Summer Time". There are two buttons at the bottom: "Calculate" and "Close".

Gambar 3.1. Input *Sun And Moon Ephemeris* Dalam *Software Accurate Times*

¹ Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit* (Yogyakarta: Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Gajah Mada, 2012), 140

Sebelum melakukan input data maka pengguna harus mengubah titik lokasi perhitungan pada menu utama di software *Accurate Times* di menu *Location* seperti gambar di bawah ini, hal tersebut bertujuan agar perhitungan koordinat Matahari dan Bulan saat gerhana Matahari dihitung berdasarkan pada waktu Greenwich (GMT)



Gambar 3.2. Menu utama *software Accurate Times*

Penulis akan menjelaskan terkait apa saja yang harus diinput untuk memudahkan pembaca dalam menggunakan program ini.

1. *Object*

Ini merupakan objek benda langit yang akan dikeluarkan data koordinatnya. Hingga versi terbarunya yakni versi 5.3.7 masih disediakan objek Matahari dan Bulan saja.

2. *Time reference*

Ini adalah referensi waktu perhitungan. Didalamnya disediakan waktu Universal Time (UT) dan Terrestrial Dynamical Time (TDT). Waktu referensi Universal Time ialah waktu yang terkoreksi dengan Delta T, koreksi ini diberikan sebab bumi

perputaran Bumi yang tidak konstan (terkadang melambat). Untuk Terrestrial Dynamical Time adalah waktu yang tidak terkoreksi dengan Delta T, ini merupakan waktu dinamis dimana mengabaikan koreksi perputaran Bumi yang melambat.² Dalam perhitungan gerhana Matahari disini menggunakan referensi waktu TDT atau waktu dinamis³.

3. *Location reference*

Ini ialah referensi lokasi, ini berimplikasi pada data koordinat Matahari dan Bulan yang dihitung akan menghasilkan data dalam koordinat Geosentris atau Toposentris. Apabila dipilih Geosentris maka data dihitung berdasarkan titik pusat bumi, apabila dipilih toposentris maka data yang dihitung berdasarkan titik pengamat berada. Untuk gerhana Matahari dihitung menggunakan koordinat geosentris sebab pada saat gerhana terjadi perhitungan menempatkan pada titik pusat bumi sebagai acuan perhitungan, ini berimplikasi pada pencarian elongasi geosentris terkecil ketika melakukan perhitungan gerhana Matahari⁴.

4. *Start dan end local time*

² Penjelasan lebih lanjut dapat dilihat dalam <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEhelp/deltaT.html>.

³ Fred Espenak, "Delta T (Δt) and Universal Time", dalam <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEhelp/deltaT.html>, diakses pada 20 Februari 2022.

⁴ P. Kenneth Seidelmann, *Explanatory Supplement to The Astronomical Almanac* (California: University Science Book, 1992), 421.

Ini adalah titik awal perhitungan dan akhir perhitungan, maksudnya adalah ketika kita memasukkan tanggal, bulan, dan tahun, beserta waktu yang hendak dihitung maka koordinat Matahari dan Bulan akan diolah hingga berakhir di tanggal, bulan, dan tahun, beserta waktu pada *end local time* dengan *increasement* atau peningkatan skala waktu detik, menit, jam, dan hari. Untuk gerhana matahari menggunakan *increasement* skala satu jam.

Setelah memasukkan nilai input maka selanjutnya diklik tombol *calculate*, lalu muncullah data koordinat dari objek yang telah dipilih. Program akan menampilkan data koordinat benda langit dalam output note seperti pada gambar di bawah ini.

```

By the Name of Allah
Islamic Crescents' Observation Project
Accurate Times 5.3, By Mohammad Odeh

* Settings:-
- Moon Ephemeris
- 0 - 00, Long: 00:00:00.0, Lat: 00:00:00.0, Ele:0.0, Zone:0.00
- Ephemeris are Geocentric.
- Time Reference is Local (TDT).
- Summer Time is off.

```

Time & Date	R. A.	Dec.	Altitude	Azimuth	Latitude	Longitude	Distance	SD	Parallax	DT	Moon House
00:00:00 26/12/2019	18h 05m 20s	-22:46:15	-67:05:32	173:54:08	+00:39:34	271:13:49	383388.8	00:15:35	00:57:12	71.6	A1-Naa'im
01:00:00 26/12/2019	18h 07m 44s	-22:48:55	-61:48:53	145:10:53	+00:36:32	271:46:55	383547.3	00:15:35	00:57:10	71.6	A1-Naa'im
02:00:00 26/12/2019	18h 10m 08s	-22:51:27	-51:49:10	128:53:35	+00:33:30	272:19:59	383706.4	00:15:34	00:57:09	71.6	A1-Naa'im
03:00:00 26/12/2019	18h 12m 31s	-22:53:50	-39:52:29	120:27:46	+00:30:27	272:53:01	383866.2	00:15:34	00:57:07	71.6	A1-Naa'im
04:00:00 26/12/2019	18h 14m 55s	-22:56:05	-27:06:44	115:57:47	+00:27:25	273:26:02	384026.6	00:15:34	00:57:06	71.6	A1-Naa'im
05:00:00 26/12/2019	18h 17m 19s	-22:58:12	-13:59:06	113:42:50	+00:24:23	273:59:01	384187.7	00:15:33	00:57:04	71.6	A1-Naa'im
06:00:00 26/12/2019	18h 19m 42s	-23:00:11	-00:42:46	113:00:18	+00:21:20	274:31:58	384349.4	00:15:33	00:57:03	71.6	A1-Naa'im
07:00:00 26/12/2019	18h 22m 06s	-23:02:02	+12:33:38	113:37:57	+00:18:18	275:04:54	384511.7	00:15:32	00:57:02	71.6	A1-Naa'im
08:00:00 26/12/2019	18h 24m 29s	-23:03:44	+25:41:33	115:46:01	+00:15:16	275:37:48	384674.5	00:15:32	00:57:00	71.6	A1-Naa'im
09:00:00 26/12/2019	18h 26m 52s	-23:05:18	+38:28:21	120:03:33	+00:12:14	276:10:40	384838.0	00:15:32	00:56:59	71.6	A1-Naa'im
10:00:00 26/12/2019	18h 29m 16s	-23:06:45	+50:28:33	128:04:59	+00:09:11	276:43:31	385002.0	00:15:31	00:56:57	71.6	A1-Naa'im
11:00:00 26/12/2019	18h 31m 39s	-23:08:03	+60:40:00	143:19:11	+00:06:09	277:16:19	385166.6	00:15:31	00:56:56	71.6	A1-Naa'im
12:00:00 26/12/2019	18h 34m 02s	-23:09:12	+66:30:13	170:29:01	+00:03:08	277:49:07	385331.7	00:15:30	00:56:54	71.6	A1-Naa'im
13:00:00 26/12/2019	18h 36m 25s	-23:10:14	+64:44:43	202:04:25	+00:00:06	278:21:52	385497.3	00:15:30	00:56:53	71.6	A1-Naa'im
14:00:00 26/12/2019	18h 38m 48s	-23:11:08	+56:34:27	224:12:47	-00:02:56	278:54:36	385663.4	00:15:30	00:56:51	71.6	A1-Naa'im
15:00:00 26/12/2019	18h 41m 11s	-23:11:53	+45:24:02	235:52:27	-00:05:57	279:27:18	385829.9	00:15:29	00:56:50	71.6	A1-Naa'im
16:00:00 26/12/2019	18h 43m 34s	-23:12:31	+32:59:19	241:58:37	-00:08:58	279:59:58	385997.0	00:15:29	00:56:48	71.6	A1-Naa'im
17:00:00 26/12/2019	18h 45m 56s	-23:13:00	+20:01:48	245:11:29	-00:11:59	280:32:36	386164.5	00:15:28	00:56:47	71.6	A1-Naa'im
18:00:00 26/12/2019	18h 48m 19s	-23:13:21	+06:49:46	246:36:06	-00:15:00	281:05:13	386332.4	00:15:28	00:56:45	71.6	A1-Naa'im
19:00:00 26/12/2019	18h 50m 41s	-23:13:35	-06:26:31	246:37:03	-00:18:01	281:37:48	386500.7	00:15:28	00:56:44	71.6	A1-Naa'im
20:00:00 26/12/2019	18h 53m 04s	-23:13:40	-19:38:47	245:14:36	-00:21:01	282:10:22	386669.4	00:15:27	00:56:43	71.6	A1-Naa'im
21:00:00 26/12/2019	18h 55m 26s	-23:13:37	-32:36:49	242:04:57	-00:24:01	282:42:53	386838.4	00:15:27	00:56:41	71.6	A1-Naa'im
22:00:00 26/12/2019	18h 57m 48s	-23:13:26	-45:02:41	236:04:33	-00:27:01	283:15:23	387007.9	00:15:26	00:56:40	71.6	A1-Naa'im
23:00:00 26/12/2019	19h 00m 10s	-23:13:08	-56:15:49	224:46:33	-00:30:00	283:47:51	387177.6	00:15:26	00:56:38	71.6	A1-Naa'im

```

* Right Ascension (R.A.) and Declination (Dec.):
Aritess apparent right ascension and declination of the target with respect
to the Earth true-equator and the meridian containing the Earth true equinox
of date. Corrected for light-time, gravitational deflection of light, stellar

```

Gambar 3.3. Hasil output *sun and moon ephemeris* dalam *software Accurate Times*

B. Data Perhitungan Gerhana Matahari Bessel Menggunakan Data *Sun And Moon Ephemeris* Dalam *Software Accurate Times*

Penulis melakukan perhitungan total sebanyak 15 gerhana Matahari yang terlihat di Indonesia. Pemilihan gerhana ini dilakukan secara acak dari tahun 2016 hingga 2096. Penulis mengambil beberapa sampel gerhana matahari total, gerhana matahari cincin, dan gerhana matahari sebagian yang kesemuanya dimungkinkan teramati di wilayah Indonesia. Adapun gerhana matahari yang dilakukan perhitungan adalah sebagai berikut:

1. Gerhana Matahari total 1 September 2016
2. Gerhana Matahari cincin 26 Desember 2019
3. Gerhana Matahari Hybrid 20 April 2023
4. Gerhana Matahari cincin 21 Mei 2031
5. Gerhana Matahari total 20 April 2042
6. Gerhana Matahari cincin 5 Februari 2046
7. Gerhana Matahari hybrid 25 November 2049
8. Gerhana Matahari cincin 23 September 2052
9. Gerhana Matahari cincin 20 Maret 2053
10. Gerhana Matahari total 12 September 2053
11. Gerhana Matahari cincin 5 November 2059
12. Gerhana Matahari cincin 28 Februari 2063
13. Gerhana Matahari total 24 Agustus 2082
14. Gerhana Matahari total 22 Mei 2096

15. Gerhana Matahari cincin 15 November 2006

Dari 15 gerhana Matahari tersebut penulis mengambil sampel perhitungan gerhana Matahari tiap-tiap kota di Indonesia secara acak, adapun kota yang dihitung berdasarkan 15 gerhana tersebut adalah sebagai berikut:

No	Kota	Lintang	Bujur
1	Banda Aceh	5° 31' 44"	95° 20' 01"
2	Bandar Lampung	-5° 23' 55"	105° 15' 57"
3	Batam	1° 07' 30"	104° 02' 47"
4	Bengkulu	-3° 47' 32"	102° 15' 06"
5	Borneo	0° 56' 56"	114° 33' 56"
6	Denpasar	-8° 40' 25"	115° 12' 37"
7	Jambi	-1° 39' 05"	103° 38' 03"
8	Jayapura	-2° 37' 36"	140° 40' 23"
9	Makasar	5° 10' 57"	119° 26' 23"
10	Manado	1° 22' 21"	124° 53' 26"
11	Martapura	-4° 19' 36"	104° 20' 51"
12	Maumere	-8° 38' 12"	122° 12' 25"
13	Medan	3° 34' 41"	98° 40' 57"
14	Nias	1° 06' 30"	97° 32' 43"
15	Salebe	-2° 33' 05"	133° 49' 57"
16	Surabaya	-7° 15' 00"	112° 45' 00"

Tabel 3.1. Kota yang dihitung berdasarkan 15 gerhana

Adapun data-data yang digunakan untuk perhitungan 15 gerhana Matahari beada di lampiran .

Data-data yang diambil dalam *software Accurate Times* adalah:

1. Deklinasi Matahari (δ_m)
2. Asensioekta Matahari (α_m)
3. Jarak antara Bumi dan Matahari atau yang disingkat dengan (R)
4. Deklinasi Bulan (δ_b)
5. Asensioekta Bulan (α_b)
6. Horizontal Paralaks Bulan (HPb)
7. Delta T

Untuk data EST atau *ephemeris sidereal time* yang bahasa Indonesia nya adalah sudut waktu *ephemeris* penulis mengambil dari program excel “New Ephemeris 2021 Lengkap Region English”⁵ milik Muhammad Muadz.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

⁵ Program excel ini dapat diakses dalam https://drive.google.com/file/d/10yveUPgsotdbg0-DAQQ_JQ0c-Ps0NNLt/view?usp=sharing

BAB IV
LANGKAH-LANGKAH PERHITUNGAN GERHANA MATAHARI METODE
BESSEL* DENGAN MENGGUNAKAN DATA *SUN AND MOON
EPHEMERIS* DALAM *SOFTWARE ACCURATE TIMES

A. Langkah-Langkah Perhitungan Gerhana Matahari Metode Bessel dengan Menggunakan Data *Sun and Moon Ephemeris* Dalam *Software Accurate Times*

Langkah awal yang harus dilakukan untuk menghitung gerhana Matahari metode Bessel dengan menggunakan data *sun and moon ephemeris* dalam *software Accurate Times* ialah mencari jam waktu referensi (T0) ketika fraksi iluminasi Bulan memiliki nilai yang sangat kecil di waktu GMT, atau juga dapat melihat elongasi geosentris Bulan terkecil. Karena data Bulan dalam *software Accurate Times* tidak menyajikan data elongasi ataupun iluminasi, maka penulis mencari waktu referensi tersebut dengan bantuan program excel “New Ephemeris 2021 Lengkap Region English”¹ milik Muhammad Muadz.

1. Gerhana Matahari cincin 26 Desember 2019 kota Batam

Dalam gerhana Matahari cincin 26 Desember 2019 dijumpai bahwa waktu referensi ketika iluminasi bulan terkecil pada tanggal tersebut tepat pada jam2 GMT. Berikut ini adalah urutan perhitungan

¹ Program excel ini dapat diakses dalam https://drive.google.com/file/d/10yveUPgsotdbg0-DAQQ_JQ0c-Ps0NNLt/view?usp=sharing

gerhana Matahari metode Bessel dengan menggunakan data *sun and moon ephemeris* dalam *software Accurate Times*.

- a. Mengambil data Matahari dan Bulan dalam *software Accurate Times*

Untuk data Matahari dan Bulan yang diambil dalam *software Accurate Times* adalah sebagai berikut:

Delta T = 71.53 detik

T0 = 5

α_m Jam 5 = 274 °28' 19"

α_m Jam 6 = 274 °31' 05"

R Jam 5 = 00 °59' 01"

R Jam 6 = 00 °59' 01"

δ_b Jam 5 = -22 °58' 12"

δ_b Jam 6 = -23 °00' 11"

α_b Jam 5 = 274 °19' 38"

α_b Jam 6 = 274 °55' 31"

HPb Jam 5 = 00 °57' 04"

HPb Jam 6 = 00 °57' 03"

- b. Mencari sudut waktu *ephemeris*²

Untuk data sudut waktu *ephemeris* tidak dijumpai dalam *software Accurate Times* sehingga penulis mengambil dari program

² Sudut waktu *ephemeris* bisa dihitung manual seperti yang ada dalam BAB II

“New Ephemeris 2021 Lengkap Region English”. Adapun data sudut waktu ephemeris atau EST ialah sebagai berikut:

$$\text{EST Jam 5} = 169^{\circ}24'32''$$

$$\text{EST Jam 6} = 184^{\circ}27'00''$$

c. Menghitung elemen Bessel

$$b \text{ jam 5} = 0.0026113$$

$$b \text{ jam 6} = 0.0026121$$

$$g1 \text{ jam 5} = 0.0713916$$

$$g1 \text{ jam 6} = 0.0721038$$

$$g2 \text{ jam 5} = -0.9127532$$

$$g2 \text{ jam 6} = -0.9127068$$

$$g3 \text{ jam 5} = -0.3956883$$

$$g3 \text{ jam 6} = -0.3956644$$

$$a \text{ jam 5} = 274.4723245$$

$$a \text{ jam 6} = 274.5169861$$

$$d \text{ jam 5} = -23.3735536$$

$$d \text{ jam 6} = -23.3720736$$

$$g \text{ jam 5} = 0.9973888$$

$$g \text{ jam 6} = 0.9973880$$

$$f1 \text{ jam 5} = 0.0047542$$

$$f1 \text{ jam 6} = 0.0047542$$

$$f2 \text{ jam 5} = 0.0047305$$

UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA

$$f_2 \text{ jam } 6 = 0.0047305$$

$$c_1 \text{ jam } 5 = 117.5620005$$

$$c_1 \text{ jam } 6 = 117.5786719$$

$$c_2 \text{ jam } 5 = 2.6830126$$

$$c_2 \text{ jam } 6 = 2.6997674$$

$$x_0 = -0.1404704$$

$$x_1 = 0.5357448$$

$$y_0 = 0.4242424$$

$$y_1 = -0.0366864$$

$$d_0 = -23.3735536$$

$$d_1 = 0.0014800$$

$$L_{10} = 0.5589131$$

$$L_{11} = 0.0000797$$

$$L_{20} = 0.0126921$$

$$L_{21} = 0.0000793$$

$$M_0 = 254.9366593$$

$$M_1 = 14.9964086$$

$$\tan f_1 = 0.0047542$$

$$\tan f_2 = 0.0047305$$

d. Menghitung nilai koordinat *rectangular* pengamat

Oleh karena penulis akan memberikan contoh perhitungan gerhana Matahari di Kota Batam maka penulis mengambil data lintang dan bujur kota Batam pada google earth.

Lokasi = Kota Batam
 Lintang = $1^{\circ} 07' 30.36''$ Utara
 Bujur = $104^{\circ} 02' 47.04''$ Timur
 Ketinggian = 10 meter
 Zona waktu = GMT +7

Adapun hasil perhitungan koordinat *rectangular* pengamat adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\tan u &= 1^{\circ} 07' 16.78'' \\ \rho \sin \varphi' &= 0^{\circ} 01' 10.21'' \\ \rho \cos \varphi' &= 0^{\circ} 59' 59.32''\end{aligned}$$

e. Menghitung koordinat sudut pengamat

$$\begin{aligned}H &= 358^{\circ} 41' 03.05'' \\ \xi / \xi_1 &= -0^{\circ} 01' 22.65'' \\ \eta / \eta_1 &= 0^{\circ} 24' 52.01'' \\ \zeta / \zeta_1 &= 0^{\circ} 54' 35.22'' \\ \xi_1 &= 0^{\circ} 15' 41.82'' \\ \eta_1 &= 0^{\circ} 00' 08.50''\end{aligned}$$

f. Menghitung koreksi waktu puncak gerhana Matahari

$$u = -0^{\circ} 07' 03.04''$$

$$v = 0^{\circ} 00' 35.26''$$

$$u_1 = 0^{\circ} 16' 26.86''$$

$$v_1 = -0^{\circ} 02' 20.57''$$

$$n_2 = 0^{\circ} 04' 36.01''$$

$$k_1 = 0^{\circ} 25' 30.50''$$

- g. Menghitung koreksi waktu puncak gerhana Matahari pengulangan pertama (iterasi pertama)

$$X = 0^{\circ} 05' 14.26''$$

$$Y = 0^{\circ} 24' 31.12''$$

$$d = -23^{\circ} 22' 22.53''$$

$$M = 261^{\circ} 18' 43.99''$$

$$H = 365^{\circ} 03' 35.07''$$

$$\xi / \xi_i = 0^{\circ} 05' 17.44''$$

$$\eta / \eta_i = 0^{\circ} 24' 46.79''$$

$$\zeta / \zeta_i = 0^{\circ} 54' 23.23''$$

$$\xi_1 = 0^{\circ} 15' 38.40''$$

$$\eta_1 = -0^{\circ} 00' 33.05''$$

$$u = -0^{\circ} 00' 03.18''$$

$$v = -0^{\circ} 00' 15.66''$$

$$u_1 = 0^{\circ} 16' 30.28''$$

$$v_1 = -0^{\circ} 01' 39.02''$$

$$n_2 = 0^{\circ} 04' 35.13''$$

UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA

$$k_2 = 0^\circ 25' 36.29''$$

- h. Menghitung koreksi waktu puncak gerhana Matahari pengulangan kedua (iterasi kedua)

$$X = 0^\circ 05' 17.37''$$

$$Y = 0^\circ 24' 30.91''$$

$$d = -23^\circ 22' 22.52''$$

$$M = 261^\circ 20' 10.84''$$

$$H = 365^\circ 05' 01.92''$$

$$\xi / \xi_1 = 0^\circ 05' 18.95''$$

$$\eta / \eta_1 = 0^\circ 24' 46.74''$$

$$\zeta / \zeta_1 = 0^\circ 54' 23.11''$$

$$\xi_1 = 0^\circ 15' 38.37''$$

$$\eta_1 = -0^\circ 00' 33.20''$$

$$u = -0^\circ 00' 01.58''$$

$$v = -0^\circ 00' 15.82''$$

$$u_1 = 0^\circ 16' 30.31''$$

$$v_1 = -0^\circ 01' 38.87''$$

$$n_2 = 0^\circ 04' 35.14''$$

$$k_3 = 0^\circ 25' 36.30''$$

- i. Menghitung koreksi waktu puncak gerhana Matahari pengulangan ketiga (iterasi ketiga)

$$X = 0^\circ 05' 17.37''$$

$$Y = 0^{\circ} 24' 30.91''$$

$$d = -23^{\circ} 22' 22.52''$$

$$M = 261^{\circ} 20' 10.98''$$

$$H = 365^{\circ} 05' 02.05''$$

$$\xi / \xi_i = 0^{\circ} 05' 18.95''$$

$$\eta / \eta_i = 0^{\circ} 24' 46.74''$$

$$\zeta / \zeta_i = 0^{\circ} 54' 23.11''$$

$$\xi_1 = 0^{\circ} 15' 38.37''$$

$$\eta_1 = -0^{\circ} 00' 33.20''$$

$$u = -0^{\circ} 00' 01.58''$$

$$v = -0^{\circ} 00' 15.82''$$

$$u_1 = 0^{\circ} 16' 30.31''$$

$$v_1 = -0^{\circ} 01' 38.87''$$

$$n_2 = 0^{\circ} 04' 35.14''$$

$$k_4 = 0^{\circ} 25' 36.30''$$

j. Menghitung waktu tengah gerhana

$$\text{Max (Waktu universal)} = 05:24:25 \text{ UT}$$

$$\text{Max (Waktu Indonesia bagian barat)} = 12:24:25 \text{ WIB}$$

k. Menghitung koreksi awal dan akhir fase cincin

$$L_2 = 0^{\circ} 00' 45.81''$$

$$L_2' = 0^{\circ} 00' 30.38''$$

$$n = 0^{\circ} 16' 35.24''$$

$$ksu = -0^{\circ} 31' 24.60''$$

$$su = 0^{\circ} 01' 33.62''$$

- l. Menghitung waktu awal dan akhir fase cincin

$$\text{Waktu awal cincin (Waktu universal)} = 5:22:51 \text{ UT}$$

$$\text{Waktu awal cincin (Waktu Indonesia bagian barat)} = 12:22:51 \text{ WIB}$$

$$\text{Waktu akhir cincin (Waktu Universal)} = 5:25:58 \text{ UT}$$

$$\text{Waktu akhir cincin (Waktu Indonesia bagian barat)} = 12:25:58 \text{ WIB}$$

- m. Menghitung koreksi untuk awal dan akhir gerhana menggunakan rumus pengulangan atau iterasi

$$L1 = 0^{\circ} 33' 32.21''$$

$$L1' = 0^{\circ} 33' 16.70''$$

$$ksp = -0^{\circ} 00' 28.67''$$

$$sp = 2^{\circ} 00' 22.28''$$

$$kpl1 = -1^{\circ} 34' 45.98''$$

$$kpr1 = 2^{\circ} 25' 58.58''$$

- n. Menghitung koreksi awal gerhana (kpl) pengulangan pertama (iterasi pertama)

$$X = -0^{\circ} 59' 11.93''$$

$$Y = 0^{\circ} 28' 55.87''$$

$$d = -23^{\circ} 22' 33.21''$$

$$L1 = 0^{\circ} 33' 31.63''$$

$$M = 231^{\circ} 15' 02.75''$$

$$H = 334^{\circ} 59' 53.83''$$

$$\xi / \xi_i = -0^{\circ} 25' 21.23''$$

$$\eta / \eta_i = 0^{\circ} 22' 38.71''$$

$$\zeta / \zeta_i = 0^{\circ} 49' 26.44''$$

$$\xi_1 = 0^{\circ} 14' 13.80''$$

$$\eta_1 = 0^{\circ} 02' 37.88''$$

$$u = -0^{\circ} 33' 50.69''$$

$$v = 0^{\circ} 06' 17.17''$$

$$u_1 = 0^{\circ} 17' 54.88''$$

$$v_1 = -0^{\circ} 04' 49.96''$$

$$n_2 = 0^{\circ} 05' 44.29''$$

$$n = 0^{\circ} 18' 33.31''$$

$$L_1' = 0^{\circ} 33' 17.53''$$

$$k_{sp} = -0^{\circ} 04' 56.89''$$

$$sp = 0^{\circ} 03' 40.25''$$

$$k_{pl2} = -1^{\circ} 31' 05.72''$$

- o. Menghitung koreksi awal gerhana (kpl) pengulangan kedua (iterasi kedua)

$$X = -0^{\circ} 57' 13.93''$$

$$Y = 0^{\circ} 28' 47.79''$$

$$d = -23^{\circ} 22' 32.88''$$

$$L_1 = 0^{\circ} 33' 31.65''$$

$$M = 232^{\circ} 10' 05.74''$$

$$H = 335^{\circ} 54' 56.82''$$

$$\xi / \xi_i = -0^{\circ} 24' 28.81''$$

$$\eta / \eta_a = 0^{\circ} 22' 48.20''$$

$$\zeta / \zeta_a = 0^{\circ} 49' 48.42''$$

$$\xi_1 = 0^{\circ} 14' 20.06''$$

$$\eta_1 = 0^{\circ} 02' 32.44''$$

$$u = -0^{\circ} 32' 45.12''$$

$$v = 0^{\circ} 05' 59.59''$$

$$u_1 = 0^{\circ} 17' 48.62''$$

$$v_1 = -0^{\circ} 04' 44.51''$$

$$n_2 = 0^{\circ} 05' 39.69''$$

$$n = 0^{\circ} 18' 25.84''$$

$$L_1' = 0^{\circ} 33' 17.44''$$

$$k_{sp} = -0^{\circ} 04' 44.94''$$

$$sp = 0^{\circ} 00' 01.00''$$

$$k_{p13} = -1^{\circ} 31' 04.72''$$

- p. Menghitung koreksi awal gerhana (kpl) pengulangan ketiga (iterasi ketiga)

$$X = -0^{\circ} 57' 13.39''$$

$$Y = 0^{\circ} 28' 47.75''$$

$$d = -23^{\circ} 22' 32.88''$$

$$L1 = 0^{\circ} 33' 31.65''$$

$$M = 232^{\circ} 10' 20.75''$$

$$H = 335^{\circ} 55' 11.83''$$

$$\xi / \xi_i = -0^{\circ} 24' 28.57''$$

$$\eta / \eta_i = 0^{\circ} 22' 48.24''$$

$$\zeta / \zeta_i = 0^{\circ} 49' 48.52''$$

$$\xi_1 = 0^{\circ} 14' 20.09''$$

$$\eta_1 = 0^{\circ} 02' 32.41''$$

$$u = -0^{\circ} 32' 44.82''$$

$$v = 0^{\circ} 05' 59.51''$$

$$u_1 = 0^{\circ} 17' 48.59''$$

$$v_1 = -0^{\circ} 04' 44.49''$$

$$n_2 = 0^{\circ} 05' 39.67''$$

$$n = 0^{\circ} 18' 25.81''$$

$$L1' = 0^{\circ} 33' 17.44''$$

$$k_{sp} = -0^{\circ} 04' 44.89''$$

$$sp = 0^{\circ} 00' 00.00''$$

$$k_{pl4} = -1^{\circ} 31' 04.72''$$

q. Menghitung jam awal gerhana

$$\text{Awal gerhana (Waktu universal)} = 3:27:44 \text{ UT}$$

$$\text{Awal gerhana (Waktu Indonesia bagian barat)} = 10:27:44 \text{ WIB}$$

r. Menghitung koreksi akhir gerhana (kpr) pengulangan pertama
(iterasi pertama)

$$X = 1^{\circ} 09' 46.67''$$

$$Y = 0^{\circ} 20' 05.95''$$

$$d = -23^{\circ} 22' 11.83''$$

$$L1 = 0^{\circ} 33' 32.78''$$

$$M = 291^{\circ} 25' 19.20''$$

$$H = 395^{\circ} 10' 10.28''$$

$$\xi / xi = 0^{\circ} 34' 33.20''$$

$$\eta / eta = 0^{\circ} 20' 31.55''$$

$$\zeta / zeta = 0^{\circ} 44' 33.04''$$

$$\xi_1 = 0^{\circ} 12' 50.10''$$

$$\eta_1 = -0^{\circ} 03' 35.34''$$

$$u = 0^{\circ} 35' 13.47''$$

$$v = -0^{\circ} 00' 25.60''$$

$$u_1 = 0^{\circ} 19' 18.58''$$

$$v_1 = 0^{\circ} 01' 23.27''$$

$$n_2 = 0^{\circ} 06' 14.79''$$

$$n = 0^{\circ} 19' 21.57''$$

$$L1' = 0^{\circ} 33' 20.08''$$

$$ksp = -0^{\circ} 05' 18.68''$$

$$sp = -0^{\circ} 05' 53.23''$$

UIN SUNAN AMPEL
S U B A B A Y A

$$kpr2 = 2^{\circ} 20' 05.35''$$

- s. Menghitung koreksi akhir gerhana (kpr) pengulangan kedua (iterasi kedua)

$$X = 1^{\circ} 06' 37.43''$$

$$Y = 0^{\circ} 20' 18.91''$$

$$d = -23^{\circ} 22' 12.35''$$

$$L1 = 0^{\circ} 33' 32.76''$$

$$M = 289^{\circ} 57' 01.99''$$

$$H = 393^{\circ} 41' 53.07''$$

$$\xi / xi = 0^{\circ} 33' 16.96''$$

$$\eta / eta = 0^{\circ} 20' 52.29''$$

$$\zeta / zeta = 0^{\circ} 45' 21.01''$$

$$\xi_1 = 0^{\circ} 13' 03.78''$$

$$\eta_1 = -0^{\circ} 03' 27.43''$$

$$u = 0^{\circ} 33' 20.47''$$

$$v = -0^{\circ} 00' 33.38''$$

$$u_1 = 0^{\circ} 19' 04.90''$$

$$v_1 = 0^{\circ} 01' 15.36''$$

$$n_2 = 0^{\circ} 06' 05.69''$$

$$n = 0^{\circ} 19' 07.38''$$

$$L1' = 0^{\circ} 33' 19.82''$$

$$ksp = -0^{\circ} 04' 56.48''$$

UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA

$$sp = -0^{\circ} 00' 02.91''$$

$$kpr3 = 2^{\circ} 20' 02.43''$$

- t. Menghitung koreksi akhir gerhana (kpr) pengulangan ketiga (iterasi ketiga)

$$X = 1^{\circ} 06' 35.87''$$

$$Y = 0^{\circ} 20' 19.02''$$

$$d = -23^{\circ} 22' 12.36''$$

$$L1 = 0^{\circ} 33' 32.76''$$

$$M = 289^{\circ} 56' 18.32''$$

$$H = 393^{\circ} 41' 09.40''$$

$$\xi / xi = 0^{\circ} 33' 16.33''$$

$$\eta / eta = 0^{\circ} 20' 52.46''$$

$$\zeta / zeta = 0^{\circ} 45' 21.40''$$

$$\xi_1 = 0^{\circ} 13' 03.89''$$

$$\eta_1 = -0^{\circ} 03' 27.36''$$

$$u = 0^{\circ} 33' 19.54''$$

$$v = -0^{\circ} 00' 33.44''$$

$$u_1 = 0^{\circ} 19' 04.79''$$

$$v_1 = 0^{\circ} 01' 15.29''$$

$$n_2 = 0^{\circ} 06' 05.62''$$

$$n = 0^{\circ} 19' 07.26''$$

$$L1' = 0^{\circ} 33' 19.82''$$

UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA

$$ksp = -0^{\circ} 04' 56.30''$$

$$sp = -0^{\circ} 00' 00.01''$$

$$kpr4 = 2^{\circ} 20' 02.43''$$

u. Menghitung jam akhir gerhana

$$\text{Jam akhir gerhana (Waktu universal)} = 7:18:51 \text{ UT}$$

$$\text{Jam akhir gerhana (Waktu Indonesia bagaian barat)} = 14:18:51 \text{ WIB}$$

Adapun kesimpulan fase-fase gerhana Matahari cincin 26 Desember 2019 yang dilihat dari kota Batam adalah sebagai berikut:

Fase	Universal Time	WIB
Awal Gerhana	3:27:44	10:27:44
Awal Cincin	5:22:51	12:22:51
Tengah Gerhana	5:24:25	12:24:25
Akhir Cincin	5:25:58	12:25:58
Akhir Gerhana	7:18:51	14:18:51

Tabel 4.1. Kesimpulan fase-fase gerhana Matahari cincin 26 Desember 2019 yang dilihat dari kota Batam

2. Gerhana Matahari hybrid 20 April 2023 kota Surabaya

Dalam gerhana Matahari hybrid 20 April 2023 dijumpai bahwa waktu referensi ketika iluminasi bulan terkecil pada tanggal tersebut tepat pada jam 4 GMT. Berikut ini adalah urutan perhitungan gerhana Matahari metode Bessel dengan menggunakan data *sun and moon ephemeris* dalam *software Accurate Times*:

a. Mengambil data Matahari dan Bulan dalam *software Accurate Times* dalam *software Accurate Times*

$$\text{Delta T} = 73.399$$

$$T_0 = 4$$

$$\alpha_m \text{ jam } 4 = 27^\circ 44' 44''$$

$$\alpha_m \text{ jam } 5 = 27^\circ 47' 04''$$

$$R \text{ jam } 4 = 01^\circ 00' 16''$$

$$R \text{ jam } 5 = 01^\circ 00' 16''$$

$$\delta_b \text{ jam } 4 = 10^\circ 59' 47''$$

$$\delta_b \text{ jam } 5 = 11^\circ 14' 49''$$

$$\alpha_b \text{ jam } 4 = 27^\circ 46' 20''$$

$$\alpha_b \text{ jam } 5 = 28^\circ 18' 01''$$

$$HP_b \text{ jam } 4 = 00^\circ 58' 20''$$

$$HP_b \text{ jam } 5 = 00^\circ 58' 19''$$

b. Mencari sudut waktu *ephemeris*

Adapun data sudut waktu ephemeris atau EST ialah sebagai

berikut:

$$EST \text{ jam } 4 = 267^\circ 59' 18''$$

$$EST \text{ jam } 5 = 283^\circ 01' 46''$$

c. Menghitung elemen Bessel

$$b \text{ jam } 4 = 0.0025016$$

$$b \text{ jam } 5 = 0.0025023$$

$$g_1 \text{ jam } 4 = 0.8653574$$

$$g_1 \text{ jam } 5 = 0.8650160$$

$$g_2 \text{ jam } 4 = 0.4551995$$

$$g2 \text{ jam } 5 = 0.4557461$$

$$g3 \text{ jam } 4 = 0.1973655$$

$$g3 \text{ jam } 5 = 0.1975970$$

$$a \text{ jam } 4 = 27.7454886$$

$$a \text{ jam } 5 = 27.7831496$$

$$d \text{ jam } 4 = 11.4118727$$

$$d \text{ jam } 5 = 11.4254455$$

$$g \text{ jam } 4 = 0.9974985$$

$$g \text{ jam } 5 = 0.9974978$$

$$f1 \text{ jam } 4 = 0.0046551$$

$$f1 \text{ jam } 5 = 0.0046551$$

$$f2 \text{ jam } 4 = 0.0046319$$

$$f2 \text{ jam } 5 = 0.0046319$$

$$c1 \text{ jam } 4 = 117.4745764$$

$$c1 \text{ jam } 5 = 117.4903402$$

$$c2 \text{ jam } 4 = 0.1494988$$

$$c2 \text{ jam } 5 = 0.1653416$$

$$x0 = 0.0269939$$

$$x1 = 0.4948616$$

$$y0 = -0.4273703$$

$$y1 = 0.2441747$$

$$d0 = 11.4118727$$

UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA

$$d1 = 0.0135728$$

$$L10 = 0.5468532$$

$$L11 = 0.0000737$$

$$L20 = 0.0006925$$

$$L21 = 0.0000734$$

$$M0 = 240.2429689$$

$$M1 = 15.0034069$$

$$\tan f1 = 0.0046551$$

$$\tan f2 = 0.0046319$$

d. Menghitung nilai koordinat *rectangular* pengamat

Oleh karena penulis akan memberikan contoh perhitungan gerhana Matahari di Kota Surabaya maka penulis mengambil data lintang dan bujur kota Batam pada google earth

Lokasi = Kota Surabaya

Lintang = $7^{\circ} 15' 00''$ Selatan

Bujur = $112^{\circ} 45' 00''$ Timur

Ketinggian = 10 meter

Zona waktu = GMT +7

Adapun hasil perhitungan koordinat *rectangular* pengamat adalah sebagai berikut:

$$\tan u = -7^{\circ} 13' 33.42''$$

$$\rho \sin \varphi' = -0^{\circ} 07' 31.30''$$

$$\rho \cos \varphi' = 0^\circ 59' 31.41''$$

- e. Menghitung koordinat sudut pengamat

$$H = 352^\circ 41' 10.68''$$

$$\xi / \text{xi} = -0^\circ 07' 34.65''$$

$$\eta / \text{eta} = -0^\circ 19' 03.27''$$

$$\zeta / \text{zeta} = 0^\circ 56' 23.03''$$

$$\xi_1 = 0^\circ 15' 27.60''$$

$$\eta_1 = -0^\circ 00' 24.36''$$

- f. Menghitung koreksi waktu puncak gerhana Matahari

$$u = 0^\circ 09' 11.83''$$

$$v = -0^\circ 06' 35.26''$$

$$u_1 = 0^\circ 14' 13.90''$$

$$v_1 = 0^\circ 15' 03.39''$$

$$n_2 = 0^\circ 07' 09.24''$$

$$k_1 = -0^\circ 04' 25.89''$$

- g. Menghitung koreksi waktu puncak gerhana Matahari pengulangan pertama (iterasi pertama)

$$X = -0^\circ 00' 34.40''$$

$$Y = -0^\circ 26' 43.46''$$

$$d = 11^\circ 24' 39.13''$$

$$M = 239^\circ 08' 05.42''$$

$$H = 351^\circ 34' 41.42''$$

$$\xi / \text{xi} = -0^\circ 08' 43.07''$$

$$\eta / \text{eta} = -0^\circ 19' 01.34''$$

$$\zeta / \text{zeta} = 0^\circ 56' 13.78''$$

$$\xi_1 = 0^\circ 15' 25.12''$$

$$\eta_1 = -0^\circ 00' 27.90''$$

$$u = 0^\circ 08' 08.67''$$

$$v = -0^\circ 07' 42.12''$$

$$u_1 = 0^\circ 14' 16.38''$$

$$v_1 = 0^\circ 15' 06.93''$$

$$n_2 = 0^\circ 07' 12.20''$$

$$k_2 = -0^\circ 04' 24.45''$$

- h. Menghitung koreksi waktu puncak gerhana Matahari pengulangan kedua (iterasi kedua)

$$X = -0^\circ 00' 33.69''$$

$$Y = -0^\circ 26' 43.11''$$

$$d = 11^\circ 24' 39.15''$$

$$M = 239^\circ 08' 27.01''$$

$$H = 351^\circ 35' 03.00''$$

$$\xi / \text{xi} = -0^\circ 08' 42.70''$$

$$\eta / \text{eta} = -0^\circ 19' 01.35''$$

$$\zeta / \text{zeta} = 0^\circ 56' 13.84''$$

$$\xi_1 = 0^\circ 15' 25.14''$$

UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA

$$\eta_1 = -0^\circ 00' 27.88''$$

$$u = 0^\circ 08' 09.01''$$

$$v = -0^\circ 07' 41.75''$$

$$u_1 = 0^\circ 14' 16.37''$$

$$v_1 = 0^\circ 15' 06.91''$$

$$n_2 = 0^\circ 07' 12.18''$$

$$k_3 = -0^\circ 04' 24.46''$$

- i. Menghitung koreksi waktu puncak gerhana Matahari pengulangan ketiga (iterasi ketiga)

$$X = -0^\circ 00' 33.69''$$

$$Y = -0^\circ 26' 43.11''$$

$$d = 11^\circ 24' 39.15''$$

$$M = 239^\circ 08' 26.94''$$

$$H = 351^\circ 35' 02.94''$$

$$\xi / \xi_1 = -0^\circ 08' 42.70''$$

$$\eta / \eta_1 = -0^\circ 19' 01.35''$$

$$\zeta / \zeta_1 = 0^\circ 56' 13.84''$$

$$\xi_1 = 0^\circ 15' 25.14''$$

$$\eta_1 = -0^\circ 00' 27.88''$$

$$u = 0^\circ 08' 09.01''$$

$$v = -0^\circ 07' 41.76''$$

$$u_1 = 0^\circ 14' 16.37''$$

$$v1 = 0^{\circ} 15' 06.91''$$

$$n2 = 0^{\circ} 07' 12.18''$$

$$k4 = -0^{\circ} 04' 24.46''$$

- j. Menghitung waktu tengah gerhana

$$\text{Max (Waktu universal)} = 03:54:22 \text{ UT}$$

$$\text{Max (Waktu Indonesia bagian barat)} = 10:54:22 \text{ WIB}$$

- k. Menghitung koreksi awal dan akhir fase cincin

$$L2 = 0^{\circ} 00' 02.47''$$

$$L2' = -0^{\circ} 00' 13.15''$$

$$n = 0^{\circ} 20' 47.34''$$

$$ksu = 51^{\circ} 07' 52.03''$$

Oleh karena nilai mutlak koreksi semi durasi umbra (ksu) lebih besar dari 1 maka gerhana yang terjadi di kota Surabaya adalah gerhana sebagian (parsial) sehingga tidak menghitung waktu awal dan akhir fase total/cincin. Di sini langsung menghitung ke waktu awal dan akhir gerhana.

- l. Menghitung koreksi untuk awal dan akhir gerhana menggunakan rumus pengulangan atau iterasi

$$L1 = 0^{\circ} 32' 48.65''$$

$$L1' = 0^{\circ} 32' 32.95''$$

$$ksp = -0^{\circ} 20' 39.79''$$

$$sp = 1^{\circ} 28' 11.70''$$

$$kpl1 = -1^{\circ} 32' 36.16''$$

$$kpr1 = 1^{\circ} 23' 47.24''$$

m. Menghitung koreksi awal gerhana (kpl) pengulangan pertama

(iterasi pertama)

$$X = -0^{\circ} 44' 12.35''$$

$$Y = -0^{\circ} 48' 15.21''$$

$$d = 11^{\circ} 23' 27.33''$$

$$L1 = 0^{\circ} 32' 48.26''$$

$$M = 217^{\circ} 05' 13.40''$$

$$H = 329^{\circ} 31' 49.39''$$

$$\xi / xi = -0^{\circ} 30' 11.00''$$

$$\eta / eta = -0^{\circ} 17' 30.36''$$

$$\zeta / zeta = 0^{\circ} 48' 48.43''$$

$$\xi_1 = 0^{\circ} 13' 26.05''$$

$$\eta_1 = -0^{\circ} 01' 34.52''$$

$$u = -0^{\circ} 14' 01.35''$$

$$v = -0^{\circ} 30' 44.85''$$

$$u_1 = 0^{\circ} 16' 15.45''$$

$$v_1 = 0^{\circ} 16' 13.55''$$

$$n_2 = 0^{\circ} 08' 47.59''$$

$$n = 0^{\circ} 22' 58.15''$$

UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA

$$L1' = 0^{\circ} 32' 34.63''$$

$$k_{sp} = -0^{\circ} 21' 50.29''$$

$$sp = 0^{\circ} 03' 24.21''$$

$$k_{pl2} = -1^{\circ} 29' 11.95''$$

- n. Menghitung koreksi awal gerhana (kpl) pengulangan kedua (iterasi kedua)

$$X = -0^{\circ} 42' 31.30''$$

$$Y = -0^{\circ} 47' 25.34''$$

$$d = 11^{\circ} 23' 30.10''$$

$$L1 = 0^{\circ} 32' 48.28''$$

$$M = 217^{\circ} 56' 17.20''$$

$$H = 330^{\circ} 22' 53.20''$$

$$\xi / \xi_1 = -0^{\circ} 29' 25.08''$$

$$\eta / \eta_1 = -0^{\circ} 17' 35.65''$$

$$\zeta / \zeta_1 = 0^{\circ} 49' 14.45''$$

$$\xi_1 = 0^{\circ} 13' 33.01''$$

$$\eta_1 = -0^{\circ} 01' 32.15''$$

$$u = -0^{\circ} 13' 06.22''$$

$$v = -0^{\circ} 29' 49.70''$$

$$u_1 = 0^{\circ} 16' 08.49''$$

$$v_1 = 0^{\circ} 16' 11.18''$$

$$n_2 = 0^{\circ} 08' 42.55''$$

UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA

$$n = 0^{\circ} 22' 51.56''$$

$$L1' = 0^{\circ} 32' 34.52''$$

$$ksp = -0^{\circ} 21' 42.29''$$

$$sp = 0^{\circ} 00' 00.72''$$

$$kpl3 = -1^{\circ} 29' 11.23''$$

- o. Menghitung koreksi awal gerhana (kpl) pengulangan ketiga (iterasi ketiga)

$$X = -0^{\circ} 42' 30.94''$$

$$Y = -0^{\circ} 47' 25.17''$$

$$d = 11^{\circ} 23' 30.11''$$

$$L1 = 0^{\circ} 32' 48.28''$$

$$M = 217^{\circ} 56' 28.01''$$

$$H = 330^{\circ} 23' 04.00''$$

$$\xi / xi = -0^{\circ} 29' 24.91''$$

$$\eta / eta = -0^{\circ} 17' 35.66''$$

$$\zeta / zeta = 0^{\circ} 49' 14.54''$$

$$\xi1 = 0^{\circ} 13' 33.03''$$

$$\eta1 = -0^{\circ} 01' 32.14''$$

$$u = -0^{\circ} 13' 06.03''$$

$$v = -0^{\circ} 29' 49.50''$$

$$u1 = 0^{\circ} 16' 08.47''$$

$$v1 = 0^{\circ} 16' 11.17''$$

UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA

$$n_2 = 0^\circ 08' 42.53''$$

$$n = 0^\circ 22' 51.54''$$

$$L_1' = 0^\circ 32' 34.52''$$

$$k_{sp} = -0^\circ 21' 42.26''$$

$$sp = 0^\circ 00' 00.00''$$

$$k_{pl4} = -1^\circ 29' 11.23''$$

p. Menghitung jam awal gerhana

$$\text{Awal gerhana (Waktu universal)} = 02:29:35 \text{ UT}$$

$$\text{Awal gerhana (Waktu Indonesia bagian barat)} = 09:29:35 \text{ WIB}$$

q. Menghitung koreksi akhir gerhana (kpr) pengulangan pertama
(iterasi pertama)

$$X = 0^\circ 43' 04.97''$$

$$Y = -0^\circ 05' 11.01''$$

$$d = 11^\circ 25' 50.98''$$

$$L_1 = 0^\circ 32' 49.04''$$

$$M = 261^\circ 11' 40.49''$$

$$H = 373^\circ 38' 16.48''$$

$$\xi / \xi_i = 0^\circ 14' 02.09''$$

$$\eta / \eta_i = -0^\circ 18' 50.19''$$

$$\zeta / \zeta_i = 0^\circ 55' 12.44''$$

$$\xi_1 = 0^\circ 15' 08.84''$$

$$\eta_1 = 0^\circ 00' 42.85''$$

UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA

$$u = 0^{\circ} 29' 02.88''$$

$$v = 0^{\circ} 13' 39.18''$$

$$u_1 = 0^{\circ} 14' 32.66''$$

$$v_1 = 0^{\circ} 13' 56.18''$$

$$n_2 = 0^{\circ} 06' 45.76''$$

$$n = 0^{\circ} 20' 08.61''$$

$$L_1' = 0^{\circ} 32' 33.62''$$

$$k_{sp} = -0^{\circ} 18' 52.06''$$

$$sp = 0^{\circ} 01' 27.38''$$

$$k_{pr2} = 1^{\circ} 25' 14.62''$$

- r. Menghitung koreksi akhir gerhana (kpr) pengulangan kedua (iterasi kedua)

$$X = 0^{\circ} 43' 48.21''$$

$$Y = -0^{\circ} 04' 49.67''$$

$$d = 11^{\circ} 25' 52.16''$$

$$L_1 = 0^{\circ} 32' 49.05''$$

$$M = 261^{\circ} 33' 31.43''$$

$$H = 374^{\circ} 00' 07.43''$$

$$\xi / \xi_i = 0^{\circ} 14' 24.13''$$

$$\eta / \eta_i = -0^{\circ} 18' 49.14''$$

$$\zeta / \zeta_i = 0^{\circ} 55' 07.11''$$

$$\xi_1 = 0^{\circ} 15' 07.42''$$

UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA

$$\eta_1 = 0^\circ 00' 43.99''$$

$$u = 0^\circ 29' 24.08''$$

$$v = 0^\circ 13' 59.46''$$

$$u_1 = 0^\circ 14' 34.08''$$

$$v_1 = 0^\circ 13' 55.04''$$

$$n_2 = 0^\circ 06' 45.92''$$

$$n = 0^\circ 20' 08.85''$$

$$L_1' = 0^\circ 32' 33.65''$$

$$k_{sp} = -0^\circ 18' 46.97''$$

$$sp = 0^\circ 00' 00.07''$$

$$k_{pr3} = 1^\circ 25' 14.69''$$

- s. Menghitung koreksi akhir gerhana (kpr) pengulangan ketiga (iterasi ketiga)

$$X = 0^\circ 43' 48.24''$$

$$Y = -0^\circ 04' 49.65''$$

$$d = 11^\circ 25' 52.16''$$

$$L_1 = 0^\circ 32' 49.05''$$

$$M = 261^\circ 33' 32.49''$$

$$H = 374^\circ 00' 08.48''$$

$$\xi / \xi_i = 0^\circ 14' 24.15''$$

$$\eta / \eta_a = -0^\circ 18' 49.13''$$

$$\zeta / \zeta_a = 0^\circ 55' 07.11''$$

UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA

$$\xi_1 = 0^\circ 15' 07.42''$$

$$\eta_1 = 0^\circ 00' 43.99''$$

$$u = 0^\circ 29' 24.10''$$

$$v = 0^\circ 13' 59.48''$$

$$u_1 = 0^\circ 14' 34.08''$$

$$v_1 = 0^\circ 13' 55.04''$$

$$n_2 = 0^\circ 06' 45.92''$$

$$n = 0^\circ 20' 08.85''$$

$$L_1' = 0^\circ 32' 33.65''$$

$$k_{sp} = -0^\circ 18' 46.97''$$

$$s_p = 0^\circ 00' 00.00''$$

$$k_{pr4} = 1^\circ 25' 14.69''$$

t. Menghitung jam akhir gerhana

Jam akhir gerhana (Waktu universal) = 05:24:01 UT

Jam akhir gerhana (Waktu Indonesia bagaian barat) = 12:24:01 WIB

Adapun kesimpulan fase-fase gerhana Matahari hybrid 20 April 2023 yang dilihat dari kota Surabaya adalah sebagai berikut:

Fase	Universal Time	WIB
Awal Gerhana	02:29:35	09:29:35
Tengah Gerhana	03:54:22	10:54:22
Akhir Gerhana	05:24:01	12:24:01

Tabel 4.2. kesimpulan fase-fase gerhana Matahari hybrid 20 April 2023 yang dilihat dari kota Surabaya

3. Gerhana Matahari total 20 April 2042 kota Jambi

Dalam gerhana Matahari cincin 26 Desember 2019 dijumpai bahwa waktu referensi ketika iluminasi bulan terkecil pada tanggal tersebut tepat pada jam 5 GMT. Berikut ini adalah urutan perhitungan gerhana Matahari metode Bessel dengan menggunakan data *sun and moon ephemeris* dalam *software Accurate Times*:

- a. Mengambil data Matahari dan Bulan dalam *software Accurate Times* dalam *software Accurate Times*

$$\Delta T = 86.449 \text{ detik}$$

$$T_0 = 2$$

$$\alpha_{\text{jam 2}} = 28^\circ 02' 25''$$

$$\alpha_{\text{jam 3}} = 28^\circ 04' 45''$$

$$R_{\text{jam 2}} = 01^\circ 00' 16''$$

$$R_{\text{jam 3}} = 01^\circ 00' 16''$$

$$\delta_{\text{jam 2}} = 11^\circ 42' 40''$$

$$\delta_{\text{jam 3}} = 11^\circ 59' 06''$$

$$\alpha_{\text{b jam 2}} = 27^\circ 44' 52''$$

$$\alpha_{\text{b jam 3}} = 28^\circ 19' 34''$$

$$HP_{\text{b jam 2}} = 01^\circ 01' 02''$$

$$HP_{\text{b jam 3}} = 01^\circ 01' 01''$$

- b. Mencari sudut waktu *ephemeris*

Adapun data sudut waktu ephemeris atau EST ialah sebagai

berikut:

$$\text{EST jam 2} = 238^{\circ}17'58''$$

$$\text{EST jam 3} = 253^{\circ}20'26''$$

c. Menghitung elemen Bessel

$$b \text{ jam 2} = 0.0023910$$

$$b \text{ jam 3} = 0.0023916$$

$$g1 \text{ jam 2} = 0.8627719$$

$$g1 \text{ jam 3} = 0.8624273$$

$$g2 \text{ jam 2} = 0.4595358$$

$$g2 \text{ jam 3} = 0.4600789$$

$$g3 \text{ jam 2} = 0.1991867$$

$$g3 \text{ jam 3} = 0.1994224$$

$$a \text{ jam 2} = 28.0409783$$

$$a \text{ jam 3} = 28.0785756$$

$$d \text{ jam 2} = 11.5173141$$

$$d \text{ jam 3} = 11.5311365$$

$$g \text{ jam 2} = 0.9976091$$

$$g \text{ jam 3} = 0.9976085$$

$$f1 \text{ jam 2} = 0.0046546$$

$$f1 \text{ jam 3} = 0.0046546$$

$$f2 \text{ jam 2} = 0.0046314$$

UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA

$$f2 \text{ jam } 3 = 0.0046314$$

$$c1 \text{ jam } 2 = 114.8746496$$

$$c1 \text{ jam } 3 = 114.8887570$$

$$c2 \text{ jam } 2 = -2.4634406$$

$$c2 \text{ jam } 3 = -2.4492626$$

$$x0 = -0.2822500$$

$$x1 = 0.5203669$$

$$y0 = 0.1906698$$

$$y1 = 0.2557530$$

$$d0 = 11.5173141$$

$$d1 = 0.0138225$$

$$L10 = 0.5346910$$

$$L11 = 0.0000660$$

$$L20 = -0.0114091$$

$$L21 = 0.0000657$$

$$M0 = 210.2585828$$

$$M1 = 15.0034706$$

$$\tan f1 = 0.0046546$$

$$\tan f2 = 0.0046314$$

d. Menghitung nilai koordinat *rectangular* pengamat

Oleh karena penulis akan memberikan contoh perhitungan gerhana Matahari di Kota Batam maka penulis mengambil data lintang dan bujur kota Batam pada google earth.

Lokasi = Kota Jambi
 Lintang = $1^{\circ} 39' 05.04''$ Selatan
 Bujur = $103^{\circ} 38' 03.12''$ Timur
 Ketinggian = 10 meter

Adapun hasil perhitungan koordinat *rectangular* pengamat adalah sebagai berikut:

$$\tan u = -1^{\circ} 38' 45.12''$$

$$\rho \sin \varphi' = -0^{\circ} 01' 43.05''$$

$$\rho \cos \varphi' = 0^{\circ} 59' 58.52''$$

e. Menghitung koordinat sudut pengamat

$$H = 313^{\circ} 31' 53.74''$$

$$\xi / \xi_1 = -0^{\circ} 43' 28.91''$$

$$\eta / \eta_1 = -0^{\circ} 09' 55.84''$$

$$\zeta / \zeta_1 = 0^{\circ} 40' 08.02''$$

$$\xi_1 = 0^{\circ} 10' 49.02''$$

$$\eta_1 = -0^{\circ} 02' 16.99''$$

f. Menghitung koreksi waktu puncak gerhana Matahari

$$u = 0^{\circ} 26' 32.81''$$

$$v = 0^{\circ} 21' 22.26''$$

$$u_1 = 0^\circ 20' 24.30''$$

$$v_1 = 0^\circ 17' 37.70''$$

$$n_2 = 0^\circ 12' 07.12''$$

$$k_1 = -1^\circ 15' 47.13''$$

- g. Menghitung koreksi waktu puncak gerhana Matahari pengulangan pertama (iterasi pertama)

$$X = -0^\circ 56' 22.28''$$

$$Y = -0^\circ 07' 56.53''$$

$$d = 11^\circ 29' 59.48''$$

$$M = 191^\circ 18' 28.15''$$

$$H = 294^\circ 34' 51.00''$$

$$\xi / \xi_1 = -0^\circ 54' 32.41''$$

$$\eta / \eta_1 = -0^\circ 06' 39.41''$$

$$\zeta / \zeta_1 = 0^\circ 24' 06.31''$$

$$\xi_1 = 0^\circ 06' 31.98''$$

$$\eta_1 = -0^\circ 02' 51.44''$$

$$u = -0^\circ 01' 49.87''$$

$$v = -0^\circ 01' 17.12''$$

$$u_1 = 0^\circ 24' 41.34''$$

$$v_1 = 0^\circ 18' 12.15''$$

$$n_2 = 0^\circ 15' 40.88''$$

$$k_2 = -1^\circ 11' 24.63''$$

UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA

- h. Menghitung koreksi waktu puncak gerhana Matahari pengulangan kedua (iterasi kedua)

$$X = -0^{\circ} 54' 05.68''$$

$$Y = -0^{\circ} 06' 49.40''$$

$$d = 11^{\circ} 30' 03.11''$$

$$M = 192^{\circ} 24' 06.54''$$

$$H = 295^{\circ} 40' 29.39''$$

$$\xi / \text{xi} = -0^{\circ} 54' 03.23''$$

$$\eta / \text{eta} = -0^{\circ} 06' 51.84''$$

$$\zeta / \text{zeta} = 0^{\circ} 25' 07.26''$$

$$\xi_1 = 0^{\circ} 06' 48.27''$$

$$\eta_1 = -0^{\circ} 02' 49.93''$$

$$u = -0^{\circ} 00' 02.45''$$

$$v = 0^{\circ} 00' 02.45''$$

$$u_1 = 0^{\circ} 24' 25.05''$$

$$v_1 = 0^{\circ} 18' 10.64''$$

$$n_2 = 0^{\circ} 15' 26.63''$$

$$k_3 = -1^{\circ} 11' 23.63''$$

- i. Menghitung koreksi waktu puncak gerhana Matahari pengulangan ketiga (iterasi ketiga)

$$X = -0^{\circ} 54' 05.16''$$

$$Y = -0^{\circ} 06' 49.14''$$

$$d = 11^{\circ} 30' 03.12''$$

$$M = 192^{\circ} 24' 21.51''$$

$$H = 295^{\circ} 40' 44.35''$$

$$\xi / \xi_i = -0^{\circ} 54' 03.12''$$

$$\eta / \eta_i = -0^{\circ} 06' 51.89''$$

$$\zeta / \zeta_i = 0^{\circ} 25' 07.49''$$

$$\xi_1 = 0^{\circ} 06' 48.33''$$

$$\eta_1 = -0^{\circ} 02' 49.93''$$

$$u = -0^{\circ} 00' 02.05''$$

$$v = 0^{\circ} 00' 02.75''$$

$$u_1 = 0^{\circ} 24' 24.99''$$

$$v_1 = 0^{\circ} 18' 10.64''$$

$$n_2 = 0^{\circ} 15' 26.58''$$

$$k_4 = -1^{\circ} 11' 23.64''$$

j. Menghitung waktu tengah gerhana

$$\text{Max (Waktu universal)} = 00:47:10 \text{ UT}$$

$$\text{Max (Waktu Indonesia bagian barat)} = 07:47:10 \text{ WIB}$$

k. Menghitung koreksi awal dan akhir fase total

$$L_2 = -0^{\circ} 00' 41.35''$$

$$L_2' = -0^{\circ} 00' 48.34''$$

$$n = 0^{\circ} 30' 26.39''$$

$$ksu = -0^{\circ} 04' 15.12''$$

$$su = 0^{\circ} 01' 35.04''$$

- l. Menghitung waktu awal dan akhir fase total

$$\text{Waktu awal total (Waktu universal)} = 00:45:35 \text{ UT}$$

$$\text{Waktu awal total (Waktu Indonesia bagian barat)} = 07:45:35 \text{ WIB}$$

$$\text{Waktu akhir total (Waktu universal)} = 00:48:45 \text{ UT}$$

$$\text{Waktu akhir total (Waktu Indonesia bagian barat)} = 07:48:45 \text{ WIB}$$

- m. Menghitung koreksi untuk awal dan akhir gerhana menggunakan rumus pengulangan atau iterasi

$$L1 = 0^{\circ} 32' 04.61''$$

$$L1' = 0^{\circ} 31' 57.59''$$

$$ksp = 0^{\circ} 00' 06.43''$$

$$sp = 1^{\circ} 02' 59.76''$$

$$kpl1 = -2^{\circ} 14' 23.40''$$

$$kpr1 = -0^{\circ} 08' 23.87''$$

- n. Menghitung koreksi awal gerhana (kpl) pengulangan pertama (iterasi pertama)

$$X = -1^{\circ} 26' 52.02''$$

$$Y = -0^{\circ} 22' 55.83''$$

$$d = 11^{\circ} 29' 10.87''$$

$$L1 = 0^{\circ} 32' 04.36''$$

$$M = 176^{\circ} 39' 11.97''$$

$$H = 279^{\circ} 55' 34.82''$$

$$\xi / \xi_i = -0^\circ 59' 04.65''$$

$$\eta / \eta_i = -0^\circ 03' 44.52''$$

$$\zeta / \zeta_i = 0^\circ 09' 47.37''$$

$$\xi_1 = 0^\circ 02' 42.44''$$

$$\eta_1 = -0^\circ 03' 05.47''$$

$$u = -0^\circ 27' 47.37''$$

$$v = -0^\circ 19' 11.31''$$

$$u_1 = 0^\circ 28' 30.88''$$

$$v_1 = 0^\circ 18' 26.18''$$

$$n_2 = 0^\circ 19' 12.99''$$

$$n = 0^\circ 33' 57.34''$$

$$L_1' = 0^\circ 32' 01.62''$$

$$k_{sp} = -0^\circ 01' 55.26''$$

$$sp = 0^\circ 03' 04.95''$$

$$k_{pl2} = -2^\circ 11' 18.44''$$

o. Menghitung koreksi awal gerhana (kpl) pengulangan kedua (iterasi kedua)

$$X = -1^\circ 25' 15.78''$$

$$Y = -0^\circ 22' 08.52''$$

$$d = 11^\circ 29' 13.43''$$

$$L_1 = 0^\circ 32' 04.37''$$

$$M = 177^\circ 25' 26.89''$$

$$H = 280^{\circ} 41' 49.73''$$

$$\xi / \xi_i = -0^{\circ} 58' 55.99''$$

$$\eta / \eta_i = -0^{\circ} 03' 54.01''$$

$$\zeta / \zeta_i = 0^{\circ} 10' 34.05''$$

$$\xi_1 = 0^{\circ} 02' 54.91''$$

$$\eta_1 = -0^{\circ} 03' 05.03''$$

$$u = -0^{\circ} 26' 19.80''$$

$$v = -0^{\circ} 18' 14.52''$$

$$u_1 = 0^{\circ} 28' 18.41''$$

$$v_1 = 0^{\circ} 18' 25.74''$$

$$n_2 = 0^{\circ} 19' 00.91''$$

$$n = 0^{\circ} 33' 46.64''$$

$$L_1' = 0^{\circ} 32' 01.42''$$

$$k_{sp} = -0^{\circ} 01' 43.63''$$

$$sp = 0^{\circ} 00' 00.87''$$

$$k_{pl3} = -2^{\circ} 11' 17.58''$$

p. Menghitung koreksi awal gerhana (kpl) pengulangan ketiga (iterasi

ketiga)

$$X = -1^{\circ} 25' 15.33''$$

$$Y = -0^{\circ} 22' 08.30''$$

$$d = 11^{\circ} 29' 13.44''$$

$$L_1 = 0^{\circ} 32' 04.37''$$

$$M = 177^{\circ} 25' 39.93''$$

$$H = 280^{\circ} 42' 02.77''$$

$$\xi / \xi_i = -0^{\circ} 58' 55.94''$$

$$\eta / \eta_i = -0^{\circ} 03' 54.05''$$

$$\zeta / \zeta_i = 0^{\circ} 10' 34.27''$$

$$\xi_1 = 0^{\circ} 02' 54.97''$$

$$\eta_1 = -0^{\circ} 03' 05.03''$$

$$u = -0^{\circ} 26' 19.39''$$

$$v = -0^{\circ} 18' 14.25''$$

$$u_1 = 0^{\circ} 28' 18.35''$$

$$v_1 = 0^{\circ} 18' 25.74''$$

$$n_2 = 0^{\circ} 19' 00.85''$$

$$n = 0^{\circ} 33' 46.59''$$

$$L_1' = 0^{\circ} 32' 01.42''$$

$$k_{sp} = -0^{\circ} 01' 43.58''$$

$$s_p = 0^{\circ} 00' 00.00''$$

$$k_{p14} = -2^{\circ} 11' 17.57''$$

q. Menghitung jam awal gerhana

$$\text{Awal gerhana (Waktu universal)} = 23:47:16 \text{ UT}$$

$$\text{Awal gerhana (Waktu Indonesia bagian barat)} = 06:47:16 \text{ WIB}$$

r. Menghitung koreksi akhir gerhana (kpr) pengulangan pertama
(iterasi pertama)

$$X = -0^{\circ} 21' 18.30''$$

$$Y = 0^{\circ} 09' 17.54''$$

$$d = 11^{\circ} 30' 55.37''$$

$$L1 = 0^{\circ} 32' 04.85''$$

$$M = 208^{\circ} 09' 31.04''$$

$$H = 311^{\circ} 25' 53.88''$$

$$\xi / \text{xi} = -0^{\circ} 44' 57.98''$$

$$\eta / \text{eta} = -0^{\circ} 09' 36.35''$$

$$\zeta / \text{zeta} = 0^{\circ} 38' 32.73''$$

$$\xi_1 = 0^{\circ} 10' 23.55''$$

$$\eta_1 = -0^{\circ} 02' 21.62''$$

$$u = 0^{\circ} 23' 39.68''$$

$$v = 0^{\circ} 18' 53.89''$$

$$u_1 = 0^{\circ} 20' 49.77''$$

$$v_1 = 0^{\circ} 17' 42.33''$$

$$n_2 = 0^{\circ} 12' 27.35''$$

$$n = 0^{\circ} 27' 20.27''$$

$$L1' = 0^{\circ} 31' 54.09''$$

$$k_{sp} = -0^{\circ} 01' 44.42''$$

$$sp = 0^{\circ} 03' 33.37''$$

$$k_{pr2} = -0^{\circ} 04' 50.51''$$

UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA

- s. Menghitung koreksi akhir gerhana (kpr) pengulangan kedua (iterasi kedua)

$$X = -0^{\circ} 19' 27.27''$$

$$Y = 0^{\circ} 10' 12.11''$$

$$d = 11^{\circ} 30' 58.32''$$

$$L1 = 0^{\circ} 32' 04.87''$$

$$M = 209^{\circ} 02' 52.27''$$

$$H = 312^{\circ} 19' 15.12''$$

$$\xi / \xi_i = -0^{\circ} 44' 20.70''$$

$$\eta / \eta_i = -0^{\circ} 09' 44.68''$$

$$\zeta / \zeta_i = 0^{\circ} 39' 13.47''$$

$$\xi_1 = 0^{\circ} 10' 34.44''$$

$$\eta_1 = -0^{\circ} 02' 19.68''$$

$$u = 0^{\circ} 24' 53.42''$$

$$v = 0^{\circ} 19' 56.79''$$

$$u_1 = 0^{\circ} 20' 38.88''$$

$$v_1 = 0^{\circ} 17' 40.39''$$

$$n_2 = 0^{\circ} 12' 18.68''$$

$$n = 0^{\circ} 27' 10.72''$$

$$L1' = 0^{\circ} 31' 53.91''$$

$$k_{sp} = -0^{\circ} 01' 56.41''$$

$$sp = 0^{\circ} 00' 00.25''$$

UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA

$$kpr3 = -0^{\circ} 04' 50.26''$$

- t. Menghitung koreksi akhir gerhana (kpr) pengulangan ketiga (iterasi ketiga)

$$X = -0^{\circ} 19' 27.14''$$

$$Y = 0^{\circ} 10' 12.18''$$

$$d = 11^{\circ} 30' 58.32''$$

$$L1 = 0^{\circ} 32' 04.87''$$

$$M = 209^{\circ} 02' 56.03''$$

$$H = 312^{\circ} 19' 18.87''$$

$$\xi / xi = -0^{\circ} 44' 20.65''$$

$$\eta / eta = -0^{\circ} 09' 44.69''$$

$$\zeta / zeta = 0^{\circ} 39' 13.52''$$

$$\xi_1 = 0^{\circ} 10' 34.45''$$

$$\eta_1 = -0^{\circ} 02' 19.68''$$

$$u = 0^{\circ} 24' 53.51''$$

$$v = 0^{\circ} 19' 56.87''$$

$$u_1 = 0^{\circ} 20' 38.87''$$

$$v_1 = 0^{\circ} 17' 40.39''$$

$$n_2 = 0^{\circ} 12' 18.67''$$

$$n = 0^{\circ} 27' 10.71''$$

$$L1' = 0^{\circ} 31' 53.91''$$

$$ksp = -0^{\circ} 01' 56.43''$$

UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA

$$sp = -0^{\circ} 00' 00.00''$$

$$kpr4 = -0^{\circ} 04' 50.26''$$

u. Menghitung jam akhir gerhana

$$\text{Jam akhir gerhana (Waktu universal)} = 01:53:43 \text{ UT}$$

$$\text{Jam akhir gerhana (Waktu Indonesia bagaian barat)} = 08:53:43 \text{ WIB}$$

Adapun kesimpulan fase-fase gerhana Matahari total 20 April 2042 yang dilihat dari kota Jambi adalah sebagai berikut:

Fase	Universal Time	WIB
Awal Gerhana	23:47:16	06:47:16
Awal Total	00:45:35	07:45:35
Tengah Gerhana	00:47:10	07:47:10
Akhir Total	00:48:45	07:48:45
Akhir Gerhana	01:53:43	08:53:43

Tabel 4.3. Kesimpulan fase-fase gerhana Matahari total 20 April 2042 yang dilihat dari kota Jambi

B. Hasil Perhitungan Gerhana Matahari Metode Bessel dengan Menggunakan Data *Sun and Moon Ephemeris* Dalam *Software Accurate Times*

1. Hasil perhitungan jadwal gerhana Matahari metode Bessel dengan menggunakan data *sun and moon ephemeris* dalam *software accurate times*

Di bawah ini adalah tabel hasil perhitungan gerhana Matahari metode Bessel dengan menggunakan data sun and moon ephemeris dalam software accurate times. Penulis melakukan perhitungan dengan menggunakan microsoft excel agar lebih

memudahkan dalam melakukan perhitungan 15 gerhana matahari untuk beberapa kota di Indonesia.

Tanggal	Kota	Jadwal Gerhana				
		C1	C2	MAX	C3	C4
1/9/2016	Bandar Lampung	17:32:29	-	17:54:53	-	18:16:39
	Bengkulu	17:38:13	-	17:53:25	-	18:08:32
26/12/2019	Batam	10:27:44	12:22:51	12:24:25	12:25:58	14:18:51
	Surabaya	11:03:25	-	12:55:09	-	14:33:51
20/4/2023	Salebe	12:12:40	13:48:57	13:49:30	13:50:04	15:20:21
	Surabaya	09:29:35	-	10:54:22	-	12:24:01
21/5/2031	Borneo	15:35:35	17:01:20	17:03:21	17:05:22	18:15:29
	Surabaya	14:35:29	-	16:02:03	-	17:13:12
20/4/2042	Jambi	06:47:16	07:45:35	07:47:10	07:48:45	08:53:43
	Surabaya	06:45:40	-	07:46:06	-	08:53:04
5/2/2046	Jayapura	05:06:14	06:12:42	06:16:05	06:19:28	07:39:17
	Merauke	05:05:17	00:00:00	06:13:32	00:00:00	07:34:02
25/11/2049	Martapura	11:14:26	13:03:16	13:03:32	13:03:48	14:42:12
	Surabaya	11:44:50	-	13:27:44	-	14:55:36
23/9/2052	Jayapura	05:49:17	-	06:57:56	-	08:18:26
	Maumere	04:54:49	05:54:47	05:55:55	05:57:03	07:05:34
20/3/2053	Denpasar	15:09:10	16:32:25	16:33:00	16:33:35	17:44:31
	Surabaya	14:06:25	-	15:32:01	-	16:44:54
12/9/2053	Nias	17:11:25	18:13:08	18:13:36	18:14:05	19:09:21
	Medan	17:10:13	-	18:11:56	-	19:07:19
5/11/2059	Medan	16:42:55	17:58:04	17:59:57	18:01:50	19:05:48
	Banda Aceh	16:37:17	-	17:57:19	-	19:05:06
28/2/2063	Batam	14:48:32	16:14:04	16:17:11	16:20:18	17:33:21
	Surabaya	14:48:03	-	16:09:48	-	17:20:34
24/8/2082	Medan	05:39:38	06:35:58	06:36:40	06:37:23	07:40:30
	Surabaya	05:52:26	-	06:54:44	-	08:05:28
22/5/2096	Bandar Lampung	05:59:10	06:52:10	06:53:46	06:55:23	07:54:13
	Surabaya	05:57:36	-	06:54:06	-	07:57:05
15/11/2096	Manado	05:33:06	06:39:08	06:42:28	06:45:47	08:03:09
	Makasar	05:31:47	06:35:00	06:37:50	06:40:40	07:53:41

Tabel 4.4. Hasil jadwal gerhana Matahari metode Bessel dengan dengan menggunakan data *sun and moon ephemeris* dalam *software accurate times*.

2. Hasil perhitungan jadwal gerhana Matahari dari NASA

Penulis melakukan perbandingan hasil dengan merujuk pada hasil jadwal gerhana Matahari yang dihitung oleh NASA dalam website Javascript Solar Eclipse Explorer³. Adapun hasil jadwal gerhana dari NASA adalah sebagai berikut.

Tgl	DAERAH	Jadwal Gerhana				
		C1	C2	MAX	C3	C4
1/9/2016	Bandar Lampung	17:32:26	-	17:54:55	-	18:16:43
	Bengkulu	17:38:09	-	17:53:28	-	18:08:38
26/12/2019	Batam	10:27:42	12:22:52	12:24:25	12:25:58	14:18:55
	Surabaya	11:03:23	-	12:55:08	-	14:33:53
20/4/2023	Salebe	12:12:43	13:48:57	13:49:31	13:50:04	15:20:21
	Surabaya	09:29:39	-	10:54:23	-	12:24:01
21/5/2031	Borneo	15:35:35	17:01:18	17:03:19	17:05:19	18:15:25
	Surabaya	14:35:30	-	16:02:01	-	17:13:09
20/4/2042	Jambi	06:47:21	07:45:39	07:47:14	07:48:49	08:53:45
	Surabaya	06:45:43	-	07:46:09	-	08:53:06
5/2/2046	Jayapura	05:06:17	06:12:43	06:16:05	06:19:33	07:39:18
	Merauke	05:05:21	-	06:13:36	-	07:34:03
25/11/2049	Martapura	11:14:24	13:03:17	13:03:33	13:03:50	14:42:17
	Surabaya	11:44:48	-	13:27:46	-	14:55:40
23/9/2052	Jayapura	05:49:20	-	06:57:58	-	08:18:28
	Maumere	04:54:52	05:54:48	05:55:57	05:57:05	07:05:35
20/3/2053	Denpasar	15:09:11	16:32:26	16:33:00	16:33:35	17:44:30
	Surabaya	14:06:27	-	15:32:01	-	16:44:53
12/9/2053	Nias	17:11:27	18:13:08	18:13:37	18:14:05	19:09:21
	Medan	17:10:15	-	18:11:57	-	19:07:19
5/11/2059	Medan	16:42:57	17:58:06	18:00:01	18:01:57	19:05:53
	Banda Aceh	16:37:20	00:00:00	17:57:24	00:00:00	19:05:12
28/2/2063	Batam	14:48:35	16:14:06	16:17:13	16:20:20	17:33:20
	Surabaya	14:48:07	-	16:09:49	-	17:20:33
24/8/2082	Medan	05:39:40	06:35:59	06:36:42	06:37:26	07:40:33
	Surabaya	05:52:29	-	06:54:46	-	08:05:32

³ <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/JSEX/JSEX-index.html>

22/5/2096	Bandar Lampung	05:59:10	06:52:10	06:53:47	06:55:24	07:54:14
	Surabaya	05:57:34	-	06:54:06	-	07:57:07
15/11/2096	Manado	05:33:05	06:39:08	06:42:26	06:45:45	08:03:09
	Makasar	05:31:45	06:34:58	06:37:49	06:40:40	07:53:41

Tabel 4.5. Hasil jadwal gerhana dari NASA

Penulis melakukan pendataan hasil jadwal gerhana Matahari dari NASA yang disesuaikan dengan kota yang dilakukan perhitungan dengan data *sun and moon ephemeris* dalam *software accurate times*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui selisih antara jadwal gerhana yang dihitung dengan data *sun and moon ephemeris* dalam *software accurate times* dengan jadwal gerhana yang dihitung oleh NASA dalam websitenya. Adapun selisihnya dapat dilihat dalam tabel di bawah ini:

Tgl	DAERAH	Jadwal Gerhana				
		C1	C2	MAX	C3	C4
1/9/2016	Bandar Lampung	00:00:03	-	00:00:02	-	00:00:04
	Bengkulu	00:00:04	-	00:00:03	-	00:00:06
26/12/2019	Batam	00:00:02	00:00:01	00:00:00	00:00:00	00:00:04
	Surabaya	00:00:02	-	00:00:01	-	00:00:02
20/4/2023	Salebe	00:00:03	00:00:00	00:00:01	00:00:00	00:00:00
	Surabaya	00:00:04	-	00:00:01	-	00:00:00
21/5/2031	Borneo	00:00:00	00:00:02	00:00:02	00:00:03	00:00:04
	Surabaya	00:00:01	-	00:00:02	-	00:00:03
20/4/2042	Jambi	00:00:05	00:00:04	00:00:04	00:00:04	00:00:02
	Surabaya	00:00:03	-	00:00:03	-	00:00:02
5/2/2046	Jayapura	00:00:03	00:00:01	00:00:00	00:00:05	00:00:01
	Merauke	00:00:04	-	00:00:04	-	00:00:01
25/11/2049	Martapura	00:00:02	00:00:01	00:00:01	00:00:02	00:00:05
	Surabaya	00:00:02	-	00:00:02	-	00:00:04
23/9/2052	Jayapura	00:00:03	-	00:00:02	-	00:00:02
	Maumere	00:00:03	00:00:01	00:00:02	00:00:02	00:00:01
20/3/2053	Denpasar	00:00:01	00:00:01	00:00:00	00:00:00	00:00:01
	Surabaya	00:00:02	-	00:00:00	-	00:00:01
12/9/2053	Nias	00:00:02	00:00:00	00:00:01	00:00:00	00:00:00
	Medan	00:00:02	-	00:00:01	-	00:00:00
5/11/2059	Medan	00:00:02	00:00:02	00:00:04	00:00:07	00:00:05
	Banda Aceh	00:00:03	-	00:00:05	-	00:00:06

28/2/2063	Batam	00:00:03	00:00:02	00:00:02	00:00:02	00:00:01
	Surabaya	00:00:04	-	00:00:01	-	00:00:01
24/8/2082	Medan	00:00:02	00:00:01	00:00:02	00:00:03	00:00:03
	Surabaya	00:00:03	-	00:00:02	-	00:00:04
22/5/2096	Bandar Lampung	00:00:00	00:00:00	00:00:01	00:00:01	00:00:01
	Surabaya	00:00:02	-	00:00:00	-	00:00:02
15/11/2096	Manado	00:00:01	00:00:00	00:00:02	00:00:02	00:00:00
	Makasar	00:00:02	00:00:02	00:00:01	00:00:00	00:00:00

Tabel 4.6. selisih antara jadwal gerhana yang dihitung dengan data *sun and moon ephemeris* dalam *software accurate times* dengan jadwal gerhana yang dihitung oleh NASA

Dapat dilihat rata-rata selisih kontak awal gerhana adalah 2 detik waktu. Kemudian untuk rata-rata selisih kontak awal cincin/total adalah 1 detik waktu. Lalu untuk rata-rata selisih kontak puncak gerhana adalah 2 detik waktu. Kemudian untuk rata-rata selisih kontak akhir cincin/total adalah 2 detik waktu. Lalu untuk rata-rata selisih kontak akhir gerhana adalah 2 detik waktu. Apabila dilakukan rata-rata atas seluruh kontak gerhana maka dari fase awal gerhana, awal cincin/total, puncak gerhana, akhir cincin/total, dan akhir gerhana akan memiliki selisih rata-rata 2 detik waktu.

Perbedaan terbesar yakni 5 detik waktu untuk kontak awal gerhana terjadi pada gerhana total 20 April 2042 di kota Jambi. Kemudian perbedaan terbesar 4 detik waktu untuk kontak awal cincin/total terjadi pada gerhana total 20 April 2042 di kota Jambi. Kemudian perbedaan terbesar 5 detik waktu untuk kontak puncak

gerhana terjadi pada gerhana Matahari cincin 5 November 2059 di kota Banda Aceh. Kemudian perbedaan terbesar 7 detik waktu untuk akhir cincin/total terjadi pada gerhana Matahari cincin 5 November 2059 di kota Medan. Lalu perbedaan terbesar 6 detik waktu untuk kontak akhir gerhana terjadi pada gerhana Matahari cincin 5 November 2059 di kota Banda Aceh. Selisih terbesar tersebut apabila dilakukan rata-rata adalah 5 detik, sehingga rata-rata selisih terbesar dari 15 gerhana yang terjadi ialah 5 detik waktu.

Akurasi perhitungan gerhana Matahari dengan menggunakan data *sun and moon ephemeris* dalam *software accurate times* dikatakan akurat karena dari total 15 gerhana yang dihitung oleh penulis bila dibandingkan dengan hasil yang dihitung oleh NASA dalam Javascript Solar Eclipse Explorer hasil antara keduanya memiliki rata-rata selisih 2 detik waktu dan rata-rata selisih terbesar 5 detik waktu.

Dari hasil tersebut maka penulis merekomendasikan perhitungan gerhana Matahari datanya diambil dari data *sun and moon ephemeris* dalam *software accurate times*, mengingat hasil jadwal gerhana Matahari yang dihasilkan dengan beracuan pada data tersebut terbukti akurat. Hal ini selaras dengan ucapan dari pemilik *software* yakni Muhammad Odeh dengan mengatakan “All care was taken to ensure the most accurate results” yang artinya semua (data yang dihasilkan dalam

aplikasi) telah dijaga sehingga dapat memastikan hasil yang paling akurat.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan dari BAB I sampai BAB V dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Langkah perhitungan gerhana Matahari metode Bessel dengan menggunakan data *sun and moon ephemeris* dalam *software Accurate Times*, setelah mendapatkan data yang dibutuhkan untuk menghitung gerhana Matahari akan dilakukan perhitungan menggunakan metode Bessel yang mempunyai tiga belas perhitungan yang harus dilakukan. Ada beberapa perhitungan yang harus berulang ulang karena dibutuhkan untuk mendapatkan hasil yang akurat.
2. Hasil perhitungan jadwal gerhana Matahari metode Bessel dengan menggunakan data *sun and moon ephemeris* dalam *software accurate times* apabila dibandingkan dengan hasil jadwal yang dihitung oleh NASA dalam Javascript Solar Eclipse Explorer menghasilkan hasil yang akurat. Hasil jadwal gerhana dengan perhitungan data *sun and moon ephemeris* dalam *software accurate times* untuk kasus 15 gerhana untuk beberapa Kota di Indonesia memiliki rata-rata selisih sebesar 2 detik waktu dan rata-rata selisih terbesar 5 detik waktu.

B. Saran

Adapun saran yang disarankan oleh penulsi adalah sebagai berikut:

1. Untuk perhitungan gerhana Matahari penulis merekomendasikan untuk mengambil data dari data *sun and moon ephemeris* dalam *software accurate times*, mengingat hasil jadwal gerhana Matahari yang dihasilkan dengan beracuan pada data tersebut terbukti akurat.
2. Jadwal dari perhitungan gerhana Matahari menggunakan data *sun and moon ephemeris* dalam *software accurate times* dapat dilakukan penelitian lanjutan dengan melakukan uji verifikasi atas pengamatan kondisi gerhana Matahari di masa mendatang.
3. Sebaiknya untuk penelitian dan perhitungan yang menggunakan data ephemeris, lebih baik menggunakan data *sun and moon ephemeris* dalam *software accurate times* mengingat data yang disuguhkan terbukti akurat.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, Fiki Nu'afi Qurrota. "Studi Komparatif Sistem Perhitungan Gerhana Matahari *Elements Of Solar Eclipses Jean Meeus dan Textbook On Spherical Astronomy W.M. SMART.*" Skripsi—UIN Walisongo Semarang, 2019).
- Anisah, Siti. "Studi Analisis Hisab Gerhana Matahari Dengan Kitab Tadzkirat Al-Ikhwan Fi Ba'dli At-Tawarikh Wa Al-A'mali Al-alakiyyati Bi Samarani Karya KH. Ahmad Dahan As-Samarani" Skripsi—UIN Walisongo Semarang, 2020).
- Anugraha, Rinto. *Mekanika Benda Langit*. Yogyakarta: Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Gajah Mada, 2012.
- Bashori, Muhammad Hadi. *Pengantar Ilmu Falak*. Jakarta: Pustaka Al-Kautsar, 2015.
- Butar-Butar, Arwin Juli Rakhmadi. *Astronomi Islam*. Medan: UMSU Press, 2015.
- Creswell, John W.. *Research Design Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif dan Mixed*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2014.
- Espenak, Fred. "Delta T (Δt) and Universal Time". dalam <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEhelp/deltaT.html>, diakses pada 20 Februari 2022.
- . *Explanation of Besselian Elements for Solar Eclipses*. dalam <http://www.eclipsewise.com/solar/SEhelp/SEbeselm.html>, diakses pada 20 Februari 2022.
- . *Explanation of Besselian Elements for Solar Eclipses*. dalam <http://www.eclipsewise.com/solar/SEhelp/SEbeselm.html>, diakses pada 20 Februari 2022.
- . *Solar Eclipse Basics*. dalam <http://eclipsewise.com/solar/SEhelp/SEbasics.html>, diakses pada 15 Juni 2021
- Fakultas Syariah UIN Sunan Ampel Surabaya. Petunjuk Teknis Penulisan Skripsi. Surabaya, 2017.

- Hidayat, Ehsan. “Analisis Pola Gerhana Matahari Ditinjau dari Kriteria Nilai Arguen Lintang Bulan (F), Gamma (y), dan Magnitudo (u)”. Skripsi—UIN Walisongo Semarang, 2017.
- Husna (Al), Muhammad Farih. “Studi Analisis Program *Tracking Gerhana Matahari Karya Muhammad Wasil*” Skripsi—UIN Walisongo Semarang, 2019.
- Izzuddin, Ahmad. *Fiqih Hisab Rukyah*. Jakarta: Erlangga, 2007.
- Jafi’I (Al), Imam Abi Abdillah Muhammad bin Ismail Ibnu Ibrahim bin al Mughirah bin Bardzabah al Bukhari. *Shahih Bukhari*, Juz 2. Beirut: Daar al-Fikr, 1986.
- Khazin, Muhyiddin. *Kamus Ilmu Falak*. Yogyakarta: Buana Pustaka, 2005.
- . *Ilmu Falak Dalam Teori dan Praktik*. Yogyakarta: Buana Pustaka 2004.
- Lajnah Pentashih Alquran. Aplikasi Alquran Kemenag.
- Littmann, Mark, et al. *Totality Eclipses of The Sun*. New York: Oxford University Press, 2008.
- Maghfuri, Alfian. *Algoritma Gerhana: Kajian Mengenai Perhitungan Gerhana Matahari dengan Data Ephemeris Hisab Rukyat*. Malang: Madza Media, 2020.
- Masykur dkk. *Fikih lima mazhab Terj. Al-Fiqh ‘alā al-Madzāhib al-Khamsah – Muhammad*
- Mujab, Syaiful. “Gerhana; Antara Mitos, Sains, dan Islam” *Yudisia*, No. 1 Vol.5. Juni, 2014.
- Munawwir, Ahmad Warson. *Al-Munawwir Kamus Arab-Indonesia*. Surabaya: Pustaka
- Nawawi, Abd Salam. *Ilmu Falak Praktis*. Surabaya: Imtiyaz, 2016.
- Radjab, Enny dan Andi Jam’an. *Metodologi Penulisan Bisnis*. Makassar: Lembaga Perpustakaan dan Penerbitan Universitas Muhammadiyah Makassar, 2017.
- Sabda, Abu. *Ilmu Falak: Rumusan Syar’i & Astronomi Seri 02*. Bandung: Persipers, 2019.

- Seidelmann, P. Kenneth. *Explanatory Supplement to The Astronomical Almanac*. California: University Science Book, 1992.
- Sugiarto, Eko. *Menyusun Proposal Penelitian Kualitatif, Skripsi dan Tesis*. Yogyakarta: Suaka Media, 2015.
- Suharsimi, Arikunto. *Metodologi Penelitian*. Yogyakarta: Bina Aksara, 2006.
- Sunendar, Dadang, et al. Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) Edisi V 0.2.1 Beta (2016).
- Syakirman. "Pemikiran Mohammad Odeh Dalam Upaya Penyatuan Kalender Islam". dalam <http://syakirman.blogspot.com/2010/11/pemikiran-mohammad-odeh-dalam-upaya.html>, diakses pada 20 Februari 2022
- Hurairah, A., & Susanti, T. (2022). Tradisi Sosial Keagamaan Masyarakat Pulau Bengkalis dalam menyambut serta memeriahkan Ramadhan dan Idul Fitri. *Matlamat Minda*, 2(1). Umam, Khotibul. "Metode Hisab Gerhana Matahari Dalam Kitab Irsyad Al Murid" Skripsi—UIN Walisongo Semarang, 2014.
- Yaqin, Ainul dan Fahmi Fatwa Rosyadi "Hadist gerhana dan Wafatnya Ibrahim ibn Muhammad" *Tahkim*, No.1 Vol.1. 2018.
- Zed, Mestika. *Metode Penelitian Kepustakaan*. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia, tt.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A