

UJI AKURASI DATA POSISI BULAN ALGORITMA JANUS PERBADINGAN DENGAN DATA NASA DALAM HISAB GERHANA

TESIS

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



Oleh :

YUSRIFAL FAIS ABDILLAH

NIM: 2202048039

**PROGRAM MAGISTER ILMU FALAK
PASCASARJANA
UIN WALISONGO SEMARANG
2025**

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini;

Nama lengkap : **Yusrifal Fais Abdillah**

NIM : 2202048039

Judul Penelitian : **Uji Akurasi Data Posisi Bulan Algoritma Janus
Perbandingan dengan Data Nasa dalam Hisab
Gerhana**

Program Studi : Magister Ilmu Falak

Fakultas : Syariah dan Hukum

Menyatakan bahwa Tesis yang berjudul:

**Uji Akurasi Data Posisi Bulan Algoritma Janus Perbandingan
dengan Data Nasa dalam Hisab Gerhana**

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian saya sendiri, kecuali bagian tertentu yang dirujuk dari sumbernya.

Semarang, 05 Mei 2025

Pembuat Pernyataan



A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Yusrifal Fais'.

Yusrifal Fais Abdillah

NIM. 2202048039

NOTA PEMBIMBING I

Semarang, 05 Mei 2025

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

Assalamu 'alaikum wr. wb.

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

Nama : **Yusrifal Fais Abdillah**
NIM : 2202048039
Program Studi : Magister Ilmu Falak
Judul : **Uji Akurasi Data Posisi Bulan Algoritma Janus Perbandingan dengan Data Nasa dalam Hisab Gerhana**

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

Wassalamu 'alaikum wr. wb.

Pembimbing I,



Prof. Dr. H. Muslich MA
NIP: 195606301981031003

NOTA PEMBIMBING II

Semarang, 05 Mei 2025

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

Assalamu 'alaikum wr. wb.

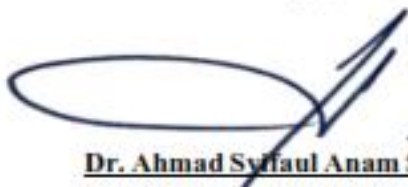
Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi terhadap Tesis yang ditulis oleh:

Nama : **Yusrifal Fais Abdillah**
NIM : 2202048039
Program Studi : Magister Ilmu Falak
Judul : **Uji Akurasi Data Posisi Bulan Algoritma Janus Perbandingan dengan Data Nasa dalam Hisab Gerhana**

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

Wassalamu 'alaikum wr. wb.

Pembimbing II,



Dr. Ahmad Syffaul Anam SHL, MH
NIP: 198001202003121001



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

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

FTM-07

PENGESAHAN PERBAIKAN
OLEH MAJELIS PENGUJI UJIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa tesis mahasiswa :

Nama : Yusrifal Fais Abdillah
NIM : 2202048039
Judul : Uji Akurasi Data Posisi Bulan Algoritma Janus Perbandingan dengan Data Nasa dalam Hisab Gerhana

telah diujikan pada tanggal 24 Juni 2025 dan dinyatakan **LULUS** oleh majelis penguji :

NAMA	TANGGAL	TANDA TANGAN
<u>Dr. Amir Tajrid, M.Ag</u> Ketua Majelis	15 Juli 2025	
<u>Prof. Dr. Muslich Shabir, MA.</u> Sekretaris	15 Juli 2025	
<u>Prof. Dr. Ahmad Izzuddin, M.Ag.</u> Penguji 1	15 Juli 2025	
<u>Dr. Muh. Arif Royyani, Lc., MSI</u> Penguji 2	15 Juli 2025	

ABSTRAK

Perkembangan teknologi dalam bidang astronomi memerlukan sistem komputasi yang akurat untuk mendukung keperluan hisab, khususnya dalam menentukan posisi Bulan. Hisab posisi Bulan menjadi bagian penting dalam penetapan waktu ibadah umat Islam, seperti penentuan awal bulan Hijriyah. Oleh karena itu, dibutuhkan model perhitungan yang presisi, efisien, dan dapat diakses oleh berbagai kalangan. Algoritma Janus yang dikembangkan oleh Michelle Chapront Touze dan Jean Chapront menjadi salah satu metode numerik modern yang menawarkan akurasi tinggi dalam menghitung posisi Bulan berdasarkan teori VSOP2000 dan ELP2000-82B.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan pendekatan interdisipliner untuk menguji tingkat akurasi data posisi bulan algoritma Janus dengan NASA. Sumber utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah buku *Lunar Tables and Programs from 4000 B.C. to A.D. 8000* karya Michelle Chapront Touze dan Jean Chapront, Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini adalah dokumentasi dan Teknik analisis data dalam penelitian ini adalah analisis deskriptif kualitatif dengan pola pikir deduktif.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Metode perhitungan posisi Bulan dengan Algoritma Janus karya Michelle Chapront Touze dan Jean Chapront merupakan sistem numerik yang sangat terstruktur dan presisi, menggabungkan teori harmonik, koreksi unsur orbit, serta penyesuaian faktor astronomis seperti nutasi, kemiringan ekliptika, dan delta T, sehingga menghasilkan data posisi Bulan yang akurat untuk prediksi fenomena seperti gerhana dan aplikasi hisab posisi Bulan berbasis algoritma Janus memiliki akurasi tinggi, dengan *Root Mean Square Error* (RMSE) yang sangat rendah pada rentang tahun 1700–2300 M jika dibandingkan dengan referensi JPL-DE441.

Kata Kunci: Hisab Posisi Bulan, Algoritma Janus, Data NASA, Hisab Gerhana

ABSTRACT

The advancement of technology in the field of astronomy demands accurate computational systems to support astronomical calculations, particularly for determining the position of the Moon. Lunar position calculation is a crucial aspect in determining Islamic worship times, such as the beginning of the Hijri months. Therefore, a precise, efficient, and widely accessible computational model is necessary. The Janus algorithm, developed by Michelle Chapront Touze and Jean Chapront, offers a high-accuracy numerical method for computing the Moon's position based on the VSOP2000 and ELP2000-82B theories.

This research employs a qualitative and interdisciplinary approach to examine the accuracy level of the Moon's position data generated by the Janus algorithm compared to NASA's data. The main source used in this study is the book *Lunar Tables and Programs from 4000 B.C. to A.D. 8000* by Michelle Chapront Touze and Jean Chapront. Data collection was carried out through documentation, and data analysis was conducted using descriptive qualitative analysis with a deductive reasoning approach.

The results show that the method of calculating the Moon's position with the Janus Algorithm by Michelle Chapront Touze and Jean Chapront is a highly structured and precise numerical system. It combines harmonic theory, corrections for orbital elements, and adjustments for astronomical factors such as nutation, obliquity, and delta T, resulting in highly accurate lunar position data for predicting phenomena such as eclipses. The application of the Janus algorithm-based lunar position calculation has a high level of accuracy, with a very low Root Mean Square Error (RMSE) in the period 1700–2300 AD when compared to the JPL-DE441 reference data.

Keywords: Lunar Position Calculation, Janus Algorithm, NASA Data, Eclipse Calculation

الملخص

تَتَطَلَّبُ تَطَوُّرَاتُ التَّحْقِيقِ فِي مَجَالِ الْفَلَكَ نِظَامًا حِسَابِيًّا دَقِيقًا لِدَعْمِ احْتِيَاجَاتِ الْحِسَابِ، خُصُوصًا فِي تَحْدِيدِ مَوْقِعِ الْقَمَرِ. يُعَدُّ حِسَابُ مَوْقِعِ الْقَمَرِ جُزْءًا مُهِمًّا فِي تَحْدِيدِ مَوَاقِيتِ الْعِبَادَاتِ عِنْدَ الْمُسْلِمِينَ، مِثْلَ تَحْدِيدِ بَدَايَةِ الشُّهُورِ الْهِجْرِيَّةِ. لِذَلِكَ، تُعْتَبَرُ نَمَازِجُ الْحِسَابِ الدَّقِيقَةِ وَالْفَاعِلَةِ وَالسَّهْلَةِ الْوُصُولِ مِنَ الطَّرِيقِ الضَّرُورِيَّةِ. يُعَدُّ حَوَارِزِي «يَانُوس» الَّذِي طَوَّرَهُ مِيشِيلُ شَابْرُونُ تُوْزِيهِ وَجَانُ شَابْرُونُ، مِنْ الطَّرِيقِ الرَّقْمِيَّةِ الْحَدِيثَةِ الَّتِي تُوفِّرُ دَقَّةً عَالِيَةً فِي حِسَابِ مَوْقِعِ الْقَمَرِ، وَذَلِكَ بِالاعْتِمَادِ عَلَى نَظَرِيَّةِ VSOP2000 وَ ELP2000-82B.

تُسْتَخْدَمُ هَذِهِ الدِّرَاسَةُ مِنْهَجًا نَوْعِيًّا (كُوَالِيَتَاتِيًّا) مَعَ مُقَارَنَةٍ بَيْنَ التَّخَصُّصَاتِ لِاخْتِبَارِ دَقَّةِ بَيِّنَاتِ مَوْقِعِ الْقَمَرِ حَسَبَ حَوَارِزِيَّةِ يَانُوسِ بِالْمُقَارَنَةِ مَعَ بَيِّنَاتِ وَكَالَةِ نَاسَا. الْمَصْدَرُ الرَّئِيسِيُّ الْمُسْتَخْدَمُ فِي هَذَا الْبَحْثِ هُوَ كِتَابُ "جَدَاوِلُ وَبَرَامِجِ الْقَمَرِ مِنْ ٤٠٠٠ قَبْلَ الْمِيلَادِ إِلَى ٨٠٠٠ بَعْدَ الْمِيلَادِ" تَأَلَّفَ مِيشِيلُ شَابْرُونُ تُوْزِيهِ وَجَانُ شَابْرُونُ. أَمَّا تَقْنِيَةُ جَمْعِ الْبَيِّنَاتِ فِي هَذِهِ الدِّرَاسَةِ فَهِيَ التَّوْتِيقُ، وَتَقْنِيَةُ تَحْلِيلِ الْبَيِّنَاتِ هِيَ التَّحْلِيلُ الْوَصْفِيُّ التَّنَوُّعِيُّ بِنَمَطِ تَفْكِيرٍ اسْتِنَاجِيٍّ (دِيدُكْتِيْفِيٍّ).

تُسَبِّرُ نَتَائِجُ الْبَحْثِ إِلَى أَنَّ طَرِيقَةَ حِسَابِ مَوْقِعِ الْقَمَرِ بِوَاسِطَةِ حَوَارِزِيَّةِ يَانُوسِ الَّتِي وَضَعَهَا مِيشِيلُ شَابْرُونُ تُوْزِيهِ وَجَانُ شَابْرُونُ هِيَ نِظَامٌ عَدَدِيٌّ مُنَظَّمٌ وَدَقِيقٌ جِدًّا، إِذْ يَجْمَعُ بَيْنَ النَّظَرِيَّةِ التَّوْفِيقِيَّةِ (الْهَازْمُونِيك) وَتَصْصِيحِ عَنَاصِرِ الْمَدَارِ بِالْإِضَافَةِ إِلَى تَعْدِيلَاتِ الْعَوَامِلِ الْفَلَكَيَّةِ مِثْلَ التَّيُونَاتِيسِيُونِ (التَّدْبُدْ)، وَمِثْلِ دَائِرَةِ الْبُرُوجِ (الْإِكْلِيْبِيكَا)، وَفَارِقِ الزَّمَنِ (دِلْتَا تِي). وَهَذَا تَنْتُجُ بَيِّنَاتٍ دَقِيقَةٍ جِدًّا عَنْ مَوْقِعِ الْقَمَرِ لِلتَّنَبُّؤِ بِالظَّوَاهِرِ مِثْلَ الْكُسُوفِ، كَمَا أَنَّ تَطْبِيقَ حِسَابِ مَوْقِعِ الْقَمَرِ الْمُعْتَمَدِ عَلَى حَوَارِزِيَّةِ يَانُوسِ يُظْهِرُ دَقَّةً عَالِيَةً جِدًّا، مَعَ

مُتَوَسِّطُ جَذْرِ مُرَبَّعِ الْخَطَا (RMSE) مُنْخَفِضٌ جَدًّا لِلْفَتْرَةِ مِنْ ١٧٠٠ إِلَى ٢٣٠٠ مِيلَادِي
عِنْدَ مُقَارَنَتِهِ بِمَرْجِعِ JPL-DE441.

TRANSLITERASI

Pedoman transliterasi yang digunakan adalah Sistem Transliterasi Arab Latin Berdasarkan SKB Menteri Agama RI No.158/1987 dan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan No. 0543b/U/1987 tertanggal 22 Januari 1988.

A. Konsonan

Huruf Arab	Nama	Huruf Latin	Nama
أ	Alif	Tidak dilambangkan	Tidak dilambangkan
ب	Ba	B	Be
ت	Ta	T	Te
ث	Ṣa	ṣ	es (dengan titik di atas)
ج	Jim	J	Je
ح	Ḥa	ḥ	ha (dengan titik di bawah)
خ	Kha	Kh	ka dan ha
د	Dal	d	De
ذ	Ẓal	ẓ	Zet (dengan titik di atas)
ر	Ra	R	Er
ز	Zai	Z	Zet
س	Sin	S	Es
ش	Syin	Sy	es dan ye
ص	Ṣad	ṣ	es (dengan titik di bawah)
ض	Ḍad	ḍ	de (dengan titik di bawah)
ط	Ṭa	ṭ	te (dengan titik di bawah)

ظ	Za	z	zet (dengan titik di bawah)
ع	‘ain	‘	koma terbalik (di atas)
غ	Gain	G	Ge
ف	Fa	F	Ef
ق	Qaf	Q	Ki
ك	Kaf	K	Ka
ل	Lam	L	El
م	Mim	M	Em
ن	Nun	N	En
و	Wau	W	We
ه	Ha	H	Ha
ء	Hamzah	'	apostrof
ي	Ya	Y	Ye

B. Vokal dan Maddah

1. Vokal Pendek

اَ... = a	كَتَبَ	Kataba
اِ... = i	سُئِلَ	Su'ila
اُ... = u	يَذْهَبُ	yaŽhabu

2. Vokal Panjang (Maddah)

آ = ā	قَالَ	qāla
إِ = ī	قِيلَ	qīla
أَوْ = ū	يَقُولُ	yaqūlu

3. Vokal Rangkap (Maddah)

اِي = ai	كَيْفَ	Kaifa
أَوْ = au	حَوْلَ	Haula

Nota:

Kata [al-] dalam syamsiyah atau qomariyah ditulis [al-] secara konsisten sehingga selaras dengan teks bahasa Arab

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji bagi Allah, Tuhan semesta alam dan shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad, juga kepada keluarga, sahabat dan semua pengikutnya. Amin

Penulis menyadari bahwa proses penyelesaian tesis ini tidak akan sukses tanpa bantuan dan keterlibatan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis memberikan penghargaan setinggi-tingginya dan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu sebagai berikut:

1. Kedua orang tua penulis Bapak Jauhari Abdullah dan Ibu Kandung Siti Muzayyanah dan Ibu sambung Latifah Hanim, beserta Istri Zahrotul Husniyah dan kedua anak penulis Adinda Aisyatuhzahra dan Aishwa Faza Salsabila, Saudara Kembar penulis Ulil Absor faiq Abdillah dan keluarga, dan seluruh keluarga besar Jember dan Lamongan yang telah memberikan support dan doa yang begitu besar dan ikhlas, sehingga penulis mampu menyelesaikan penyusunan tesis ini.
2. Prof. Dr. H. Muslich MA dan Dr. Ahmad Syifaul Anam SHI., MH., selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu tenaga dan pikiran untuk memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyusunan tesis ini
3. Prof. Dr. H. Nizar Ali, M.Ag., selaku Rektor Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang beserta jajaranya.
4. Prof. Dr. H. Abdul Ghofur, M.Ag., selaku Dekan Fakultas Syariah dan Hukum beserta jajaranya.
5. Keluarga Besar Magister Ilmu Falak terutama kepada kelas Tadika Mesra, yang telah meluangkan waktunya untuk berdiskusi dan healing.

6. Keluarga BTA (Muhammad Muadz Dzulkrom, Khairul Anaam, Alfian Nurul Hakim, Idris Rahmat, Aditya Ali Mahfud, Aprelia Candra W, Yanie Mahmudah, Caesar A Salam).
7. Keluarga Besar Dosen UIN Sunan Ampel Surabaya yang telah mendidik dan menuntun ke-arrah yang benar.
8. Kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dalam penulisan tesis ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga amal kebaikan dari berbagai pihak tersebut mendapat pahala yang berlipat ganda dari Allah SWT dan semoga karya ilmiah ini bermanfaat. Amin.

Semarang, 05 Mei 2025
Penulis,

Yusrifal Fais Abdillah

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	i
NOTA PEMBIMBING I	ii
NOTA PEMBIMBING II	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
الملخص	vi
TRANSLITERASI	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar	
Belakang Masalah	1
B. Rumu	
san Masalah	5
C. Tujua	
n dan Manfaat Penelitian	5
D. Kajian	
Pustaka	6
E. Metod	
e Penelitian	10
F. Siste	
matika Pembahasan	11
BAB II HISAB GERHANA DAN DATA POSISI BULAN	13
A. Penge	
rtian Gerhana	13
B. Dasar	
Hukum Gerhana	20

C.	Perhitungan Gerhana Matahari	Perhitungan Gerhana Matahari	23
D.	Perhitungan Gerhana Bulan	Perhitungan Gerhana Bulan	33
E.	Data Posisi Bulan.....	Data Posisi Bulan.....	37
F.	Teori Akurasi	Teori Akurasi	30
BAB III	DATA POSISI BULAN ALGORITMA JANUS DAN DATA NASA.....	DATA POSISI BULAN ALGORITMA JANUS DAN DATA NASA.....	42
A.	Profil tentang Penentuan Posisi Bulan Algoritma Janus.....	Profil tentang Penentuan Posisi Bulan Algoritma Janus.....	42
B.	Menentukan Posisi Bulan dengan Algoritma Janus.....	Menentukan Posisi Bulan dengan Algoritma Janus.....	43
C.	Desain Data Posisi Bulan Algoritma Janus.....	Desain Data Posisi Bulan Algoritma Janus.....	51
D.	Profil tentang Penentuan Posisi Bulan Algoritma JPL Nasa	Profil tentang Penentuan Posisi Bulan Algoritma JPL Nasa	53
E.	Menentukan Posisi Bulan dengan Algoritma JPL Nasa.....	Menentukan Posisi Bulan dengan Algoritma JPL Nasa.....	56
BAB IV	PEMBAHASAN	PEMBAHASAN	65
A.	Metode perhitungan data posisi Bulan Algoritma Janus karya Michelle Chapront Touze	Metode perhitungan data posisi Bulan Algoritma Janus karya Michelle Chapront Touze	65
B.	Akurasi Data Posisi Bulan Algoritma Janus Melalui Perbandingan Data Dari JPL-DE441	Akurasi Data Posisi Bulan Algoritma Janus Melalui Perbandingan Data Dari JPL-DE441	74
BAB V	PENUTUP	PENUTUP	86
A.	Kesimpulan	Kesimpulan	86
B.	Saran	Saran	87
KEPUSTAKAAN			88
LAMPIRAN			

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Tabel prediksi gerhana Matahari berdasar kelompok tahun	24
Tabel 2.	Prediksi Gerhana Matahari Berdasar Satuan Tahun.....	24
Tabel 3.	Prediksi Gerhana Matahari Berdasar Bulan	24
Tabel 4.	Total Koreksi untuk Menghitung Posisi Bulan dalam Teori Janus.....	45
Tabel 5.	Input Data Program Janus	52
Tabel 6.	Hasil Data Bulan	52
Tabel 7.	Analisis Root Mean Square Error Janus dengan JPL DE-441 Selama 4000SM – 8000M	76
Tabel 8.	Analisis Root Mean Square Error Data Ekliptika Janus dengan JPL DE-441 Dari Periode 1700M hingga 2300M.....	78
Tabel 9.	Analisis RMSE Algoritma Janus Dibandingkan dengan JPL DE-441 untuk Gerhana Matahari, Periode 500M-700M dan 1800M-2300M.....	82
Tabel 10.	Analisis RMSE Algoritma Janus Dibandingkan dengan JPL DE-441 untuk Gerhana Bulan, Periode 500M-700M dan 1800M-2300M.....	83

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Fenomena gerhana, baik gerhana Matahari maupun gerhana Bulan, merupakan salah satu peristiwa astronomi yang memiliki daya tarik tersendiri dan telah lama menjadi objek kajian dalam ilmu falak. Gerhana terjadi akibat posisi geometris antara Matahari, Bulan, dan Bumi yang membentuk konfigurasi tertentu sehingga cahaya Matahari terhalang atau tertutupi oleh Bulan maupun Bumi. Peristiwa ini tidak hanya menarik dari sisi keilmuan, tetapi juga memiliki nilai historis dan religius yang sangat penting, terutama dalam masyarakat Islam yang menggunakan peristiwa astronomi sebagai dasar penetapan kalender hijriah dan waktu-waktu ibadah.

Akurasi dalam menentukan waktu dan lokasi terjadinya gerhana sangat bergantung pada ketepatan perhitungan posisi Bulan terhadap Bumi dan Matahari. Setiap perubahan kecil pada data posisi Bulan dapat berdampak besar terhadap hasil prediksi waktu dan wilayah terjadinya gerhana. Oleh karena itu, diperlukan metode dan algoritma yang mampu memberikan hasil perhitungan posisi Bulan dengan tingkat presisi yang tinggi. Dalam perkembangan ilmu falak modern, pendekatan komputasi berbasis algoritma menjadi sangat penting untuk menunjang kebutuhan tersebut.

Ahli falak menggunakan berbagai metode untuk menghitung posisi Bulan, termasuk Ephemeris, Newcomb, Almanak Nautika, dan Jean Meus. Pengembang membuat Ephemeris sebagai perangkat lunak bernama Hisabwin pada tahun 1993. Pengembang memperbarui perangkat lunak tersebut pada tahun 1996 dengan nama Winhisab. Badan Hisab Rukyat Nasional bekerja sama dengan Departemen Astronomi ITB Bandung dalam pengembangan Ephemeris. Direktorat Pembinaan Peradilan Agama DEPAG RI mendukung kerja sama tersebut sebagai bagian dari upaya modernisasi hisab. Penggunaan perangkat lunak ini membantu meningkatkan ketepatan dan efisiensi dalam perhitungan posisi Bulan.¹

¹ Akh. Mukarram, *Ilmu Falak Dasar-Dasar Hisab Praktis*, (Sidoarjo, 2011) 131.

Simon Newcomb menciptakan metode Newcomb pada tahun 1906 dalam buku *A Compendium of Spherical Astronomy*. Simon Newcomb menyusun data astronomi berdasarkan hasil observasi sepanjang kariernya. Abdur Rachim merangkum dan menyusun ulang metode tersebut dalam buku *Perhitungan Awal Bulan Menurut Sistem Newcomb*. Praktisi falak menggunakan metode ini secara luas setelah buku tersebut beredar. Keakuratan data dan pendekatan sistematis menjadikan metode Newcomb sebagai salah satu rujukan penting dalam ilmu falak modern.²

Jawatan TNI-AL Dinas Oseanografi menerbitkan Almanak Nautika sebagai almanak kelautan untuk kepentingan pelayaran. Navigator menggunakan almanak ini untuk menentukan posisi kapal saat berlayar di lautan. Almanak Nautika menyediakan data navigasi langit yang mencakup posisi Matahari, Bulan, planet, dan titik pertama Aries. Penerbit menentukan data dalam bentuk deklinasi dan sudut jam Greenwich yang berguna dalam navigasi astronomis. Navigator memanfaatkan informasi ini untuk menghitung dan memperkirakan posisi kapal dengan akurat. Almanak Nautika menjadi alat penting dalam pelayaran karena mendukung navigasi langit berbasis observasi dan perhitungan matematis.³

Umat Islam dan masyarakat pada masa lampau mengandalkan observasi mata dalam memahami fenomena langit. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi mempermudah akses terhadap informasi astronomis. Teknisi mengoperasikan teleskop, observatorium, satelit, dan komputer untuk mengamati langit secara mendalam.⁴ Peneliti mengolah data langit menggunakan perangkat lunak dan algoritma untuk memprediksi dan menganalisis fenomena astronomi. Ilmuwan memanfaatkan teknologi modern untuk memahami peristiwa langit yang telah terjadi, sedang berlangsung, atau akan datang. Pemanfaatan

² Khazinur rohman. “Studi Komparasi Algoritma *Equation of Time* Versi Jean Meeus Dan Newcomb” (Thesis-UIN Walisongo, Semarang, 2016).

³ <http://www.encyclopedia.com/doc/1O80-Astronomical-Almanac-The.html> (di akses pada tanggal 17 April 2022)

⁴ Abuddin Nata, *Islam dan ilmu pengetahuan*. (Jakart: Prenada Media, 2018),

perangkat canggih mendukung pengembangan ilmu falak secara akurat dan sistematis.⁵

Setiap software astronomi memiliki kelebihan dan kekurangan yang membedakannya dalam aspek keakuratan dan jangkauan waktu perhitungan. Pengembang Winhisab 2010 menggunakan data dari buku *Astronomical Algorithms* karya Jean Meeus dengan sekitar 159 suku koreksi untuk perhitungan Matahari. Tingkat kesalahan dalam perhitungan tersebut tidak melebihi 1 detik busur pada rentang tahun -2000 hingga 6000 Masehi.⁶ Perancang Accurate Times menerapkan algoritma ELP2000-85 dengan sekitar 2000-an suku koreksi untuk menghitung data Bulan. Tingkat kesalahan dari algoritma ini tetap rendah, yakni sekitar 1 detik busur pada rentang waktu -4000 hingga 8000 Masehi. Perbandingan antar software menunjukkan bahwa akurasi dan rentang waktu menjadi faktor penentu kualitas dalam sistem komputasi astronomi.⁷ Salah satu algoritma yang kini berkembang dan digunakan dalam perhitungan posisi Bulan adalah algoritma Janus. Algoritma ini dikembangkan untuk meningkatkan presisi data posisi benda langit, khususnya Bulan, sehingga dapat diandalkan dalam berbagai aplikasi astronomi termasuk hisab gerhana.

Penulis menggunakan data dari buku *Lunar Tables and Programs from 4000 B.C. to A.D. 8000* untuk menyederhanakan proses komputasi posisi Bulan. Perhitungan dalam buku tersebut mencakup 72 suku koreksi yang digunakan untuk menghitung bujur geosentris dan jarak Bulan. Rentang waktu yang tercakup dalam data ini mencapai 12000 tahun, dari 4000 sebelum Masehi hingga 8000 Masehi. Akurasi perhitungan bujur geosentris Bulan rata-rata mencapai 0,26 derajat busur atau sekitar 15 menit 36 detik busur. Jumlah suku koreksi yang mencakup waktu panjang memberikan kemampuan tinggi dalam menghitung posisi Bulan secara akurat untuk masa lalu maupun masa depan. Perangkat

⁵ Siti Lailatul Mukarromah, "Implementasi data image processing BMKG untuk kriteria visibilitas hilal." *Universitas Islam Negeri Walisongo* (2019).

⁶ Jean Meeus, *Astronomical Algorithm 2nd Edition* (Virginia: Willmann-Bell, Inc., 1998), 166.

⁷ Michelle Chapront-Touzé, dan Jean Chapront, "ELP 2000-85-A Semi-Analytical Lunar Ephemeris Adequate for Historical Times", *Astronomy and Astrophysics* 190 (1988), 345.

lunak yang mengadopsi data tersebut mampu memberikan hasil perhitungan dengan tingkat kepercayaan tinggi dalam jangka waktu yang sangat luas.⁸ Namun demikian, keakuratan hasil yang diberikan oleh algoritma Janus perlu diuji lebih lanjut melalui proses validasi dan perbandingan dengan data referensi internasional. Salah satu data rujukan yang paling diakui dalam komunitas astronomi global adalah data efemeris yang dikeluarkan oleh NASA, khususnya melalui Jet Propulsion Laboratory (JPL).

Penulis memilih mengubah data astronomi dari buku *Lunar Tables and Programs from 4000 B.C. to A.D. 8000* ke dalam bentuk program karena proses manual memerlukan waktu lama dan rentan terhadap kesalahan. Perhitungan posisi Bulan membutuhkan rumus matematika kompleks dan pemahaman astronomi yang mendalam. Proses manual membuka peluang kesalahan pencatatan maupun perhitungan yang berdampak besar terhadap akurasi hasil. Kekeliruan kecil dapat mengganggu validitas data, terutama dalam konteks ilmiah. Efisiensi kerja menurun secara signifikan jika manusia menghabiskan waktu dan tenaga untuk perhitungan yang dapat diotomatisasi. Penggunaan perhitungan manual dianggap pemborosan sumber daya dalam pengolahan data astronomi yang sangat besar dan kompleks.⁹

Perbandingan antara data hasil perhitungan algoritma Janus dengan data NASA menjadi sangat krusial dalam memastikan reliabilitas dan ketepatan hasil hisab gerhana. Validasi ini tidak hanya bersifat akademis, tetapi juga berdampak secara praktis, mengingat hasil hisab gerhana sangat dibutuhkan untuk penentuan awal bulan Qamariyah, penetapan waktu ibadah, hingga kepentingan penelitian dan pendidikan astronomi. Jika algoritma Janus terbukti memiliki tingkat akurasi yang tinggi, maka hal ini akan menjadi kontribusi yang baik dalam pengembangan perangkat lunak hisab modern yang berbasis lokal namun berstandar internasional.

Kajian tentang uji akurasi posisi Bulan dengan algoritma Janus melalui perbandingan dengan data NASA sangat penting

⁸ Sean E. Urban dan P. Kenneth Seidelmann, *Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac*, (Mill Valley California: University Science Books, 2012) 209.

⁹ Chapront, Jean, et al. "Notes À Propos Du Programme Janus." *Astronomy and Astrophysics* 190 (1998): 342.

untuk mendukung kebutuhan masyarakat akan informasi astronomi yang presisi dan terpercaya. Selain itu, penelitian ini juga dilatarbelakangi oleh masih minimnya sosialisasi dan pengenalan algoritma Janus di kalangan masyarakat dan pemerhati astronomi di Indonesia. Hingga saat ini, algoritma Janus sebagai salah satu inovasi dalam metode hisab modern masih belum banyak dikenal, baik di lingkungan akademik maupun praktisi falak. Padahal, dengan potensi presisi dan keunggulan yang dimilikinya, algoritma ini layak untuk diperkenalkan dan divalidasi secara lebih luas. Dengan demikian, integrasi antara tradisi keilmuan falak dan kemajuan teknologi astronomi dapat terus berjalan secara sinergis, menjawab tantangan zaman dan kebutuhan masyarakat luas.

Berdasarkan penjelasan tersebut, peneliti sangat tertarik untuk mengangkat penelitian yang berjudul “Uji Akurasi Data Posisi Bulan Algoritma Janus Perbandingan dengan Data Nasa dalam Hisab Gerhana”. Penulis akan melakukan pembuatan program penentuan posisi Bulan di *software Microsoft Spreadsheet* menggunakan data Bulan yang dihitung dari buku *Lunar Tables and Programs from 4000 B.C. to A.D. 8000*, kemudian hasilnya akan dibandingkan dengan menggunakan metode yang digunakan oleh NASA melalui Jet Propulsion Laboratory (JPL).

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan pemaparan di atas, maka akan dibuat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana metode perhitungan data posisi bulan Algoritma Janus karya Michelle Chapront Touze dan Jean Chapront?
2. Bagaimana uji akurasi data posisi bulan Algoritma Janus perbandingan dengan data Nasa dalam hisab gerhana?

C. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui metode perhitungan data posisi bulan Algoritma Janus karya Michelle Chapront Touze dan Jean Chapront.

2. Menguji akurasi data posisi bulan Algoritma Janus perbandingan dengan data Nasa dalam hisab gerhana.

Adapun manfaat yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Manfaat Teoritis
 - a. Diharapkan penelitian ini dapat mengisi kekosongan dari penelitian sebelumnya karena belum ada penelitian pemrograman falak menggunakan buku Lunar Tables and Programs from 4000 B.C. to A.D. 8000.
 - b. Terciptanya program falak ini diharapkan agar mahasiswa falak termotivasi dan bersemangat untuk membuat program falak pada era digital yang modern seperti sekarang ini.
 - c. Sebagai kontribusi peneliti dalam bidang digital dan ilmu falak, khususnya dalam penelitian Bulan.
2. Manfaat Praktis
 - a. Bagi praktisi yang menggeluti bidang falak dapat menambah wawasan keilmuan falak khususnya dalam bidang digital pemrograman penentuan posisi Bulan
 - b. Bagi masyarakat pemrograman ini dapat dijadikan bahan pertimbangan dalam penggunaan data posisi bulan yang digunakan untuk perhitungan awal Bulan atau gerhana Bulan.

D. Kajian Pustaka

Sejauh penelusuran yang dilakukan, belum pernah ada yang membahas tentang Uji Akurasi Data Posisi Bulan Algoritma Janus Perbandingan dengan Data Nasa dalam Hisab Gerhana, sehingga peneliti mengumpulkan beberapa penelitian terdahulu yang dianggap mendekati dengan arah penelitian peneliti, diantaranya adalah:

1. Jurnal yang ditulis oleh Muh. Akhyar Andi yang berjudul "Eksplorasi Hisab Gerhana Matahari Menggunakan Algoritma Meeus".¹⁰ Dalam penelitiannya Muh. Akhyar Andi

¹⁰ Akhyar, Andi Muh, Fatmawati Fatmawati, and Achmad Nasyori. "Eksplorasi Hisab Gerhana Matahari Menggunakan Algoritma Meeus." *Elfalaky: Jurnal Ilmu Falak* 5.1 (2021).

menyimpulkan bahwa algoritma Meus dapat digunakan untuk hisab gerhana Matahari, dan algoritma meeus memiliki akurasi tinggi dalam hisab gerhana Matahari karena memberikan hasil perhitungan yang nyaris sama dengan hasil perhitungan algoritma NASA. Persamaan antara penelitian tersebut dengan penelitian penulis adalah membuat sebuah algoritma tentang gerhana, namun pembedanya adalah objek penelitian yang di kaji yaitu tentang gerhana Matahari sedangkan objek yang akan penulis teliti adalah tentang penentuan posisi Bulan.

2. Jurnal dari J. Chapront and G. Francou yang berjudul “The lunar theory ELP revisited. Introduction of new planetary perturbations”.¹¹ Dalam jurnalnya menyimpulkan bahwa ELP/MPP02 (LLR), yang konstantanya disesuaikan dengan data LLR, merupakan versi analitik baru ELP yang menggantikan ELP2000-82B yang telah digunakan selama beberapa puluh abad di sekitar tahun 2000-an, dan untuk jangka waktu yang sangat lama ELPa masih dapat digunakan sebagai gantinya, secara praktis ELP/MPP02 disajikan dalam bentuk deret Fourier untuk Masalah Utama dan parsial-parsialnya serta deret Poisson untuk gangguan pada Masalah Utama. Dua set konstanta disediakan serta ekspresi literal untuk argumen (Bulan, Matahari, dan Planet): - Konstanta yang sesuai dengan data LLR untuk ELP/MPP02 (LLR); - Konstanta yang sesuai dengan DE405 (satu abad di sekitar J2000) untuk ELP/MPP02 (405).Ketika digabungkan dengan solusi untuk librasi bulan dan model fisik lainnya. Persamaan antara penelitian tersebut dengan penelitian penulis adalah membuat sebuah algoritma perhitungan metode ELP untuk menentukan posisi bulan, kemudian sebagai pembeda adalah isi dari jurnal ini lebih menjelaskan kebaruan sebuah metode ELP sedangkan isi buku yang penulis gunakan sudah menggunakan metode Janus dan di interpretasikan kedalam penentuan posisi bulan untuk perhitungan gerhana Bulan.

¹¹ Chapront, J., and G. Francou. "The lunar theory ELP revisited. Introduction of new planetary perturbations." *Astronomy & Astrophysics* 404.2 (2003): 735-742.

3. Jurnal dari Jean Chapront dan Michelle Chapront-Touze yang berjudul “Lunar Motion: Theory and Observation”.¹² Dalam penelitiannya Jean Chapront dan Michelle Chapront-Touze menjelaskan tentang Hasil dari beberapa kecocokan teori bulan ELP 2000-82B dan teori librasi Bulan disajikan. Teori-teori tersebut dicocokkan dengan integrasi numerik JPL dan pengamatan LLR. Persamaan antara penelitian tersebut dengan penelitian penulis adalah membahas tentang Teori bulan ELP dan teori librasi bulan disajikan sedangkan perbedaan antara penelitian tersebut dengan penelitian penulis adalah penelitian tersebut menggunakan teori kecocokan dengan integrasi numerik JPL dan pengamatan LLR. Kemudian penelitian penulis menggunakan pengujian kecocokan dengan NASA.
4. Jurnal yang ditulis oleh Nopi Sopwan dan Moedji Raharto yang berjudul “Karakteristik Parameter Posisi Hilal Elongasi dan Tinggi Bulan Saat Matahari Terbenam di Pelabuhan Ratu Jawa Barat”.¹³ Penelitian ini menyimpulkan bahwa plot elongasi dan tinggi Bulan memperlihatkan segala kemungkinan Hilal yang terjadi dalam rentang sekitar 2378 tahun. Persamaan antara penelitian tersebut dengan penelitian penulis adalah mencari posisi Hilal dalam kurun waktu tertentu, sedangkan perbedaan antara penelitian tersebut dengan penelitian penulis adalah jangka waktu serta metode yang digunakan dalam mencari data untuk perhitungan dalam mencari posisi Hilal. Penelitian tersebut menggunakan metode Jean Meeus dalam kurun waktu 2378 tahun yaitu antara tahun 622 masehi – 3000 masehi, sedangkan penelitian penulis menggunakan metode dalam buku Lunar Tables and Programs from 4000 B.C. to A.D. 8000 selama kurun waktu 12000 tahun yaitu antara tahun 4000 sebelum masehi sampai 8000 masehi.

¹² Chapront, Jean, and Michelle Chapront-Touzé. "Lunar motion: theory and observations." *International Astronomical Union Colloquium*. Vol. 165. Cambridge University Press, 1997.

¹³ Nopi Sopwan, Moedji Raharto, “Karakteristik Parameter Posisi Hilal Elongasi dan Tinggi Bulan Saat Matahari Terbenam di Pelabuhan Ratu Jawa Barat”, Jurnal Seminar Pendidikan IPA Pascasarjana UM, (Vol. 2, 2017)

5. Jurnal yang ditulis oleh Muhammad Muadz Dzulkrom yang berjudul "Lunar Position Calculation Algorithm With Truncated ELP/MPP02 Series".¹⁴ dalam penelitiannya, penulis menyimpulkan bahwa Seri ELP/MPP02 yang terpotong memiliki kesalahan maksimum 5" untuk L, 1,26" untuk B, dan 2,43 km untuk R dalam rentang waktu 0 AD hingga 3000 AD. Dalam kasus L, B dan R, ini kesalahan ini tidak melebihi 5', 1' dan 14 km masing-masing ketika perhitungan dibuat antara 3000 SM dan 1000 SM. Untuk gerhana bulan dan matahari, seri ini menunjukkan akurasi 5,8 detik untuk gerhana bulan dalam rentang waktu 2000 M hingga 2050 Masehi, dan 4 detik untuk gerhana matahari. Persamaan antara penelitian tersebut dengan penelitian penulis adalah sama sama meneliti tentang posisi bulan namun terdapat perbedaan pada metode yang digunakan, dalam penelitian tersebut menggunakan metode Seri ELP/MPP02 sedangkan metode yang penulis gunakan adalah metode *Janus* dalam buku *Lunar Tables and Programs from 4000 B.C. to A.D. 8000*.
6. Jurnal yang ditulis oleh M Basthoni yang berjudul "Accuracy of Solar Eclipse Calculation Algorithm Based on Jet Propulsion Laboratory Data Nasa".¹⁵ Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa seri DE200 lebih akurat dibandingkan DE405 dengan selisih rata-rata 0,5 - 0,6 detik dengan hasil pengamatan. Persamaan antara penelitian tersebut dengan penelitian penulis adalah sama sama meneliti tentang data gerhana namun terdapat perbedaan pada metode yang digunakan, dalam penelitian tersebut menggunakan metode Seri DE200 dan DE405 yang dibandingkan tingkat akurasi, sedangkan metode yang penulis gunakan adalah metode *Janus* dalam buku *Lunar Tables and Programs from 4000 B.C. to A.D. 8000* yang dibandingkan dengan data NASA Seri DE441.

¹⁴ Abdillah, Yusrifal Fais, and Muhammad Muadz Dzulkrom. "Lunar Position Calculation Algorithm With Truncated ELP/MPP02 Series." *Al-Marshad: Jurnal Astronomi Islam dan Ilmu-Ilmu Berkaitan* 10.1 (2024): 1-14.

¹⁵ Basthoni, M. "Accuracy of Solar Eclipse Calculation Algorithm Based on Jet Propulsion Laboratory Data Nasa." *Al-Ahkam* 30.1 (2020): 95-118.

E. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam rencana penelitian ini adalah metode kualitatif dengan rangkaian susunan sub tema adalah sebagai berikut:

1. Jenis dan Pendekatan Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian kepustakaan yaitu mengkaji data posisi bulan pada buku "Lunar Tables and Programs from 4000 B.C. to A.D. 8000" yang nantinya dapat digunakan untuk menghitung data hisab gerhana. Adapun pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pendekatan interdisipliner, pendekatan dalam menyelesaikan masalah dengan menggunakan dua atau lebih bidang ilmu yang masih serumpun, dalam hal ini membandingkan hasil perhitungan gerhana menggunakan dua data yang berbeda namun masih sama sama berkaitan dengan data posisi bulan (Janus dan Nasa).¹⁶

2. Sumber Data

Sumber data penelitian dibagi menjadi dua yaitu sumber data primer dan sumber data sekunder.

a. Sumber data primer

Sumber data primer dalam penelitian ini adalah buku Lunar Tables and Programs from 4000 B.C. to A.D. 8000 dan Buku Solar Eclipse Predictions with JPL DE441, selain itu aplikasi utama dalam perhitungan gerhana adalah Microsoft excel.

b. Sumber data sekunder

Sumber data sekunder dalam penelitian ini adalah buku *Explanatory Supplement to The Astronomical Almanac*, sebagai data penguat dalam perhitungan data posisi bulan, dan beberapa buku dan jurnal terdahulu yang mendukung penelitian ini.

¹⁶ Maryam B Gainau, *Pengantar metode penelitian*. (Yogyakarta: Pt Kanisius, 2016), 19.

3. Fokus Penelitian

Objek penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah hasil pemrograman *Microsoft Excel* yang akan diberi nama “Ephemeris Janus” dimana program ini menghitung Hisab Posisi Bulan menggunakan Algoritma Janus Karya Michelle Chapront Touze dan Jean Chapront yang nantinya dibandingkan dengan data NASA Seri DE441 dalam interpretasinya pada perhitungan gerhana.

4. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang Peneliti gunakan, yaitu metode dokumentasi. Dengan metode ini, mengumpulkan informasi dari berbagai sumber tertulis seperti dokumen, laporan penulisan, buku, kitab-kitab, jurnal ilmiah, koran, majalah, website, keterangan dari narasumber dan penguatan data yang dilakukan oleh sistem penyebaran kuisioner dan lain-lain.¹⁷

Pengumpulan data melalui metode dokumentasi melibatkan proses pencarian, pengumpulan, dan analisis bahan-bahan tertulis yang relevan dengan topik atau masalah yang sedang diteliti. Data yang dikumpulkan dapat berupa pengetahuan, fakta, statistik, kutipan, atau argumen yang mendukung atau membahas masalah yang sedang dibahas dalam penelitian ini. Dalam Penulisan ini dokumentasi dilakukan dengan cara mempelajari perhitungan penentuan posisi Bulan menggunakan algoritma Janus karya Michelle Chapront Touze dan Jean Chapront serta komponen-komponen yang digunakan untuk membuat program *Microsoft excel*.

F. Sistematika Pembahasan

Penulis membagi pembahasan penelitian ke dalam lima bab untuk menghasilkan karya penulisan yang sistematis dan terstruktur. Tujuan utama pembagian ini untuk memberikan kemudahan dalam memahami alur pembahasan bagi Penulis

¹⁷ Djam'an Satori, Aan Komariah, *Metodelogi Penulisan Kualitatif* (Bandung: Alfabeta, 2009), 148

maupun pembaca. Struktur yang tertata menjadikan proses analisis lebih fokus dan mendalam. Setiap bab memiliki peran tersendiri dalam menyusun keseluruhan isi penelitian agar pembahasan berjalan logis dan konsisten. Pemilahan isi juga membantu menempatkan setiap informasi sesuai dengan konteksnya.

Bab pertama adalah pendahuluan. Bab ini meliputi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, kajian pustaka, metode penelitian dan sistematika pembahasan.

Bab kedua membahas landasan teori tentang hisab gerhana. Dalam bab ini berisikan teori-teori umum mengenai Pengertian gerhana, dasar hukum gerhana, serta metode-metode yang digunakan dalam penentuan posisi Bulan. Adapun tambahan teori yaitu teori akurasi dan teori perbandingan.

Bab ketiga membahas tentang hasil penelitian meliputi, akan dipaparkan mengenai Profil Buku Algoritma Janus, metode perhitungan posisi Bulan Algoritma Janus, dan pemrograman *software Microsoft excel* posisi Bulan Algoritma Janus serta hasil perbandingan perhitungan gerhana Bulan dan Matahari

Bab keempat tentang pembahasan. Pada sub-bab ini menjawab rumusan masalah yaitu metode perhitungan data posisi bulan Algoritma Janus karya Michelle Chapront Touze dan Jean Chapront dan uji akurasi data posisi bulan Algoritma Janus perbandingan dengan data Nasa dalam hisab gerhana.

Bab kelima yaitu penutup, akan ditarik sebuah kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, saran untuk perbaikan selanjutnya, dan penutup.

BAB II

HISAB GERHANA DAN DATA POSISI BULAN

A. Pengertian Gerhana

Definisi gerhana secara Etimologi, pada tatanan Bahasa Indonesia dalam KBBI memiliki makna Bulan atau Matahari gelap sebagian atau seluruhnya, serta memiliki makna lain dalam tinjauan fisika yakni berkurangnya penampakan suatu benda atau hilangnya pandangan dari suatu benda akibat benda tersebut masuk ke dalam bayangan yang terbentuk oleh benda lain.¹⁸ Gerhana dalam padanan literatur latin disebut sebagai *ekleipsis* serta pada bahasa Inggris dikenal dengan istilah *Eclipse*, istilah *Eclipse* digunakan secara umum, yakni pada gerhana Matahari atau gerhana Bulan, namun penyebutannya digunakan dua istilah yakni *Eclipse of Sun* atau digunakan juga istilah *Solar Eclipse* untuk gerhana Matahari, dan untuk gerhana Bulan bisa disebut *Eclipse of The Moon* atau digunakan juga istilah *Moon Eclipse*.¹⁹

Pada literatur bahasa Arab gerhana disebut *Kusuf* dan *Khusuf*. Penggunaan kata *Kusuf* digunakan untuk penyebutan fenomena gerhana Matahari (*Kusuf Al Syams*) dan kata *Khusuf* digunakan untuk penyebutan fenomena gerhana Bulan (*Khusuf Al Qamr*).²⁰ *Kusuf* berarti menutupi, ini mengisyaratkan terjadinya fenomena alam bahwa (dilihat dari bumi) Bulan tampak menutupi Matahari, sehingga terjadinya fenomena gerhana Matahari. *Khusuf* memiliki arti memasuki, ini megisyaratkan terjadinya fenomena bahwa (dilihat dari Bumi) Bulan memasuki bayangan dari Bumi, maka terjadilah gerhana Bulan.²¹

Sedangkan definisi gerhana secara istilah, menurut pendapat para ahli astronomi dan falak berdasarkan karya ilmiahnya. Seperti

¹⁸ Departemen Pendidikan Nasional, KBBI IV, (Jakarta, Pusat Bahasa, 2008), 471

¹⁹ Kemenag RI, Ilmu Falak Praktik (Jakarta Pusat: KEMENAG RI 2002),109

²⁰ Ahmad Izzudin, Ilmu Falak Praktis Metode Hisab - Rukyat (Semarang: Pustaka Rizki), 185

²¹ Muhyiddin Khazin, Ilmu Falak Dalam Teori dan Praktik, (Yogyakarta: Buana Pustaka 2008),185

pendapat dari Arwin Juli Rahmadi Butar Butar dalam bukunya yang berjudul “Pengantar Ilmu Falak Teori, Praktik dan Fikih”, beliau pada bukunya menjelaskan fenomena gerhana (baik gerhana Matahari ataupun gerhana Bulan) secara astronomis ialah dampak dari gerak revolusi Bulan kepada Bumi dan gerak revolusi Bumi mengelilingi Matahari. Pada revolusinya, Bumi menghasilkan bayang-bayang dari Matahari, dengan bayang-bayang tersebut menimbulkan dua pola berbeda (1) pola bayang-bayang yang teramat gelap, disebut umbra atau bayangan inti (2) pola bayang-bayang samar, disebut penumbra atau bayang-bayang semu.²²

Moh, Pabundu Tika dalam bukunya berjudul “Bukti Kebenaran Al Qur’an dalam Fenomena Jagat Raya dan Geosfer” menjelaskan bahwasannya gerhana ialah hilangnya cahaya Matahari dan Bulan yang disebabkan tertutup oleh benda langit lainnya. Apabila Bulan menutupi cahaya Matahari, terjadilah gerhana Matahari sementara apabila bayangan Bumi menutupi cahaya Bulan, terjadilah gerhana Bulan.²³

Muhyiddin Khazin pada karyanya buku berjudul “Kamus Ilmu Falak” menjelaskan bahwasannya gerhana Bulan ialah keseluruhan atau sebagian piringan Bulan bergerak menuju kerucut bayangan inti dari Bumi (umbra). Maka gerhana Bulan total terjadi ketika piringan Bulan tampak gelap seluruhnya atau tampak gelap sebagian. Gerhana Matahari terjadi Ketika piringan Bulan menutupi piringan Matahari yang terlihat dari bumi baik seluruhnya atau sebagian.²⁴ Juga ditegaskan dalam bukunya yang berjudul “Ilmu Falak Dalam Teori Dan Praktik” bahwasannya gerhana Matahari selalu terjadi ketika *ijtima’* (fase Bulan baru atau konjungsi) dimana Matahari dan Bulan berada pada salah satu titik simpul atau di dekatnya. Sebaliknya gerhana Bulan akan terjadi ketika *istiqbal* (fase Bulan purnama atau oposisi), dimana

²² Arwin Juli Rahmadi Butar-Butar, Pengantar Ilmu Falak: Teori, Praktik, dan Fikih (Depok: Rajawali Pers 2018), 105

²³ Moh. Pabundu Tika, Bukti Kebenaran Alquran Dalam Fenomena Jagat Raya dan Geosfer (Jakarta: Amzah 2017), 99

²⁴ Muhyiddin Khazin, Kamus Ilmu Falak (Yogyakarta: Buana Pustaka, 2005), 45-47.

posisi Bulan pada salah satu titik simpul atau didekatnya, sementara posisi Matahari pada jarak 180° bujur Astronomi dari posisi Bulan.²⁵

Dari beragam istilah yang telah dijelaskan di atas, dapat disimpulkan bahwasannya gerhana adalah peristiwa astronomi yang berkaitan erat pada gerak Bumi, Bulan dan Matahari, dengan gerhana Matahari ialah ketika Matahari dan Bulan pada posisi tertentu menimbulkan fenomena piringan Matahari tertutupi oleh Piringan Bulan yang dapat dilihat dari Bumi, dan gerhana Bulan ialah ketika posisi Bumi menimbulkan bayangan pada permukaan Bulan saat Bulan berada pada fase Bulan Purnama.

Berdasarkan tinjauan astronomisnya prinsip dasar terjadinya gerhana Matahari adalah piringan Bulan menutupi piringan Matahari dilihat dari bumi baik sebagian atau seluruhnya yang terjadi saat ijtimā' (konjungsi atau fase Bulan baru) dimana Bulan dan Matahari berada di salah satu titik simpul atau di dekatnya.²⁶ Ukuran Bulan dan Matahari jika dilihat dari Bumi tampak sama besar sekitar $32'$ busur ketika jarak Matahari dan Bulan berada pada jarak terdekat dari Bumi (Perige) dan tampak $33'$ busur ketika Matahari dan Bulan berada pada jarak terjauh dari Bumi (Apogee), namun sesungguhnya Bulan dan Matahari memiliki perbedaan ukuran sangat besar. Hal itu terjadi dikarenakan jarak rata-rata Bulan terhadap Bumi adalah 384.400 kilometer, dan jarak rata-rata Bumi terhadap Matahari adalah 149.680.000 kilometer lebih jauh sekitar 390 kali jarak Bumi terhadap Bulan.²⁷

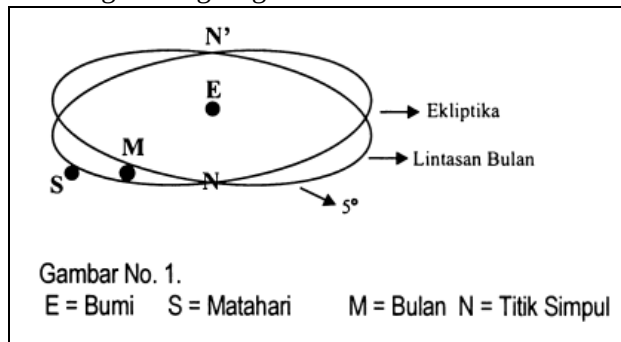
Akibat dari peredaran dengan jarak tersebut dan kemiringan ekliptika bumi sebesar $23,5^{\circ}$ busur menyebabkan Matahari mempunyai pergeseran semu sepanjang lingkaran ekliptika menuju arah timur dengan kecepatan sekitar 1° busur dalam satu hari atau $2,5'$ busur dalam satu jam. Sementara itu Bulan juga mengalami pergeseran semu menuju arah timur dengan kecepatan 13 derajat dalam satu hari atau $30'$ dalam satu jam pada garis orbit revolusi

²⁵ Muhyiddin Khazin, Ilmu Falak Dalam Teori dan Praktik, (Yogyakarta: Buana Pustaka 2008), 185

²⁶ *Ibid*, 185

²⁷ *Ibid*, 186

Bulan dengan kemiringan sekitar 5° terhadap lingkaran ekliptika. Sehingga dari pergerakan tersebut gerak semu Bulan 12 kali lebih cepat dari gerak semu Matahari jika dilihat dari Bumi. Kemiringan garis orbit Revolusi Bulan tersebut mengakibatkan Bulan akan melintasi lingkaran ekliptika sebanyak 2 kali dalam satu kali masa Revolusinya, jika dalam titik lintasan yang dilalui Bulan tersebut dilalui atau dekat sekali dengan Matahari dan bila titik pusat kedua benda itu berimpit, piringan Matahari bisa sempurna atau sebagian tertutupi oleh piringan Bulan yang berarti Fenomena gerhana Matahari sedang berlangsung.²⁸ Perhatikan Gambar Berikut :



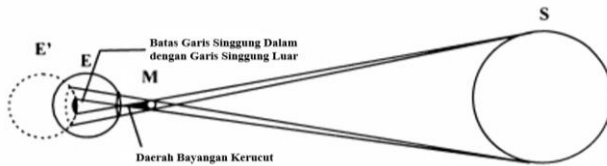
Gambar 2. 1 Skema lintasan revolusi Bulan

Pada gerhana Matahari diwaktu yang sama di dua daerah berbeda akan mendapati tampak gerhana Matahari yang berbeda, terjadi demikian karena gerhana Matahari di permukaan Bumi menimbulkan dua daerah gerhana yaitu daerah umbra (daerah gelap), dan daerah penumbra (daerah samar-samar).²⁹ Daerah umbra di fenomena gerhana Matahari ialah daerah di permukaan Bumi yang berada pada kawasan dalam batas sinar Matahari yang berbentuk bayangan kerucut dan membentuk garis singgung luar dengan Piringan Bulan. Daerah Penumbra di fenomena gerhana Matahari ialah daerah di permukaan Bumi yang berada pada kawasan luar batas sinar Matahari yang berada pada luar daerah

²⁸ Kemenag RI, Almanak Hisab Rukyat (Jakarta: Direktorat Jenderal Bimbingan Masyarakat Islam, 2010), 177.

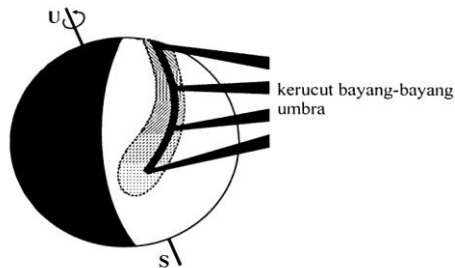
²⁹ *Ibid*, 178.

bayangan kerucut dan membentuk garis singgung dalam.³⁰
Perhatikan gambar berikut :



Gambar 2. 2 Skema terbentuknya gerhana Matahari

Fenomena gerhana Matahari berdasarkan garis lintasanya yakni gerak semu Bulan yang memiliki gerak yang lebih cepat daripada gerak semu Matahari, serta gerak rotasi Bumi pada porosnya mengakibatkan daerah-daerah yang dilalui oleh gerhana Matahari merupakan garis lintasan yang memanjang. Garis lintasan gerhana Matahari yang memanjang itu juga menimbulkan daerah yang mengalami gerhana Matahari pernumbra, dan gerhana Matahari Umbra.³¹ Perhatikan gambar berikut :



Gambar 2. 3 Skema lintasan gerhana Matahari

Fenomena astronomis ketika piringan Matahari yang tertutupi oleh piringan Bulan pada gerhana Matahari, maka gerhana Matahari itu dapat didefinisikan menjadi empat macam yakni gerhana Matahari totla, gerhana Matahari cincni, gerhana sebagian serta gerhana Matahari Hybird.³²

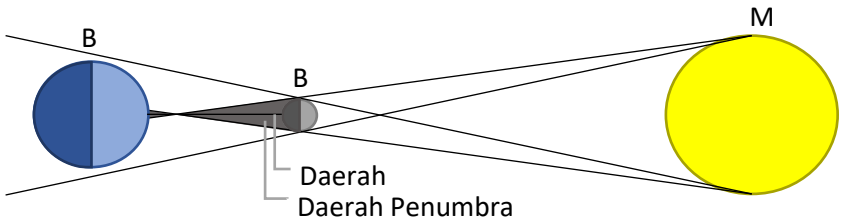
1. Gerhana Matahari Total

³⁰ *Ibid*, 179

³¹ *Ibid*, 180

³² Muhyiddin Khazin, Ilmu Falak dalam Teori dan Praktik, (Yogyakarta: Buana Pustaka 2008), 188

Gerhana Matahari total atau sempurna atau *Kulliy* terjadi ketika Matahari-Bulan-Bumi pada satu garis lurus ketika *Perihelion* atau posisi Bulan terhadap Bumi pada jarak paling dekat, sehingga bayangan kerucut (umbra) Bulan akan panjang dan menyentuh permukaan Bumi.

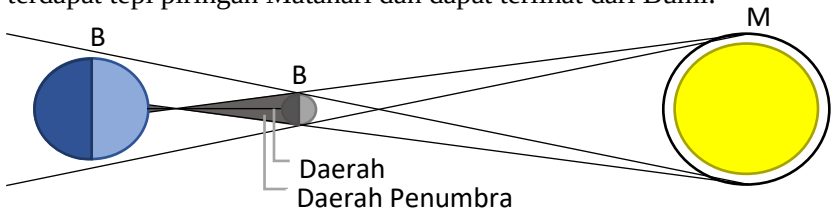


Keterangan : Bm = Bumi, Bl = Bulan, M = Matahari

Gambar 2. 4 Skema terbentuknya gerhana Matahari total

2. Gerhana Matahari Cincin

Gerhana Matahari cincin atau *Halqiy* terjadi ketika Matahari-Bulan-Bumi pada satu garis lurus serta *Aphelion* yakni posisi Bulan dengan Bumi pada jarak yang jauh, sehingga bayangan kerucut (umbra) Bulan akan pendek dan tidak sampai jatuh pada permukaan Bumi. Ketika diameter piringan Matahari tampak lebih besar daripada diameter piringan Bulan, maka terdapat tepi piringan Matahari dan dapat terlihat dari Bumi.

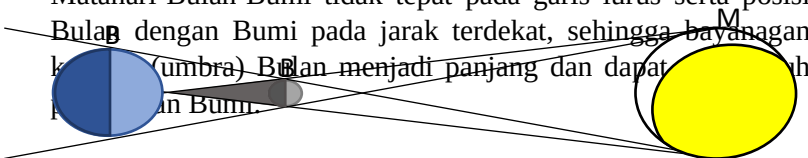


Keterangan : Bm = Bumi, Bl = Bulan, M = Matahari

Gambar 2. 5 Skema terbentuknya gerhana Matahari cincin

3. Gerhana Matahari Sebagian

Gerhana Matahari sebagian *Ba'dliyy* terjadi ketika Matahari-Bulan-Bumi tidak tepat pada garis lurus serta posisi Bulan dengan Bumi pada jarak terdekat, sehingga bayangan kerucut (umbra) Bulan menjadi panjang dan dapat jatuh pada permukaan Bumi.



Keterangan : Bm = Bumi, Bl = Bulan, M = Matahari

Gambar 2. 6 Skema terbentuknya gerhana Matahari sebagian

4. Gerhana Matahari Hybird

Gerhana Hybird terjadi selama peristiwa gerhana Matahari, terjadi fenomena gerhana Matahari total dan gerhana Matahari cincin terjadi secara bersamaan di tempat yang berbeda akibat ukuran diameter sudut Bulan dan diameter sudut Matahari yang hampir sama besarnya.³³

Pada gerhana Matahari total atau sempurna dan gerhana Matahari cincin menyebabkan empat kali kontak, yakni :³⁴

1. Kontak pertama (waktu awal gerhana Matahari) ialah disaat piringan Bulan mulai menutupi piringan Matahari.
2. Kontak kedua (waktu awal gerhana Matahari total atau cincin) ialah disaat seluruh piringan Matahari tertutupi oleh piringan Bulan.
3. Kontak ketiga (waktu akhir gerhana Matahari total atau cincin) ialah disaat piringan Bulan mulai menjauhi piringan Matahari
4. Kontak keempat (waktu gerhana Matahari berakhir) adalah disaat seluruh piringan Bulan tidak menutupi atau sudah keluar dari piringan Matahari.

Sedangkan pada gerhana Matahari sebagian hanya terjadi dua kali kontak saja, yaitu :³⁵

1. Kontak pertama (waktu mulai gerhana Matahari sebagian) ialah disat piringan Bulan mulai menyentuh piringan Matahari

³³ Moedji Raharto, dkk, Buku Panduan Gerhana (Bandung : ITB Press 2018), 30

³⁴ Muhyiddin Khazin, Ilmu Falak Dalam Teori dan Praktik, (Yogyakarta: Buana Pustaka, 2008) 189.

³⁵ *Ibid*, 190.

2. Kontak kedua (waktu gerhana Matahari Sebagian berakhir) ialah ketika piringan Bulan sudah keluar lagi dari piringan Matahari.

B. Dasar Hukum Gerhana

Gerhana matahari adalah peristiwa langka yang tidak terlihat setiap kali terjadi. Dalam Islam, ada beberapa dalil yang dapat dijadikan sebagai sumber hukum gerhana, yaitu:

1. Dalil al-Qur'an

a. Surat al-An'am: 96

فَالِقُ الْإِصْبَاحِ وَجَعَلَ اللَّيْلَ سَكَنًا وَالشَّمْسَ وَالْقَمَرَ حُسْبَانًا ۚ ذَٰلِكَ تَقْدِيرُ الْعَزِيزِ الْعَلِيمِ ٩٦

Artinya: “(Dia) yang menyingsingkan pagi dan menjadikan malam untuk beristirahat, serta (menjadikan) matahari dan bulan untuk perhitungan. Itulah ketetapan Allah Yang Mahaperkasa lagi Maha Mengetahui”.³⁶

Kata "حَابِصًا" Allah SWT "dia bangun pagi" adalah na'at (sifat) dari nama Allah SWT. Artinya, Allah, Tuhanmu, bangun di pagi hari. Ada yang mengatakan itu berarti bahwa Allah yang bangun di pagi hari. Kata "حَابِصًا" dan "حَابِصًا" berarti "siang". Hal yang sama berarti "حَابِصًا". Ayat "siang hari setiap hari" berarti fajar. Kata "حَابِصًا" adalah masdar dari "حَابِصًا". Artinya adalah terang dalam gelap dan menghalau kegelapan.³⁷

Sesuai dengan arti “قَافٍ”, Hasan, Isa bin Umar, Hamzah dan al-Kisa'i membaca lafadz اَنْضِ ا “biarkan malam beristirahat”, tidak termasuk huruf alif, dan membaca kata “وَبَا” dengan harakat fathah” pada dua di atas Tempat.

³⁶ Qur'an in Word, terjemahan Kemenag 2019.

³⁷ Syaikh Imam al-Qurthubi, Tafsir al-Qurthubi, Jakarta: Pustaka Azzam, Cet. I, 2008, 113.

Keduanya berarti "berpisah". Karena itulah yang terjadi. Jadi ditafsirkan seperti ini.³⁸

Arti kata **أَبْطَدَ** berkaitan dengan kemaslahatan hamba. Ibnu Abbas Ra berkata: “Allah SWT **أَبْطَدَ** artinya dengan perhitungan. Makna dari ayat di atas adalah bahwa Allah SWT menyelesaikan perjalanan matahari dan bulan dengan perhitungan yang tidak terbatas (pasti). Dengan semua ini, Allah SWT menunjukkan kepada mereka Nya kekuasaan dan keesaan, dan Allah ingin menunjukkan bahwa segala sesuatu yang terjadi di dunia ini sesuai dengan kehendak-Nya. Maksud dari ayat "Perjalanan" ini adalah bahwa Allah telah mengatur cara matahari dan bulan bergerak dan bahwa kehadiran matahari atau gerhana bulan juga diatur oleh Allah SWT dalam Al Quran.³⁹

b. Surat Yasin ayat 38-40

وَالشَّمْسُ تَجْرِي 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 يَوْمَئِذٍ فَلَكَ يُسَبِّحُونَ ٤٠

Artinya: “Dan Matahari berjalan di tempat peredarannya. Demikian ketetapan (Allah) Yang Maha Perkasa, Maha Mengetahui. Dan telah Kami tetapkan tempat peredaran bagi Bulan, sehingga (setelah ia sampai ke tempat peredaran yang terakhir) kembalilah ia seperti bentuk tandan yang tua. Tidaklah mungkin bagi Matahari mengejar Bulan dan malam pun tidak dapat mendahului siang. Masingmasing beredar pada garis edarnya” (Q.S. Yasin:38-40).⁴⁰

Kata "takdir" pada pasal 38 di atas digunakan untuk memberi sesuatu tingkat dan sistem tertentu dan menyeluruh,

³⁸ Ibid., 115.

³⁹ Ibid., 116.

⁴⁰ Qur'an in Word, terjemahan Kemenag 2019.

dan bisa juga berarti tingkat pengaturan sesuatu dalam kaitannya dengan materi dan waktu. Allah telah menetapkan matahari untuk berputar dengan hati-hati dalam siklusnya dan pada saat yang sama Allah mengatur tingkat waktu siklusnya, dari mana ia mengarah ke siang dan malam dan kegelapan dan cahaya.⁴¹

Ayat-ayat di atas juga menjelaskan sistem peredaran bulan dalam manzilah manzilah atau posisi tertentu yang membuat bulan tampak kecil atau sabit pada awal kemunculannya dan mengalami pembesaran dari malam ke malam hingga akhirnya menyusut kembali (fase bulan). Disebutkan pula bahwa bulan digambarkan sebagai massa baru yang tumbuh dan menua dari waktu ke waktu, kemudian mengering dan membengkok hingga mencapai manzillah terakhir. Bulan akan kembali menjadi tandan yang layu.⁴²

Allah SWT telah menjadikan Matahari dan Bulan pada garis edarnya masing-masing dengan sangat teliti dan konsisten. Sehingga masing-masing tidak akan keluar dari garis edarnya ataupun saling mendahului satu sama lain.⁴³

2. Dalil al-Hadis

Hadis Riwayat Imam Bukhari yang Artinya bahwa Abdullah bin Muhammad menceritakan kepada kami: Hasyim bin al-Qasim menceritakan kepada kami: Syaiban Abu Mu'awiyah dari Ziad bin 'Illaqoh memberi tahu kami Mughiroh bin Syu'bah berkata: Gerhana terjadi pada hari ketika Nabi Muhammad SAW masih hidup Ibrahim (putra Nabi) meninggal. Dikatakan juga bahwa gerhana terjadi karena kematian Ibrahim. Kemudian Rasulullah (SAW) berkata: “Benar bahwa gerhana matahari dan bulan tidak terjadi karena kematian atau kelahiran seseorang, jadi ketika Anda melihat gerhana matahari, berdoa dan berdoa kepada Allah”. (H.R. Bukhari).

⁴¹ M. Quraish Shihab, Tafsir al-Misbah (Pesan, Kesan dan Keserasian al-Qur'an), Jakarta: Lentera Hati, 2015, Vol. 11, Cet. V, 153.

⁴² Ibid, 153.

⁴³ Ibid, 154.

Nabi Muhammad SAW bersabda bahwa matahari dan bulan adalah tanda-tanda kebesaran Allah. Gerhana tidak terjadi karena kematian atau kelahiran seseorang atau sehubungan dengan bencana yang akan datang, dll. Namun, gerhana matahari adalah perintah Allah dan hanya bagian dari Hadis Kaunia, manifestasi kitab suci Allah di alam semesta.⁴⁴

Melalui gerhana matahari, Allah telah menunjukkan kekuasaan-Nya atas alam semesta, tentang bagaimana mengatur keteraturan siklus orbit setiap benda langit seperti matahari dan bulan, meskipun mereka tampak sama dalam cahaya, sifat cahaya. dan geraknya berbeda. Hal ini agar umat Islam lebih bersyukur dan takut akan kekuasaan Allah dan segera berdzikir atau memohon ampun atas khilaf atau dosa.⁴⁵

C. Perhitungan Gerhana Matahari

Adapun hisab gerhana Matahari pada koordinat tertentu menggunakan data Ephemeris Hisab Rukyat yang tercakup pada buku Ilmu Falak dalam Teori dan Praktik karya Muhyiddin Khazin proses hisabnya ialah sebagai berikut :⁴⁶

1. Menghitung kemungkinan terjadinya gerhana Matahari berdasarkan jadwal gerhana, dengan jadwal gerhana (tabel 1-3), yaitu dengan cara :
 - a. Gunakan data tabel 1 (kelompok tahun) berdasar kelompok tahunnya
 - b. Gunakan data tabel 2 (urutan tahun) berdasar satuan tahunnya
 - c. Gunakan data tabel 3 (urutan Bulan) berdasar Bulan terjadinya
 - d. Ketiga data tersebut dijumlahkan (bila jumlah lebih dari 360° maka data hasil dikurang 360°)

⁴⁴ Muhammad Hadi Bashori, Pengantar Ilmu Falak, (Jakarta: Pustaka AlKautsar, 2015), 238.

⁴⁵ Ibid, 239.

⁴⁶ Muhyiddin Khazin, Ilmu Falak dalam Teori dan Praktik, (Yogyakarta: Buana Pustaka, 2008), 189

Tabel 1 Tabel prediksi gerhana Matahari berdasar kelompok tahun

Tabel 1 (Kelompok Tahun)

Tahun	Data	Tahun	Data	Tahun	Data
0	331° 05' 12"	1400	084° 50' 12"	1700	338° 50' 12"
30	212° 29' 12"	1430	326° 14' 12"	1730	220° 14' 12"
60	093° 53' 12"	1460	207° 38' 12"	1770	101° 38' 12"
90	335° 17' 12"	1490	089° 02' 12"	1800	343° 02' 12"
1120	076° 26' 12"	1520	330° 26' 12"	1830	224° 26' 12"
1250	317° 50' 12"	1550	211° 50' 12"	1860	105° 50' 12"
1280	199° 14' 12"	1580	093° 14' 12"	1890	347° 14' 12"
1310	080° 38' 12"	1610	334° 38' 12"	2010	228° 38' 12"
1340	322° 02' 12"	1640	216° 02' 12"	2040	110° 02' 12"
1370	203° 26' 12"	1670	097° 26' 12"	2070	351° 26' 12"

Tabel 2 Tabel prediksi gerhana Matahari berdasar satuan tahun

Tabel 2 (Urutan Tahun)

Tahun	Data	Tahun	Data	Tahun	Data
1	008° 02' 48"	11	088° 30' 48"	21	168° 58' 48"
2	016° 05' 38"	12	096° 33' 36"	22	177° 01' 36"
3	024° 08' 24"	13	104° 36' 24"	23	185° 04' 24"
4	032° 11' 12"	14	112° 39' 12"	24	193° 07' 12"
5	040° 14' 00"	15	120° 42' 00"	25	201° 10' 00"
6	048° 16' 48"	16	128° 44' 48"	26	209° 12' 48"
7	056° 19' 36"	17	136° 47' 36"	27	217° 15' 36"
8	064° 22' 24"	18	144° 50' 24"	28	225° 18' 24"
9	072° 25' 12"	19	152° 53' 12"	29	233° 21' 12"
10	080° 28' 00"	20	160° 56' 00"	30	241° 24' 00"

Tabel 2 Prediksi Gerhana Matahari Berdasar Bulan

Tabel 3 (Urutan Bulan)

Nama Bulan	Data
Muharam	030° 40' 15"
Safar	061° 20' 30"
Rab. Awal	092° 00' 45"
Rab. akhir	122° 41' 00"
Jum. awal	153° 21' 15"
Jum. akhir	184° 01' 30"

Nama Bulan	Data
Rajab	214° 41' 45"
Syakban	245° 22' 00"
Ramadan	276° 02' 15"
Syawal	306° 42' 30"
Dzulqadah	337° 22' 45"
Dzulhijah	008° 03' 00"

Gerhana Matahari mungkin terjadi bila hasil penjumlahannya (tabel 1-3) :

- a. Nilai jumlah tabel 1-3 ialah 000° hingga 20°
 - b. Nilai jumlah tabel 1-3 ialah 159° hingga 190°
 - c. Nilai jumlah tabel 1-3 ialah 348° hingga 360°
2. Melakukan perhitungan konversi tanggal atau menukar kalender penanggalan, yakni dari penanggalan hijriyah ke penanggalan masehi, untuk mengetahui data astronomi tanggal kemungkinan terjadinya gerhana. Gerhana Matahari selalu terjadi pada saat Matahari dan Bulan berkonjungsi, sehingga gerhana hanya akan terjadi pada saat menjelang Bulan baru, yakni sekitar tanggal 29 atau 30 pada Bulan kamariyah yang kemudian digunakan untuk menghitung kemungkinan waktu terjadinya gerhana Matahari pada penanggalan masehinya.
 3. Menyiapkan data astronomis untuk tanggal hasil konversi tanggal di atas dari data astronomi Ephemeris Hisab Rukyat yang bisa diambil dari Buku Ephemeris Hisab Rukyat atau juga bisa dicari dari software WinHisab versi 2.0 (1998)
 4. Melacak *Fraction Illumination* Bulan (FIB) terkecil pada data Ephemeris. FIB yang ditunjukkan pada tabel Ephemeris menggunakan *Universal Time*. Memeriksa ulang apakah mungkin terjadi gerhana, yakni dengan memperhatikan nilai mutlak lintang Bulan di Ephemeris pada kolom *Apparent Latitude* Bulan saat FIB terkecil. Pada *Al-Khulasjah* disebutkan:
 - a. Apabila nilai mutlak lintang Bulan lebih dari ($>$) $01^{\circ} 32' 02''$ maka gerhana Matahari tidak terjadi.
 - b. Apabila nilai mutlak lintang Bulan kurang dari ($<$) $01^{\circ} 24' 10''$ maka dapat dipastikan terjadi gerhana Matahari
 - c. Apabila nilai mutlak lintang Bulan berada diantara $01^{\circ} 24' 10''$ hingga $01^{\circ} 32' 02''$ maka terdapat kemungkinan terjadinya gerhana Matahari
 5. Hisab *Sabaq* Matahari (B1), guna mengetahui gerak Matahari setiap jam, dengan cara menghitung harga mutlak selisih data

ELM (ELM = *Ecliptic Longitude* Matahari) pada jam FIB terkecil tersebut dan ELM pada satu jam berikutnya

6. Hisab *Sabaq* Bulan (B2), guna mengetahui pergerakan Bulan tiap jamnya, dengan menghitung beda nilai dari data ALB (ALB = *Apparent Longitude* Bulan) pada jam FIB terkecil dan ALB pada satu jam berikutnya.
7. Hisab jarak Matahari dan Bulan (MB), guna mengetahui beda nilai jarak titik Matahari hingga ke titik *Haml* dan titik Bulan hingga ke titik *Haml* diukur sepanjang lingkaran ekliptika, dengan rumus

$$MB = ELM - ALB$$

8. Hisab *Sabaq* Bulan *Mu'addal* (SB), guna mengetahui kecepatan gerak relatif Bulan dari Matahari, dengan rumus

$$SB = B2 - B1$$

9. Hisab titik *ijtima'* (TI), guna mengetahui beda nilai waktu dari FIB terkecil hingga waktu *ijtima'*, dengan rumus

$$TI = MB : SB$$

10. Hisab waktu *ijtima'* pertama (Ijt1), guna mengetahui posisi Matahari dan posisi Bulan berada pada garis bujur astronomi yang sama (menurut Universal Time) ketika gerhana Matahari berlangsung, dengan rumus

$$Ijt\ 1 = \text{Waktu FIB} + TI$$

11. Melacak data dibutuhkan di Ephemeris saat *Ijtima'*, dengan interpolasi.
 - a. Semidiameter Bulan (SDc) pada baris Semi Diameter Bulan.
 - b. *Horizontal Parallax* Bulan (HPc) pada baris *Horizontal Parallax* Bulan
 - c. Lintang Bulan (LC) pada baris *Apparent Latitude* Bulan.
 - 1) Gerhana Matahari hanya bisa diamati di daerah utara equator Bumi apabila lintang Bulan (LC) bernilai positif (+) dan harganya lebih besar daripada 00° 31'.

- 2) Gerhana Matahari hanya bisa diamati di daerah selatan equator Bumi apabila apabila nilai lintang Bulan (LC) negatif (-) dan harganya lebih kecil dari $-00^{\circ} 31'$.
- 3) Gerhana Matahari hanya bisa diamati di sekitar daerah equator Bumi apabila harga mutlak dari lintang Bulan (LC) dan lebih kecil daripada $00^{\circ} 31'$.

12. Hisab *Meridian Pass* (MP), guna mengetahui waktu Matahari tepat berada di lingkaran meridian atau tempat yang bersangkutan, dengan rumus

$$MP = 12 - e$$

13. Hisab waktu *ijtima'* kedua (Ijt2), guna mengetahui waktu *Ijtima'* pada waktu setempat di daerah yang sudah ditentukan, dengan rumus

$$Ijt2 = Ijt1 + (\lambda : 15)$$

14. Hisab jarak *ijtima'* (JI), guna mengetahui busur sepanjang lingkaran ekliptika diukur dari Matahari ketika *Ijtima'* hingga titik kulminasi atasnya, dengan rumus

$$JI = [MP - Ijt2] \times 15^{\circ}$$

15. Hisab *'Ashir* pertama (A1), guna mengetahui busur sepanjang lingkaran ekliptika diukur dari titik *H{aml}* hingga suatu titik pada ekliptika itu sendiri. Titik tersebut merupakan hasil koreksi posisi Matahari terhadap *Ijtima'* hingga titik kulminasi atasnya (JI), dengan cara

$$\text{Apabila } Ijt2 < MP \text{ maka } A1 = ELM - JI$$

$$\text{Apabila } Ijt2 > MP \text{ maka } A1 = ELM + JI$$

16. Hisab *Mail 'Ashir* pertama (MA1), guna mengetahui busur pada lingkaran deklinasi dihitung dari ekuator hingga posisi A1, dengan rumus

$$\sin MA1 = \sin A1 \times \sin Obl$$

17. Hisab *Irtfa' Ashir* pertama (IA1), guna mengetahui *Altitude* Matahari pada lignkaran meridian diukur dari ufuk hingga titik proyeksi posisi A1 sepanjang lignkaran meridian itu dengan rumus

$$IA1 = 90 - [MA1 - \phi]$$

18. Hisab sudut pembantu (SP), dengan rumus

$$\sin SP = (\sin SB \times \cos MA1) : (\sin HPC \times \sin IA1)$$

19. Hisab *Sa'atu Ba'dil Wasat* (SBW), guna mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk mengkoreksi waktu Ijtima' agar dapat diketahui waktu tengah terjadinya gerhana Matahari, dengan rumus

$$SBW = \sin JI : \sin SP$$

20. Hisab waktu tengah gerhana (tgh), dengan cara

$$\text{Apabila } Ijt2 < MP \text{ maka } tgh = Ijt2 - SBW$$

$$\text{Apabila } Ijt2 > MP \text{ maka } tgh = Ijt2 + SBW$$

Agar menjadi waktu daerah, maka diperlukan koreksi interpolasi waktu, dengan cara $(\lambda - \lambda D) : 15$ maka hasilnya ialah TGH

21. Hisab jarak gerhana (JG), guna mengetahui busur pada lignkaran ekliptika yang dihitung dari Matahari disaat tengah gerhana hingga titik kulminasi atasnya, dengan rumus

$$JG = [MP - tgh] \times 15^\circ$$

22. Guna mengetahui busur pada lignkaran ekliptika diukur dari titik *Haml* hingga suatu titik pada ekliptik. Titik tersebut berada pada hasil koreksi posisi Matahari dengan jarak antara Matahari diakal tengah gerhana sampai titik kulminasi atasnya (JG), dengan rumus

$$\text{Apabila } Ijt2 < MP \text{ maka } tgh = Ijt2 - SBW$$

$$\text{Apabila } Ijt2 > MP \text{ maka } tgh = Ijt2 + SBW$$

23. Hisab *Mail 'Asyir* kedua (MA2), guna mengetahui busur pada lingkaran deklinasi dihitung dari equator hingga posisi A2, dengan rumus

$$\sin MA2 = \sin A2 \times \sin Obl$$

24. Hisab *Irtifa' 'Asyir kedua* (IA2), guna mengetahui ketinggian Matahari pada lingkaran meridian diukur dari ufuk hingga titik proyeksi posisi A2 pada lingkaran meridian itu dengan rumus

$$IA2 = 90 - [MA2 - \phi]$$

25. Hisab *Ardju Iqlimir Rukyah* (AIR), guna mengetahui jarak busur pada lingkaran meridian diukur dari zenit hingga titik proyeksi A2 sepanjang lingkaran meridian itu, dengan rumus dan syarat :

$$AIR = 90 - IA2$$

Syarat yang berlaku pada nilai AIR :

- Jika $MA2 < 0$ dan $\phi > 0$ maka $AIR = AIR$
 - Jika $MA2 > 0$ dan $\phi < 0$ maka $AIR = - AIR$
 - Jika $MA2 > 0$ dan $\phi > 0$ dan jika $[MA2] > [\phi]$ maka $AIR = - AIR$
 - Jika $MA2 > 0$ dan $\phi > 0$ dan jika $[MA2] < [\phi]$ maka $AIR = AIR$
 - Jika $MA2 < 0$ dan $\phi < 0$ dan jika $[MA2] > [\phi]$ maka $AIR = AIR$
 - Jika $MA2 < 0$ dan $\phi < 0$ dan jika $[MA2] < [\phi]$ maka $AIR = - AIR$
26. Hisab *Ikhtifatul 'Ardi* (IkA), guna mengetahui gerak Bulan karena ketidak-aturan gerak semu dan ketidak-aturan nyata gerak semu Bulan itu sendiri, berlaku jika $AIR > 0$ maka $IkA = - IkA$ atau jika $AIR < 0$ maka $IkA = IkA$, dengan rumus

$$\sin IkA = [\cos IA2 \times \sin 00^{\circ} 51' 22'']$$

27. Hisab *Arzjul Qamar Mar'i* (LC'), guna mengetahui lebar piringan Bulan yang tidak menutupi Matahari terlihat dari permukaan Bumi yang menghadapnya, dengan rumus

$$LC' = [LC + IkA]$$

Syarat yang berlaku pada LC' :

- a. Apabila $LC > 0$ maka $LC' = LC$
 - b. Apabila $LC < 0$ maka $LC' = -LC$
 - c. Apabila $LC' = 0$ akan terjadi gerhana dimulai dari arah barat
 - d. Apabila $LC' > 0$ akan terjadi gerhana dimulai dari arah barat laut
 - e. Apabila $LC' < 0$ akan terjadi gerhana dimulai dari arah barat daya
 - f. Apabila $LC' > (SD_{\odot} + SDC)$ tidak akan terjadi gerhana
 - g. Apabila $LC' < (SD_{\odot} + SDC)$ maka :
 - 1) Apabila $SDC < (SD_{\odot} + LC')$ terjadi gerhana Matahari sebagian
 - 2) Apabila $SDC > (SD_{\odot} + LC')$ akan terjadi gerhana Matahari total
 - 3) Apabila $SD_{\odot} < (SDC + LC')$ akan terjadi gerhana Matahari Cincin
 - 4) Apabila $LC' = 0$ dan $SD_{\odot} = SDC$ akan terjadi gerhana Matahari Total beberapa detik
28. Hisab *Al-Jamu' u* (J), guna mengetahui separuh lebar bayangan penumbra Bulan, dengan rumus

$$B = [SD_{\odot} + SDC + [LC']]$$

29. Hisab *Al-Baqiy* (B), guna mengetahui separuh lebar bayangan umbra Bulan dengan rumus

$$B = [SD_{\odot} + SDC - [LC']]$$

30. Hisab *Daqa'iqul Khusuf* (DK) dengan rumus

$$DK = \sqrt{(J \times B)}$$

31. Hisab *Sabaq Mu'addal* (SM) dengan rumus

$$SM = SB - 00^{\circ} 11'$$

32. Hisab *Sa'atus Suquth* (SS), guna mengetahui durasi waktu dari mulai terjadi kontak gerhana atau kontak berakhirnya dengan waktu tengah gerhana, dengan rumus

$$SS = DK : SM$$

33. Hisab waktu mulai gerhana (MG), guna mengetahui awal waktu terjadi kontak pertama, yakni dikala piringan Bulan mulai menyentuh piringan Matahari, dengan rumus

$$MG = TGH - SS$$

34. Hisab lebar gerhana (LG), guna mengetahui ukuran lebar piringan Matahari yang terhalangi oleh piringan Bulan ketika terjadi gerhana dalam persen, dengan rumus

$$LG = (B \div (SD \times 2)) \times 100 \%$$

Lebar gerhana dapat dihitung menggunakan satuan ukur *Ushbu'* (LG'), dengan rumus

$$LG' = LG \times 12$$

Apabila $LG > 100\%$ atau $LG' > 12$ maka disaat tengah gerhana terdapat sebagian piringan Bulan tidak menutupi Matahari, diakrenakan piringan Bulan lebih kecil daripada piringan Matahari. LG' juga dapat menjadi parameter warna, yakni nilainya :

- 0,333 sampai dengan 1.000 maka berwarna kuning keputih-putihan.
- 1.000 sampai dengan 1.750 maka berwarna kekuning-kuningan
- 1.750 sampai dengan 2.167 maka berwarna kelabu kebiru-biruan
- 2.167 sampai dengan 3.667 maka berwarna kelabu
- 3.667 sampai dengan 4.667 maka berwarna debu kelabu
- 4.667 sampai dengan 5.883 maka berwarna kedebuan
- 5.883 sampai dengan 7.000 maka berwarna debu kekuning-kuningan

- h. 7.000 sampai dengan 8.333 maka berwarna debu kemerah-merahan
- i. 8.333 sampai dengan 9.667 maka berwarna debu kebiru-biruan
- j. 9.667 sampai dengan 10.830 maka berwarna debu kehitam-hitaman
- k. Lebih dari 10.830 maka berwarna hitam suram

Rumus di bawah ini ialah langkah perhitungan yang hanya berlaku pada gerhana Matahari total, gerhana Mataharu cincin dan tidak berlaku pada gerhana Matahari sebagian.

35. Hisab *Sa'atul Muksi* (SMk), guna mengetahui durasi waktu diantara waktu mulai terjadi kontak gerhana Matahari total atau kontak berakhirnya dengan waktu gerhana Matahari, dengan rumus

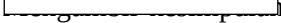
$$SMk = [12 - LG'] \div 15^\circ$$

36. Hisab waktu mulai total (MT), guna mengetahui waktu mulai terjadi kontak pada gerhana Matahari total, yakni ketika seluruh piringan Bulan mulai menutupi piringan Matahari, dengan rumus

$$MT = TGH - SMk$$

37. Hisab waktu selesai total (ST), guna mengetahui waktu mulai terjadi kontak ketiga pada gerhana Matahari total, yaitu ketika piringan Bulan mulai keluar dari menutupi piringan Matahari, dengan rumus

$$MT = TGH + SMk$$

38.  dari perhitungan yang telah dilakukan, yakni menyatakan :

- a. Hari apa dan tanggal berpakah terjadi gerhana Matahari
- b. Daerah mana yang dapat menyaksikan terjadinya gerhana
- c. Jam berapa terjadi kontak-kontak terjadi gerhana
- d. Kadar ukuran lebar gerhana
- e. Gerhana dimulai dari arah mana

D. Perhitungan Gerhana Bulan

Adapun langkah-langkah yang dapat dilakukan untuk menentukan gerhana bulan berdasarkan ephemeris adalah sebagai berikut:

1. Menghitung kemungkinan terjadinya gerhana Bulan berdasarkan tabel kemungkinan terjadinya gerhana

Untuk mengetahui peluang terjadinya gerhana bulan, langkah pertama adalah mendapatkan data dari tabel A berdasarkan golongan tahun, kemudian tabel B berdasarkan satuan tahun, dan tabel C berdasarkan peluang terjadinya gerhana matahari (gerhana bulan) . Setelah itu, jumlahkan hasil ketiga data tersebut (data A, B, dan C). Jika hasil penjumlahannya dekat, gerhana bulan dapat terjadi:

- Antara 00° s/d 014°
- Antara 165° s/d 194°
- Antara 345° s/d 360°

2. Melakukan perhitungan konversi tanggal atau penanggalan hijriyah ke penanggalan masehi

Gerhana bulan selalu terjadi sekitar waktu istiqbal/bulan purnama sekitar tanggal 15 Qamariyah. Jadi Anda harus menghitung tanggal 15 Kamaria, pada hari mana kemungkinan gerhana bulan bertepatan dengan kalender Gregorian.

3. Siapkan data astronomis dengan melihat tanggal hasil konversi pada data ephemeris. Perangkat lunak Hisab Rukyat atau WinHisab. Beri tahu Anda saat matahari dan bulan berlawanan.
4. Melacak FIB (*Fraction Illumination* Bulan) berdasarkan data jam (waktu Greenwich) yang telah didapatkan.

Periksa kemungkinan terjadinya gerhana bulan, nilai absolut dan harga garis lintang bulan (pada kolom garis lintang tampak bulan) saat FIB mencapai maksimum. Setelah itu, hitung Sabaq Matahari (B1) dengan menghitung harga mutlak selisih antara jam FIB maksimum dengan data ELM jam berikutnya.

Nilai Sabaq bulanan (B2) kemudian dihitung dengan menghitung harga absolut dari selisih antara jam FIB

maksimum dan data ALB (Apparent Longitude Month) jam berikutnya.

5. Menghitung jarak Matahari dan Bulan (MB) dengan rumus:

$$\mathbf{MB = ELM - (ALB - 180)}$$

Jika nilai ALB kurang dari 180 derajat, rumus di atas berlaku. Adapun ALB bernilai lebih dari 180 derajat, gunakan rumus:

$$\mathbf{MB = ELM - (ALB + 180)}$$

6. Menghitung Sabaq Bulan Mu'addal (SB) dengan rumus:

$$\mathbf{SB = B2 - B1}$$

7. Mencari waktu istiqbal

Sebelum mencari waktu Istiqbal, gunakan rumus mencari nilai titik Istiqbal:

$$\mathbf{Titik\ Istiqbal = MB / SB}$$

Kemudian menghitung waktu istiqbal dengan menggunakan rumus:

$$\mathbf{Istiqbal = Waktu\ FIB + Titik\ Istiqbal - 00:01:49.29}$$

8. Melacak data di Ephemeris untuk proses meng-interpolasi waktu istiqbal

Data yang diperlukan meliputi:

- Diameter setengah bulan (SD') di kolom setengah diameter bulan.
 - Lunar Horizontal Parallax (HP') pada kolom Moon Horizontal Parallax.
 - Lintang bulanan (L') di kolom Lintang Bulanan.
 - Solar Half Diameter (SD0) pada kolom Solar Half Diameter.
 - Jarak Bumi (JB) dalam jarak geosentris sebenarnya dari kolom matahari.
9. Mencari nilai kriteria kemungkinan terjadinya gerhana Bulan
- Langkah pertama dalam menentukan kriteria gerhana bulan adalah menggunakan rumus menghitung paralaks horizontal matahari (HP0):

$$\mathbf{\sin\ HP0 = \sin\ 08.794'' / JB}$$

Kemudian gunakan rumus untuk menghitung jarak dari bulan ke titik puncak (H):

$$\sin H = \sin L' / \sin 5$$

Langkah selanjutnya adalah menggunakan rumus untuk menghitung garis lintang maksimum (U) bulan yang telah dikoreksi:

$$\tan U = [\tan L' / \sin H]$$

Selanjutnya, gunakan rumus untuk menghitung garis lintang minimum bulan yang dikoreksi:

$$\sin Z = [\sin U \times \sin H]$$

Kemudian gunakan rumus untuk menghitung koreksi kecepatan bulan relatif terhadap matahari (K):

$$K = \cos L' \times SB / \cos U$$

Langkah selanjutnya adalah menggunakan rumus untuk menghitung setengah diameter (D) bayangan inti:

$$D = (HP' + HP0 - SD0) \times 1.02$$

Kemudian, gunakan rumus untuk menghitung jarak dari pusat bayangan inti ke pusat bulan ketika piringan bulan mulai menyentuh inti (X):

$$X = D + SD'$$

Setelah itu, gunakan rumus untuk menghitung jarak dari pusat bayangan inti ke pusat bulan ketika seluruh piringan bulan mulai memasuki bayangan inti (Y):

$$Y = D - SD'$$

Langkah selanjutnya adalah menggunakan rumus untuk menghitung jarak dari titik bulan ketika piringan bulan mulai menyentuh bayangan inti bumi ke titik di mana pusat bulan bertepatan dengan bayangan inti bumi (C):

$$\cos C = \cos X / \cos Z$$

Gunakan rumus untuk menghitung waktu yang diperlukan bulan untuk bergerak dari piringan ke bayangan inti bumi ke titik di mana pusat bulan bertepatan dengan bayangan inti bumi (T1):

$$T1 = C / K$$

10. Mencari waktu pertengahan gerhana (tgh)

Untuk mengetahui waktu terjadinya gerhana, langkah pertama yang harus dilakukan adalah menggunakan rumus menghitung nilai E:

$$\text{Cos E} = \text{cos Y} : \text{cos Z}$$

Setelah mengetahui nilai T1 pada perhitungan diatas maka diperlukan juga nilai T2 untuk mendapatkan nilai waktu gerhana. Tahap kedua menggunakan rumus mencari nilai T2:

$$\text{T2} = \text{E} : \text{K}$$

Pada langkah ketiga, karena kecepatan bulan yang berbeda, kecepatan bulan perlu diperbaiki. Untuk pertama kalinya, kecepatan bulan (Ta) dikoreksi dengan rumus:

$$\text{Ta} = \text{cos H} : \text{sin K}$$

Koreksi kedua untuk kecepatan bulan (Tb) menggunakan rumus:

$$\text{Tb} = \text{sin L}' : \text{sin K}$$

Langkah keempat, gunakan rumus untuk menghitung waktu gerhana (T0):

$$\text{T0} = [\text{sin } 0.05 \times \text{Ta} \times \text{Tb}]$$

Langkah selanjutnya adalah menghitung waktu di titik tengah gerhana (Tgh) dengan memfokuskan pada FIB maksimum dan lintang bulan (L') pada kolom Lintang Semu Bulan untuk satu jam berikutnya. Jika nilai absolut dari garis lintang bulan semakin kecil, maka rumus yang digunakan adalah:

$$\text{Tgh} = \text{Istiqbal} + \text{T0} - \text{delta T}$$

Pada saat yang sama, jika garis lintang absolut bulan semakin besar, maka gunakan rumus:

$$\text{Tgh} = \text{Istiqbal} - \text{T0} - \text{delta T}$$

Perhatikan bahwa delta T adalah koreksi waktu dari TT (Waktu Bumi) ke GMT (Waktu Rata-Rata Greenwich)

11. Mencari nilai waktu awal dan berakhirnya gerhana Bulan

Langkah pertama adalah menghitung waktu mulai terjadinya gerhana, dengan menggunakan rumus:

$$\text{Mulai gerhana} = \text{Tgh} - \text{T1}$$

Langkah kedua, menghitung waktu mulai gerhana total, dengan rumus:

$$\text{Mulai total} = \text{Tgh} - \text{T2}$$

Setelah mengetahui hasil waktu mulai totalitas, Anda perlu mengetahui waktu akhir totalitas dengan menambahkan

waktu tengah totalitas ke T2. Pada langkah ketiga, hitung waktu selesai gerhana menggunakan rumus berikut:

$$\text{Selesai gerhana} = T_{gh} + T_1$$

12. Menghitung lebar piringan Bulan yang masuk dalam bayangan inti Bulan pada gerhana Bulan sebagian (LG) dengan menggunakan rumu:

$$LG = (D + SD_c - Z) : (2 \times SD_c) \times 100\%$$

13. Mengambil kesimpulan dari hasil perhitungan, yakni dengan mencamtumkan jam, hari dan tanggal berapa terjadinya gerhana Bulan.

E. Data Posisi Bulan

1. *Apparent Longitude*

Bujur tampak adalah bujur astronomis Bulan (seperti yang ditunjukkan), yang dikenal dalam bahasa Arab sebagai Thul al-Qamar (رمقلا لوط). Data ini adalah jarak dari Aries ke Bulan yang diukur di sepanjang ekliptika.

2. *Apparent Latitude*

Lintang semu diterjemahkan sebagai lintang astronomis (terlihat) bulan dan disebut Ardlual-Qomar (رمقلا) dalam bahasa Arab. Data ini adalah jarak antara bulan dan lingkaran ekliptika yang diukur sepanjang lingkaran kutub ekliptika. Lintang astronomi bulan maksimum adalah $5^\circ 8'$ (lima derajat delapan menit). Nilai positif berarti bulan berada di utara ekliptika, dan nilai negatif berarti bulan berada di selatan ekliptika.

3. *Apparent Right Ascension*

Kenaikan Kanan Semu dikenal di Indonesia sebagai Kenaikan Kanan Bulan (terlihat), juga dikenal sebagai Panjatan Tegak atau Ash-shu'udu al-Mustaqim atau Al-Matholi'u al-Baladiyah (مىقتسملا لا = ئىدىلابلا لاطملا). Data ini adalah jarak dari pusat bulan ke titik Aries, diukur sepanjang lingkaran khatulistiwa.

4. *Apparent Declination*

Deklinasi yang tampak di sini adalah deklinasi bulan, juga dikenal sebagai Mailual-Qamar (رمقلا ليم). Data ini adalah jarak dari bulan ke khatulistiwa. Jika bulan berada di utara khatulistiwa, nilai deklinasinya positif, jika bulan di selatan khatulistiwa, nilai deklinasinya negatif.

5. *Horizontal Parallax*

Paralaks dalam bahasa Indonesia disebut "melihat benda" dan Ikhtilafu al-Mandhar (رظنملا لاتخا) dalam bahasa Arab. Paralaks horizontal adalah sudut dari pusat bulan ke pusat bumi ketika bulan berada di cakrawala, dan garis dari pusat bulan ke permukaan bumi.

6. *Semi Diameter*

Di sini setengah diameter adalah jari-jari bulan atau Nisfu Qutri al-Qamar (رمقلا) adalah jarak antara pusat bulan dan piringan luar.

7. *Angle Bright Limb*

Angle Bright Limb, yang dalam bahasa Indonesia disebut kemiringan sabit, adalah kemiringan piringan bulan sabit yang bersinar karena posisi bulan sabit berbeda arah dengan matahari. Sudut ini diukur searah jarum jam dari garis yang menghubungkan pusat bulan sabit dan zenit (سأرلا) hingga garis yang menghubungkan pusat bulan sabit dan pusat matahari.

8. *Fraction Illumination*

Illuminasi fraksional adalah ukuran atau luas piringan bulan yang menerima sinar matahari yang terlihat dari Bumi. Jika seluruh piringan bulan yang menerima sinar matahari dapat dilihat dari Bumi, itu akan menjadi "lingkaran lengkap". Dalam hal ini, skor iluminasi Bulan memiliki nilai 1 (satu), yang merupakan puncak dari bulan purnama. Pada saat yang sama, gerhana matahari total terjadi jika Bumi, Bulan, dan Matahari berada tepat pada satu garis lurus. Dalam kasus ini, nilai Skor Penerangan Bulan adalah nol. Setelah purnama, nilai Penerangan Pecahan akan berkurang hingga mencapai nilai

minimum yaitu pada saat ijtima, setelah itu nilai Penerangan Pecahan akan meningkat lagi hingga mencapai nilai 1 pada saat purnama. Oleh karena itu, data pencahayaan fraksional ini dapat digunakan sebagai pedoman untuk mengetahui kapan ijtima' terjadi dan kapan bulan purnama (istiqlal = لا يقتسلا). Demikian pula triwulan pertama (لولا لا) dan triwulan terakhir (يناثلا لا) bulan tersebut dapat diketahui, yaitu dengan mencari nilai Penerangan Pecahan sebesar 0,5 (setengah).

Data posisi bulan dalam ephemeris ini didasarkan pada Greenwich Mean Time (GMT). Untuk mencari data matahari dan bulan untuk wilayah Indonesia, waktu regional Indonesia harus dikonversi terlebih dahulu ke GMT, melalui:

1. GMT = WIB (- 7 jam)
2. GMT = WITA (- 8 jam)
3. GMT = WIT (- 9 jam)

F. Teori Akurasi

Akurasi merupakan salah satu konsep utama dalam penilaian kualitas data maupun hasil perhitungan ilmiah. Mutaqin mengartikan akurasi sebagai tingkat kesesuaian antara hasil estimasi, perhitungan, atau detail tertentu dengan nilai standar yang dianggap benar atau diakui secara luas. Semakin dekat suatu hasil perhitungan dengan nilai yang menjadi acuan, maka semakin tinggi pula tingkat akurasinya.⁴⁷ Oleh karena itu, akurasi berperan penting dalam menentukan keandalan suatu proses estimasi atau pengukuran. Sejalan dengan pendapat Apipah, akurasi dapat dicapai dengan cara membandingkan hasil perhitungan terhadap referensi yang sudah terbukti validitasnya, sehingga perbedaan yang terjadi dapat diketahui dan dievaluasi.⁴⁸

⁴⁷ Mutaqin, B. W., Marfai, M. A., Fatchurohman, H., Isnain, M. N., Alwi, M., Musthofa, A., ... & Umarella, M. R. *Metode Penilaian Akurasi Digital Elevation Model (DEM) untuk Analisis Geomorfologi Kepesisiran di Pulau Kecil*. PT Kanisius.

⁴⁸ Irzaman, et al. "Characterization of optical and structural of lanthanum doped LiTaO₃ thin films." *Integrated Ferroelectrics* 167.1 (2015): 137-145.

Selain itu, konsep data sendiri juga menjadi fondasi penting dalam membangun sistem akurasi yang handal. Bernard menegaskan bahwa data adalah fakta-fakta nyata mengenai individu, tempat, peristiwa, dan hal-hal lain yang perlu untuk dikoordinasikan.⁴⁹ Ladjamudin menambahkan bahwa data merupakan penggambaran berbagai hal dan kejadian yang dihadapi dalam kehidupan sehari-hari. Sementara itu, Ibrahim menyebutkan bahwa informasi dalam penelitian adalah realitas, data, dan informasi yang diperoleh dari subjek pemeriksaan. Pemahaman yang mendalam tentang data diperlukan agar proses penilaian akurasi berjalan dengan baik dan hasil yang diperoleh dapat dipertanggungjawabkan.⁵⁰

Akurasi data juga berkaitan erat dengan keandalan informasi yang dihasilkan oleh suatu sistem. Ematitut menyatakan bahwa akurasi data mengharuskan informasi yang diberikan bersifat tepat dan tidak mengalami distorsi dari sumber aslinya. Ketidaktepatan data tidak hanya dapat menimbulkan gangguan atau kerugian, tetapi juga berpotensi menimbulkan dampak negatif yang luas bagi individu maupun kelompok yang bergantung pada data tersebut. Oleh karena itu, akurasi merupakan komponen mutlak yang harus dipenuhi oleh setiap sistem pengolahan data, terutama ketika data tersebut digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan atau navigasi ilmiah.⁵¹

Berdasarkan berbagai pandangan teori di atas, penilaian akurasi menjadi sangat penting dalam penelitian astronomi, khususnya dalam konteks perhitungan posisi Bulan. Penelitian ini bertujuan untuk menguji akurasi data posisi Bulan yang dihasilkan oleh algoritma Janus dengan membandingkannya terhadap data referensi yang dikeluarkan oleh NASA melalui *Jet Propulsion Laboratory* (JPL). Uji akurasi ini penting dilakukan agar hasil hisab

⁴⁹ Bernard, Scott A. *An introduction to enterprise architecture*. (AuthorHouse, 2012), 21.

⁵⁰ Yusuf, Muhammad. "Evaluasi Metode Penilaian dalam Pendidikan Islam dalam Upaya Meningkatkan Ketepatan dan Objektivitas Penilaian Siswa." *Sasana: Jurnal Pendidikan Agama Islam* 2.1 (2023): 77-82.

⁵¹ Mahendra, Gede Surya, et al. *Implementasi Sistem Pendukung Keputusan: Teori & Studi Kasus*. (PT. Sonpedia Publishing Indonesia, 2023), 65.

gerhana yang dihasilkan dapat dipertanggungjawabkan dan memenuhi standar keilmuan maupun kebutuhan praktis umat Islam.

BAB III

DATA POSISI BULAN ALGORITMA JANUS DAN DATA NASA

A. Profil tentang Penentuan Posisi Bulan Algoritma Janus

Sebelum membahas tentang konsep Perhitungan posisi Bulan *low precision* dalam buku *Lunar Tables and Programs from 4000 B.C. to A.D. 8000*, alangkah lebih baiknya mengetahui biografi pengarang buku tersebut.

1. Biografi Michelle Chapront dan Jean Chapront dalam buku *Lunar Tables and Programs from 4000 B.C. to A.D. 8000*

Michelle Chapront dan Jean Chapront adalah astronom di *biro des longitudes*, Paris. Mereka telah membangun teori analitik presisi tinggi untuk gerakan orbit bulan yang diperkenalkan pada tahun 1984 di ephemeris Prancis *The Connaissance des Temps*. Michelle Chapront dan Jean Chapront adalah penulis dari banyak artikel yang berhubungan dengan mekanika langit dan mereka adalah anggota dari persatuan astronomi internasional.⁵²

2. Profil Buku *Lunar Tables and Programs from 4000 B.C. to A.D. 8000*

Buku karya Michael Chapront dan Jean Chapront ini berisi dua set tabel untuk gerakan geosentris Bulan. Himpunan pertama memberikan perluasan tergantung waktu dari vektor bujur, lintang, dan jari-jari Bulan, yang mengacu pada ekliptika rata-rata dan ekuinoks tanggal.

Tabel ini mencakup sejumlah besar istilah untuk memastikan presisi yang cukup pada periode sekarang untuk sebagian besar pengguna. Kumpulan tabel kedua memberikan perluasan sumbu semimayor, eksentrisitas, sinus setengah kemiringan, bujur *perigee*, bujur simpul, dan bujur rata-rata, mengacu pada ekliptika rata-rata dan titik balik tanggal. Tabel ini ditujukan untuk pengguna yang tidak membutuhkan presisi tinggi. Daftar program komputer mikro di Fortran, Basic, dan

⁵² Michael Chapront, Jean Chapront, *Lunar Tables and Programs from 4000 B.C. to A.D. 8000*, (Virginia: Willman-bell Inc.1991).h.165

pascal disediakan untuk mengimplementasikan tabel dan rumus yang disajikan dalam buku.

B. Menentukan Posisi Bulan dengan Algoritma Janus

Posisi Bulan dalam Algoritma Janus dihitung melalui perhitungan bujur ekliptika geosentris, lintang ekliptika geosentris, dan jarak dalam satuan kilometer. Sistem referensi ekliptikanya didasarkan pada *the mean dynamical equinox of date*.⁵³ Langkah-Langkah untuk menghitung posisi Bulan dalam teori Janus dapat dihitung sebagai berikut:

1. Menghitung *Julian Day* atau Hari Julian (JD)

Julian Day merupakan banyaknya hari yang telah dilalui sejak hari Senin tanggal 01 Januari 4713SM atau -4172 pada pukul 12:00 waktu universal (UT). *Julian Day* dapat dihitung sebagai berikut:

$$JD = 1720994.5 + \text{int}(365.25 \cdot y' + C) + \text{int}(30.60001 \cdot (m' + 1)) \\ + d + B + \frac{h}{24} + \frac{n}{1440} + \frac{s}{86400} \quad (1)$$

dengan:

$$y' = y \quad \text{dan } m' = m \quad \text{jika } m > 2$$

$$y' = y - 1 \quad \text{dan } m' = m + 12 \quad \text{jika } m = 1 \text{ or } 2$$

$$C = -0.75 \quad \text{jika } y' < 0$$

$$C = 0 \quad \text{jika } y' \geq 0$$

$$B = 0 \text{ sebelum 5 Oktober 1582, } 0^j$$

$$B = 2 - A + \text{int}\left(\frac{A}{4}\right) \text{ untuk 5 Oktober 1582 dan sesudahnya}$$

⁵³ Michelle Chapront-Touzé, dan Jean Chapront, "ELP 2000-85-A Semi-Analytical Lunar Ephemeris Adequate for Historical Times", *Astronomy and Astrophysics* 190 (1988), 345

di mana:

$$A = \text{int}\left(\frac{y'}{100}\right)$$

2. Menghitung argument waktu (T)

Pada teori posisi Bulan Janus argumen waktu T merupakan waktu dinamis atau *time dynamical* (TD). Argumen waktu T merupakan waktu yang terlewati sejak J2000.0 (1 Januari 2000, pukul 12^j TD, yang sesuai dengan *Julian Day* 2451545.0), yang diukur dalam abad Julian yang terdiri dari 36525 hari. Argumen T dapat dihitung sebagai berikut:

$$T = \frac{JD - 2451545}{36525} \quad (2)$$

Bila dikehendaki dihitung dengan referensi waktu UT atau universal time, maka harus dikoreksi dengan ΔT . Koreksi ΔT dilakukan untuk koreksi perlambatan rotasi Bumi, perlambatan ini terjadi dengan ketidakaturan yang tidak dapat diprediksi.⁵⁴ Perhitungan ΔT dapat dihitung dengan persamaan polynomial yang dihadirkan oleh Fred Espenak dalam <https://eclipsewise.com/help/deltatpoly2014.html>.⁵⁵

Persamaan polynomial ΔT dalam website Espenak dinyatakan dalam satuan detik, sehingga koreksi ini harus ditambahkan ke dalam perhitungan JD, kemudian membaginya dengan 86400.

Data koreksi bujur ekliptika, lintang ekliptika, dan jarak geosentris Bulan penulis cantumkan di lampiran, agar penyampaian perhitungan lebih ringkas dan tidak terlalu panjang. Total koreksi

⁵⁴ Jean Meeus, *Astronomical Algorithms* (Mill Valey: Willmann Bell inc, 1998), 77.

⁵⁵ Fred Espenak, "EclipseWise - Polynomial Expressions for Delta T," accessed June 27, 2023, <https://eclipsewise.com/help/deltatpoly2014.html>.

untuk menghitung geometri⁵⁶ bujur ekliptika geosentris, lintang ekliptika, dan jarak Bulan penulis uraikan dalam tabel di bawah ini:

Tabel 4. Total Koreksi untuk Menghitung Posisi Bulan dalam Teori Janus

Koreksi	Total
<i>Longitude</i>	
N_V	218
N'_V	244
N''_V	154
N'''_V	25
Total	641
<i>Latitude</i>	
N_U	188
N'_U	64
N''_U	64
N'''_U	12
Total	328
<i>Range</i>	
N_R	154
N'_R	114
N''_R	68
N'''_R	19
Total	355

3. Menghitung geometri bujur ekliptika geosentris Bulan

Geometri bujur ekliptika geosentris Bulan diistilahkan sebagai V , dan dinyatakan dalam persamaan:

$$\begin{aligned}
 V = & 218.31662 + 481267.88115 T - 0.00157551 T^2 \\
 & + 0.000001856 T^3 - 0.00000001534 T^4 \\
 & + SV + 10^{-3}(S'_V + T S''_V + 10^{-4} T^2 S'''_V)
 \end{aligned}$$

dengan:

⁵⁶ Dalam janus, istilah geometri mengacu pada koordinat yang tidak mencakup koreksi apapun, baik nutasi ataupun aberasi, terlepas dari kerangka referensi yang digunakan

$$S_V = \sum_{n=1}^{N_V} v_n \sin \left(\alpha_n^{(0)} + \alpha_n^{(1)} T + \alpha_n^{(2)} 10^{-4} T^2 + \alpha_n^{(3)} 10^{-6} T^3 + \alpha_n^{(4)} 10^{-8} T^4 \right),$$

$$S'_V = \sum_{n=1}^{N'_V} v'_n \sin \left(a_n'^{(0)} + a_n'^{(1)} T \right),$$

$$S''_V = \sum_{n=1}^{N''_V} v''_n \sin \left(a_n''^{(0)} + a_n''^{(1)} T \right),$$

$$S'''_V = \sum_{n=1}^{N'''_V} v'''_n \sin \left(a_n'''^{(0)} + a_n'''^{(1)} T \right).$$

4. Menghitung geometri lintang ekliptika geosentris Bulan

Geometri lintang ekliptika geosentris Bulan diistilahkan sebagai U , dan dinyatakan dalam persamaan:

$$U = S_U + 10^{-3} (S'_U + T S''_U + 10^{-4} T^2 S'''_U) \quad (4)$$

dengan:

$$S_U = \sum_{n=1}^{N_U} u_n \sin \left(\beta_n^{(0)} + \beta_n^{(1)} T + \beta_n^{(2)} 10^{-4} T^2 + \beta_n^{(3)} 10^{-6} T^3 + \beta_n^{(4)} 10^{-8} T^4 \right),$$

$$S'_U = \sum_{n=1}^{N'_U} u'_n \sin \left(\beta_n'^{(0)} + \beta_n'^{(1)} T \right),$$

$$S''_U = \sum_{n=1}^{N''_U} u''_n \sin \left(\beta_n''^{(0)} + \beta_n''^{(1)} T \right),$$

$$S'''_U = \sum_{n=1}^{N'''_U} u'''_n \sin \left(\beta_n'''^{(0)} + \beta_n'''^{(1)} T \right).$$

5. Menghitung geometri jarak geosentris Bulan

Geometri jarak geosentris Bulan diistilahkan sebagai R , jarak Bulan dalam teori Janus menghasilkan jarak Bumi ke Bulan dalam satuan kilometer, untuk menghitung jarak geosentris Bulan dapat dihitung dengan persamaan:

$$R = 385000.56 + S_R + S'_R + T S''_R + 10^{-4} T^2 S'''_R \quad (5)$$

dengan:

$$S_R = \sum_{n=1}^{N_U} r_n \cos \left(\delta_n^{(0)} + \delta_n^{(1)} T + \delta_n^{(2)} 10^{-4} T^2 + \delta_n^{(3)} 10^{-6} T^3 + \delta_n^{(4)} 10^{-8} T^4 \right),$$

$$S'_R = \sum_{n=1}^{N'_V} r'_n \cos \left(\delta_n'^{(0)} + \delta_n'^{(1)} T \right),$$

$$S''_R = \sum_{n=1}^{N''_V} r''_n \cos \left(\delta_n''^{(0)} + \delta_n''^{(1)} T \right),$$

$$S'''_R = \sum_{n=1}^{N'''_V} r'''_n \cos \left(\delta_n'''^{(0)} + \delta_n'''^{(1)} T \right).$$

6. Menghitung koreksi Aberasi Bulan

Algoritma Janus, koreksi aberasi Bulan turut dihitung di dalam koordinat bujur ekliptika, lintang ekliptika, dan jarak Bulan. Koreksi aberasi dalam bujur ekliptika Bulan dinyatakan ΔV , lintang ekliptika Bulan ΔU , dan jarak Bulan dinyatakan ΔR . Aberasi dapat dihitung sebagai berikut:

$$\Delta V = -0.00019524 - 0.00001059 \sin (225.0 + 477198.9 T) \quad (6)$$

$$\Delta U = -0.00001754 \sin (183.3 + 483202 T) \quad (7)$$

$$\Delta R = -0.0708 \cos(225.0 + 477198.9 T) \quad (8)$$

7. Menghitung Koreksi Nutasi dalam Bujur Ekliptika, Nutasi dalam Kemiringan Ekliptika, dan Kemiringan Ekliptika Sejati

Koreksi nutasi dalam bujur ekliptika, kemiringan ekliptika, dan perhitungan kemiringan ekliptika sejati didasarkan pada standar IAU 2000/2006. Data koreksi nutasi dalam bujur ekliptika, dan kemiringan ekliptika penulis lampirkan dalam lampiran akhir penulisan tesis ini. Koreksi nutasi dalam bujur ekliptika dinyatakan $\Delta\psi$, sedangkan nutasi dalam kemiringan ekliptika dinyatakan $\Delta\varepsilon$. Untuk menghitung nutasi dalam bujur ekliptika dapat dihitung sebagai berikut:

$$\Delta\psi = (S_\psi + S'_\psi T)/3.6 \cdot 10^9 \quad (9)$$

dengan:

$$S_\psi = \sum_{n=1}^{1320} \psi_n \sin \left(\varphi_n^{(0)} + \varphi_n^{(1)} T + \varphi_n^{(2)} T^2 + \varphi_n^{(3)} T^3 + \varphi_n^{(4)} T^4 \right),$$

$$S'_\psi = \sum_{n=1}^{38} \psi'_n \sin \left(\varphi_n'^{(0)} + \varphi_n'^{(1)} T + \varphi_n'^{(2)} T^2 + \varphi_n'^{(3)} T^3 + \varphi_n'^{(4)} T^4 \right).$$

Menghitung nutasi kemiringan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\Delta\varepsilon = (S_\varepsilon + S'_\varepsilon T)/3.6 \cdot 10^9 \quad (10)$$

dengan:

$$S_\varepsilon = \sum_{n=1}^{1037} \varepsilon_n \cos \left(\varphi_n^{(0)} + \varphi_n^{(1)} T + \varphi_n^{(2)} T^2 + \varphi_n^{(3)} T^3 + \varphi_n^{(4)} T^4 \right),$$

$$S'_\varepsilon = \sum_{n=1}^{19} \varepsilon'_n \cos \left(\varphi_n'^{(0)} + \varphi_n'^{(1)} T + \varphi_n'^{(2)} T^2 + \varphi_n'^{(3)} T^3 + \varphi_n'^{(4)} T^4 \right).$$

Kemiringan ekliptika rata-rata yang dinyatakan dengan ε_0 , berdasarkan standar IAU 2000/2006 dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\varepsilon_0 = & 23.43927944 - 0.013010214 T - T^2/19661387 \\ & + T^3/1796945 - T^4/6250000000 \quad (11) \\ & - T^5/82949308756\end{aligned}$$

Kemiringan ekliptika sejati yang dinyatakan sebagai dapat dihitung sebagai berikut

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \Delta\varepsilon \quad (12)$$

8. Menghitung data ekliptika Tampak Bulan

Data ekliptika tampak bulan berupa bujur ekliptika tampak (λ), lintang ekliptika tampak (β), dapat dihitung sebagai berikut:

$$\lambda = V + \Delta\psi + \Delta V \quad (13)$$

$$\beta = U + \Delta U \quad (14)$$

Sedangkan untuk jarak tampak geosentris Bulan dapat dihitung dengan:

$$R = R + \Delta R \quad (15)$$

9. Menghitung Koordinat Ekuatorial Tampak dari Bulan

Koordinat ekuatorial ini terdiri asensiorekta geosentris dan deklinasi geosentris yang merujuk pada referensi *true equator* dan *true dynamical equinox of date*. Asensiorekta dan deklinasi tampak Bulan dihitung dari bujur ekliptika Bulan tampak yang telah terkoreksi dengan aberasi dalam bujur (ΔV) dan nutasi dalam bujur ($\Delta\psi$), kemudian lintang tampak bulan yang terkoreksi dengan aberasi lintang ekliptika (ΔU), dan kemiringan ekliptika sejati (ε). Asensiorekta geosentris dan deklinasi geosentris Bulan tampak dapat dihitung sebagai berikut:

$$\cos \alpha \cos \delta = \cos V \cos U \quad (16)$$

$$\sin \alpha \cos \delta = \cos \varepsilon \sin V \cos U - \sin \varepsilon \sin U$$

$$\sin \delta = \sin \varepsilon \sin V \cos U + \cos \varepsilon \sin U$$

10. Menghitung *Semidiameter*, *Geocentric Horizontal Parallax*, *Elongasi Bulan*, *Angle Bright Limb*, dan *Illuminasi Bulan*

Algoritma Janus hanya menghasilkan data koordinat ekliptika dan ekuator Bulan, sedangkan untuk mengetahui *semidiameter*, *geocentric horizontal parallax*, *elongasi Bulan*, dan *iluminasi Bulan*, diharuskan untuk membaca atau mencari pendekatan perhitungan dalam sumber lain.

Semidiameter Bulan dapat dihitung sebagai berikut:⁵⁷

$$\tan SD = \frac{R_m}{r_m} \quad (17)$$

dengan:

- R_m adalah radius Bulan, yang bernilai 1737.4 km.
- r_m adalah jarak Bumi ke Bulan

Geocentric horizontal parallax Bulan dapat dihitung sebagai berikut:⁵⁸

$$\sin HP = \frac{R_e}{r_m} \quad (18)$$

dengan:

- R_e adalah radius ekuatorial Bumi, dengan nilai 6378.137 km.
- r_m adalah jarak Bumi ke Bulan

Elongasi Bulan dapat dihitung sebagai berikut ini:⁵⁹

$$\cos E = \sin \delta_b \sin \delta_m + \cos \delta_b \cos \delta_m \cos (\alpha_b - \alpha_m) \quad (19)$$

dengan:

- δ_b dan α_b adalah deklinasi geosentris dan asensiorekta Bulan.

⁵⁷ Sean E. Urban and P. Kenneth Seidelmann, *Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac* (California: University Science Books, 2012), 434.

⁵⁸ Ibid.

⁵⁹ Ibid., 508.

δ_m dan α_m adalah deklinasi dan asensiorekta Matahari.

Angle Bright Limb atau sudut cahaya Bulan dapat dihitung sebagai berikut:⁶⁰

$$\tan x = \frac{\cos \delta_m \sin(\alpha_m - \alpha_b)}{\sin \delta_m \cos \delta_b - \cos \delta_m \sin \delta_b \cos \delta_m \cos(\alpha_m - \alpha_b)} \quad (20)$$

Fraksi iluminasi Bulan dapat dihitung sebagai berikut ini:⁶¹

$$k = 0.5(1 + \cos i) \quad (21)$$

dengan:

i adalah *phase angle* atau sudut fase, yang dapat dihitung sebagai berikut:⁶²

$$\tan i = \frac{R \sin E}{r_m - R \cos E} \quad (22)$$

dengan:

- R adalah jarak Bumi ke Matahari
- r_m adalah jarak Bumi ke Bulan
- E adalah elongasi geosentris Bulan

C. Desain Data Posisi Bulan Algoritma Janus

Desain antarmuka yang baik harus intuitif, memudahkan pengguna untuk memahami bagaimana mengakses fitur-fitur utama dari program tanpa memerlukan instruksi yang mendalam. Untuk program Janus, yang dirancang dalam Visual Basic for Applications (VBA), antarmuka pengguna tidak hanya perlu mendukung fungsionalitas teknis tinggi yang ditawarkan oleh algoritma, tetapi juga harus menyajikan data kompleks secara jelas dan dapat diakses. Dalam hal ini program Janus di interpretasikan kedalam aplikasi Microsoft Excel dengan Interface sebagai berikut:

⁶⁰ Meeus, *Astronomical Algorithms*, 346.

⁶¹ E. Urban and Seidelmann, *Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac*, 421.

⁶² Meeus, *Astronomical Algorithms*, 346.

Tabel 5. Input Data Program Janus

Input Data Kalender Masehi	
Tanggal	
Bulan	
Tahun	
Zona Waktu	
Koreksi Delta T	Gunakan/Tidak

Tabel di atas adalah tabel input data awal untuk mendapatkan hasil data Bulan, Adapun data yang dibutuhkan yaitu tanggal, bulan dan tahun masehi, zona waktu, dan koreksi delta T. dengan menginput data tersebut, maka otomatis akan muncul data bulan sebagai berikut:

Tabel 6. Hasil Data Bulan

DATA BULAN								
Jam	Apparent Longitude	Apparent Latitude	Apparent Right Ascension	Apparent Right Declination	Horizontal Parallax	Semi Diameter	Angle Bright Limb	Fraction Illumination
0	242°03'21"	-04°44'04"	238°55'27"	-25°12'32"	00°54'45"	14°54.67"	101°54'36"	0.5035279
1	242°33'34"	-04°45'15"	239°27'47"	-25°19'50"	00°54'46"	14°54.98"	101°41'00"	0.4995134
2	243°03'48"	-04°46'25"	240°00'12"	-25°27'02"	00°54'47"	14°55.29"	101°27'18"	0.4954958
3	243°34'04"	-04°47'33"	240°32'42"	-25°34'07"	00°54'48"	14°55.61"	101°13'30"	0.4914753
4	244°04'20"	-04°48'40"	241°05'17"	-25°41'05"	00°54'49"	14°55.93"	100°59'36"	0.4874521
5	244°34'39"	-04°49'46"	241°37'57"	-25°47'56"	00°54'50"	14°56.25"	100°45'35"	0.4834264
6	245°04'59"	-04°50'50"	242°10'43"	-25°54'41"	00°54'52"	14°56.58"	100°31'27"	0.4793984
7	245°35'20"	-04°51'53"	242°43'34"	-26°01'18"	00°54'53"	14°56.92"	100°17'14"	0.4753683
8	246°05'43"	-04°52'55"	243°16'30"	-26°07'48"	00°54'54"	14°57.26"	100°02'54"	0.4713364
9	246°36'07"	-04°53'56"	243°49'31"	-26°14'10"	00°54'55"	14°57.60"	99°48'28"	0.4673028
10	247°06'32"	-04°54'55"	244°22'37"	-26°20'26"	00°54'57"	14°57.95"	99°33'57"	0.4632678
11	247°37'00"	-04°55'53"	244°55'48"	-26°26'34"	00°54'58"	14°58.31"	99°19'19"	0.4592316
12	248°07'29"	-04°56'49"	245°29'05"	-26°32'35"	00°54'59"	14°58.66"	99°04'35"	0.4551944
13	248°37'59"	-04°57'44"	246°02'27"	-26°38'28"	00°55'01"	14°59.03"	98°49'45"	0.4511564
14	249°08'31"	-04°58'38"	246°35'53"	-26°44'14"	00°55'02"	14°59.40"	98°34'50"	0.4471179
15	249°39'05"	-04°59'31"	247°09'25"	-26°49'52"	00°55'03"	14°59.77"	98°19'49"	0.4430791
16	250°09'40"	-05°00'22"	247°43'02"	-26°55'23"	00°55'05"	15°00.14"	98°04'42"	0.4390401
17	250°40'17"	-05°01'11"	248°16'44"	-27°00'45"	00°55'06"	15°00.53"	97°49'29"	0.4350013
18	251°10'56"	-05°02'00"	248°50'30"	-27°06'01"	00°55'07"	15°00.91"	97°34'11"	0.4309628
19	251°41'36"	-05°02'46"	249°24'22"	-27°11'08"	00°55'09"	15°01.30"	97°18'47"	0.4269249
20	252°12'18"	-05°03'32"	249°58'19"	-27°16'07"	00°55'10"	15°01.70"	97°03'18"	0.4228878
21	252°43'02"	-05°04'16"	250°32'20"	-27°20'59"	00°55'12"	15°02.10"	96°47'44"	0.4188517
22	253°13'47"	-05°04'59"	251°06'26"	-27°25'42"	00°55'13"	15°02.50"	96°32'04"	0.4148169
23	253°44'35"	-05°05'40"	251°40'37"	-27°30'18"	00°55'15"	15°02.91"	96°16'19"	0.4107837
24	254°15'24"	-05°06'20"	252°14'53"	-27°34'45"	00°55'16"	15°03.32"	96°00'29"	0.4067522

Delta T: 71.725 detik | Referensi Waktu Saat Perhitungan: Universal Time (UT)

Data Posisi Bulan dan Matahari Dihitung dengan Teori JANUS1992 & VSOP1987 | Nutasi Dihitung dengan Standar IAU2000/2006

Data Ephemeris Ini Dihitung Berdasarkan Buku Astronomical Algorithm Edisi 2 dan Explanatory Supplement to The Astronomical Almanac Edisi 3

Dihitung oleh Yusrif Fais Abdullah (1445 H | 2024 M)

Tabel di atas adalah hasil data bulan setelah input data dilakukan, Adapun hasil yang didapat meliputi Apparent Longitude, Apparent Latitude, Apparent Right Ascension, Apparent Right Declination, Horizontal Parallax, Semi Diameter,

Angle Bright Limb, dan Fraction Illumination, sehingga dari data di atas dapat berfungsi untuk perhitungan gerhana namun tidak semua poin digunakan tetapi data yang dibutuhkan saja digunakan untuk kebutuhan gerhana. Desain tersebut memudahkan user dalam melakukan input data dan menerima hasil yang diinginkan oleh user karena dengan desain seperti itu, Langkah yang dilakukan hanya memasukkan data yang diinginkan oleh user, setelah seluruh data ter-input, maka hasil data bulan akan muncul berdasarkan data input tersebut. Penjelasan *coding* untuk menghitung posisi Bulan dari Teori Janus dalam VBA Excel, di mana di sini terbagi menjadi empat *module*, seperti ‘Astronomi’, ‘Matematik’, ‘Janus’, ‘Nutasi’, dan ‘VSOP1987’ sebagai data Matahari. Untuk *Module* ‘Nutasi’ dan ‘VSOP1987’ penulis sampaikan di lampiran, mengingat akan terlalu panjang bila disampaikan dalam sub bab ini sehingga penulis lampirkan di Lampiran 1.

D. Profil tentang Penentuan Posisi Bulan Algoritma JPL Nasa

Jet Propulsion Laboratory (JPL) merupakan sebuah divisi di bawah California Institute of Technology (Caltech) yang berlokasi di Pasadena, California, Amerika Serikat. Lembaga ini dikenal luas sebagai pusat utama untuk eksplorasi robotik di tata surya yang dijalankan oleh Amerika Serikat. Para ilmuwan dan peneliti di JPL bersama Caltech secara berkelanjutan melakukan riset dan pengembangan, tidak hanya dalam lingkup tata surya tetapi juga mengenai Bumi dan atmosfernya.⁶³

Cikal bakal JPL muncul pada pertengahan tahun 1930-an, dimulai dari sekelompok mahasiswa Caltech dan penggemar roket yang melakukan eksperimen awal terhadap roket. Setelah terjadinya insiden ledakan di kampus, kelompok ini memindahkan lokasi uji coba mereka ke wilayah pegunungan San Gabriel, yang kini menjadi tempat berdirinya JPL. Pada dekade berikutnya, JPL, yang mendapatkan dukungan dari Angkatan Darat Amerika

⁶³ Jet Propulsion Laboratory, <http://www.caltech.edu/content/jet-propulsion-laboratory>, akses 11 Juli 2025, 11:30 WIB.

Serikat, mulai mengembangkan teknologi roket dan sistem rudal sebagai upaya menjawab kemajuan roket dari Jerman.⁶⁴

Perkembangan eksplorasi luar angkasa semakin pesat sebagai respons terhadap rivalitas antara Amerika Serikat dan Uni Soviet dalam masa Perang Dingin. Uni Soviet berhasil meluncurkan satelit Sputnik pada Oktober 1957, mendahului Amerika. Tak lama kemudian, pada Januari 1958, JPL berhasil meluncurkan satelit pertama Amerika yang diberi nama Explorer 1. Satelit ini juga berperan penting dalam penemuan ilmiah, yaitu mendeteksi sabuk radiasi yang melingkupi Bumi, yang kemudian dikenal sebagai sabuk Van Allen, sesuai nama ilmuwan yang merancang instrumennya, James Van Allen.

Pembentukan National Aeronautics and Space Administration (NASA) pada bulan Oktober 1958 menandai peralihan JPL dari institusi militer ke lembaga sipil. Sejak saat itu, JPL secara resmi bergabung dengan NASA dan mengarahkan fokusnya pada pengembangan wahana antariksa untuk penelitian ilmiah. Transformasi ini menjadi tonggak penting dalam sejarah JPL dan memperluas cakupan tugasnya dari pengembangan teknologi rudal menjadi pionir dalam riset luar angkasa.

Walaupun sudah menjadi bagian dari NASA, JPL tetap berstatus sebagai Federally Funded Research and Development Center (FFRDC) dan khusus didedikasikan untuk misi robotik eksplorasi ruang angkasa. Pengelolaan JPL masih berada di bawah kontrak dengan Caltech yang diperbaharui setiap lima tahun. Dengan sistem tersebut, seluruh pegawai JPL secara administratif merupakan karyawan Caltech, meskipun kegiatan dan misi mereka sangat erat terhubung dengan program-program NASA.

Memasuki era 1970-an hingga 1990-an, Jet Propulsion Laboratory (JPL) NASA semakin diarahkan untuk menjalankan berbagai misi luar angkasa yang kompleks dan berskala besar. Pada periode ini, beberapa misi eksplorasi penting berhasil diluncurkan, seperti misi Voyager yang bertujuan untuk mempelajari planet-

⁶⁴ History & Archives, <https://www.jpl.nasa.gov/about/history.php>, akses 11 Juli 2025, 11.35 WIB.

planet terluar di tata surya. Selain itu, misi Viking ke Mars, yang merupakan hasil kolaborasi dengan Langley Research Center NASA, serta misi Galileo ke Jupiter yang bekerja sama dengan Ames Research Center NASA, turut menjadi tonggak sejarah. Kolaborasi internasional juga terjalin melalui misi Cassini-Huygens ke Saturnus, yang merupakan hasil kerjasama antara NASA dengan Badan Antariksa Eropa dan Italia.⁶⁵

Di dalam JPL sendiri, terdapat kelompok penelitian bernama Solar System Dynamics (SSD), yang berperan sebagai bagian dari tim Mission Design and Navigation NASA. Grup SSD ini memiliki tugas penting dalam menghasilkan dan menyediakan data ephemeris untuk berbagai benda langit, mulai dari planet, satelit, komet, hingga asteroid. Ketersediaan data ephemeris tersebut sangat vital dalam mendukung keberhasilan navigasi dan perencanaan misi wahana antariksa yang dieksplorasi ke berbagai planet di tata surya.⁶⁶

Untuk mempermudah akses ke data-data ephemeris tersebut, JPL telah mengembangkan beberapa jalur akses, salah satunya adalah sistem online yang dikenal sebagai JPL Horizons. Melalui sistem ini, para pengguna dapat mengakses data ephemeris tata surya dengan tingkat akurasi yang sangat tinggi secara daring di laman <http://ssd.jpl.nasa.gov/?horizons>. Sistem Horizons menyediakan data meliputi ratusan ribu asteroid, ribuan komet, ratusan satelit planet, delapan planet utama, Matahari, dan berbagai objek lainnya yang terus diperbarui.⁶⁷

Selain melalui layanan Horizons, JPL juga menyediakan data ephemeris dalam format file ASCII atau teks sederhana yang dapat diunduh dan digunakan oleh para programmer atau peneliti sesuai kebutuhan. File teks ini dapat diubah ke dalam format biner yang kompatibel dengan berbagai sistem operasi sehingga dapat

⁶⁵ History & Archives, <https://www.jpl.nasa.gov/about/history.php>, akses 11 Juli 2025, 11.35 WIB

⁶⁶ About JPL Solar System Dynamics, <https://ssd.jpl.nasa.gov/?about>, 11 Juli 2025, 12.30 WIB.

⁶⁷ HORIZONS System, <http://ssd.jpl.nasa.gov/?horizons>, 11 Juli 2025, 12:45 WIB.

digunakan untuk menghasilkan data ephemeris objek langit tertentu dalam rentang waktu yang diinginkan. Semua file tersebut tersedia melalui server FTP di alamat <ftp://ssd.jpl.nasa.gov/pub/eph/planets/ascii/>, lengkap dengan dokumentasi format file di ftp://ssd.jpl.nasa.gov/pub/eph/planets/ascii/ascii_format.txt.⁶⁸

Sejak tahun 1981, JPL NASA telah secara berkala merilis seri file ASCII Development Ephemeris (DE), yang menjadi standar referensi utama dalam dunia astronomi. Seri perdana, yaitu DE102, diterbitkan pada September 1981 dan terus berkembang hingga seri terbaru DE441 yang dirilis pada Februari 2021. Perkembangan seri DE ini menunjukkan konsistensi dan komitmen JPL dalam menyediakan data ephemeris berkualitas tinggi untuk mendukung riset dan misi eksplorasi tata surya di seluruh dunia.

E. Menentukan Posisi Bulan dengan Algoritma JPL Nasa

Pada sub bab ini dijelaskan tahapan-tahapan algoritma dalam memperoleh data ephemeris yang bersumber dari file ASCII Development Ephemeris (DE) seri tertentu yang diterbitkan oleh JPL NASA. Secara garis besar, proses ini terdiri dari tiga langkah utama, yaitu: pertama, mengunduh file data ephemeris dalam format ASCII; kedua, melakukan konversi file ASCII tersebut menjadi format biner; dan ketiga, memanfaatkan file biner yang telah dihasilkan untuk membaca serta mengambil data ephemeris objek langit yang diperlukan. Penjelasan lebih mendalam mengenai masing-masing langkah akan dipaparkan pada bagian berikutnya.⁶⁹

1. File data Ephemeris dalam format ASCII

Terdapat dua metode utama yang dapat digunakan untuk memperoleh file ASCII data ephemeris dari JPL NASA. Cara pertama adalah dengan membeli CD-ROM JPL Planetary and Lunar Ephemerides yang tersedia secara online melalui situs

⁶⁸ JPL Planetary and Lunar Ephemerides, https://ssd.jpl.nasa.gov/?planet_eph_export, 11 April 2017, 13:00 WIB.

⁶⁹ Jean Meeus, *Astronomical Algorithms*, (Richmond: Willmann-Bell, Inc., 1991), 359-361. Rumus horizontal parallax, lihat: Meeus, *Astronomical Algorithms*, 307.

Willmann-Bell, Inc. pada alamat www.willbell.com/software/jpl.htm. CD-ROM tersebut umumnya memuat beberapa seri data ephemeris seperti DE200, DE405, dan DE441.

Selain melalui pembelian fisik, pengguna juga dapat mengakses data tersebut secara langsung melalui layanan FTP yang disediakan oleh JPL NASA di alamat <ftp://ssd.jpl.nasa.gov/pub/eph/planets/ascii>. Di dalam server ini, terdapat sejumlah direktori khusus yang disusun berdasarkan seri Development Ephemeris (DE) tertentu. Sebagai contoh, file untuk DE200 bisa diakses melalui <ftp://ssd.jpl.nasa.gov/pub/eph/planets/ascii/de200/>, sementara data DE441 dapat ditemukan pada <ftp://ssd.jpl.nasa.gov/pub/eph/planets/ascii/de441/>, dan seterusnya sesuai kebutuhan. Setiap direktori dalam server FTP tersebut biasanya berisi tiga kelompok file utama, yakni file header.xxx, file tespo.xxx, serta file data utama dalam format ASCII yang telah dibagi menjadi beberapa bagian. Jumlah dan ukuran file ASCII ini dapat berbeda-beda untuk setiap seri DE, bergantung pada cakupan data dan detail yang disediakan dalam masing-masing paket ephemeris.

2. Konversi file ASCII tersebut menjadi format biner

Tahapan awal dalam memproses file ASCII data ephemeris adalah melakukan konversi ke dalam format biner. Untuk keperluan ini, dapat digunakan program ASC2EPH yang dikembangkan oleh Paul J. Heafner. Sebelum program tersebut dijalankan, terlebih dahulu dilakukan proses kompilasi terhadap file sumber ASC2EPH yang ditulis dalam bahasa pemrograman C, agar menghasilkan file yang dapat dieksekusi pada sistem operasi yang digunakan.

Pada penelitian ini, proses kompilasi dilakukan menggunakan perangkat Notebook Acer TravelMate P243 yang dilengkapi prosesor Core i3-3110M 2,4GHz, RAM 6GB, dan hardisk 500GB, serta sistem operasi Distro Astro 3 (Juno) berbasis Linux Debian. Kompiler yang digunakan adalah GNU C Compiler (gcc), yang menjadi standar pada lingkungan Linux.

Program ASC2EPH memanfaatkan beberapa fungsi yang terdapat pada file tambahan, seperti `astrolib.h` dan `support.h`, serta library bawaan gcc. Untuk memudahkan proses kompilasi, semua instruksi yang dibutuhkan disusun dalam satu file `makefile.unx`, sehingga proses kompilasi dapat dijalankan secara otomatis dengan perintah `make -f makefile.unx` pada terminal Linux.

Setelah kompilasi berhasil, akan dihasilkan file executable bernama `asc2eph` yang dapat digunakan untuk mengubah file ASCII menjadi file biner. Perintah yang digunakan untuk menjalankan konversi ini misalnya `./asc2eph -i:ascp2000.405 -o:de405_2000.bin`, di mana file `ascp2000.405` menjadi input dan hasil konversinya berupa file biner `de405_2000.bin`. Proses serupa dapat diterapkan untuk berbagai seri DE lainnya, seperti DE441, tergantung kebutuhan penelitian.

Secara garis besar, algoritma dari program `asc2eph` dimulai dengan membaca file data ASCII yang diinput oleh pengguna. Setelah itu, program akan mencari file header yang sesuai dengan seri DE yang diinput, misalnya `HEADER.441` untuk seri DE441. Jika file header tidak ditemukan, maka proses akan berhenti. Namun jika file tersebut ada, program akan melanjutkan dengan membaca dan memproses file header tersebut.

Pembacaan file header oleh program dilakukan secara berurutan, mulai dari bagian `KSIZE` hingga seluruh kelompok `GROUP` yang terdapat di dalamnya, yaitu dari `GROUP 1010` hingga `GROUP 1070`. Semua konstanta yang ada dalam masing-masing `GROUP` tersebut diparsing dan disiapkan untuk digunakan. Setelah pembacaan file header selesai, program akan melanjutkan membaca file data ASCII yang berisi konstanta tambahan sebagai lanjutan dari `GROUP 1070`.

Seluruh data yang berhasil dibaca baik dari file header maupun file ASCII kemudian disimpan ke dalam file biner dengan nama sesuai output yang telah ditentukan pengguna. Susunan dalam file biner tersebut diawali dengan data dari file

header, kemudian dilanjutkan dengan data dari file ASCII. Dengan demikian, file biner yang dihasilkan sudah siap untuk digunakan dalam membaca dan mengolah data ephemeris dengan lebih efisien pada tahap selanjutnya.

3. Algoritma Data Ephemeris JPL Nasa

Dalam proses pembacaan file data biner ephemeris, tidak semua informasi yang tersedia diambil, melainkan hanya data-data yang relevan dengan pengujian akurasi pada beberapa seri Development Ephemeris (DE), khususnya terkait perhitungan gerhana Matahari yang akan diuraikan lebih lanjut pada sub bab berikutnya. File biner yang digunakan dalam penelitian ini meliputi seri DE200, DE405, DE406, dan DE421. Adapun fokus utama dari data ephemeris yang diekstrak adalah data posisi Matahari dan Bulan, meliputi beberapa parameter penting seperti ecliptic longitude, ecliptic latitude, apparent right ascension, apparent declination, true geocentric distance, dan semi diameter. Selain itu, khusus untuk data Matahari, diperoleh pula true obliquity dan equation of time, sedangkan untuk Bulan ditambahkan informasi horizontal parallax.

Pengambilan dan pengolahan data ephemeris ini menggunakan program sephem (Small Ephemeris Program), yang berfungsi sebagai frontend dalam proses pembacaan data dari file biner. Program sephem tidak berdiri sendiri, tetapi sangat bergantung pada sejumlah file pendukung (dependencies) yang berisi prosedur-prosedur penting untuk memudahkan eksekusi. File-file yang berperan sebagai dependensi antara lain astrocon.h, support.h, support.c, astrolib.h, dan astrolib.c. Setiap file tersebut menangani prosedur-prosedur tertentu yang dibutuhkan oleh sephem.

File astrocon.h memuat berbagai konstanta dan perintah dasar untuk melakukan konversi satuan, misalnya konstanta D2R yang digunakan untuk mengubah satuan derajat ke radian. Sementara itu, file support.h berisi prototype fungsi-fungsi dasar untuk manipulasi teks, sedangkan detail implementasinya terdapat pada file support.c. Sebagai contoh, dalam support.h terdapat deklarasi fungsi untuk mengambil sebagian karakter

dari sebelah kiri string, yakni fungsi `void left(char str[], int n, char dest[])`; Implementasi fungsi tersebut kemudian dijabarkan lebih lanjut di file `support.c`, yang bertugas menyalin `n` karakter terdepan dari string asal ke variabel tujuan dan menambahkan karakter null di akhir string hasil.

Dengan adanya struktur file pendukung yang saling melengkapi ini, proses pembacaan dan pengolahan data ephemeris menjadi lebih terstruktur dan efisien. Setiap bagian dari sistem bertugas sesuai fungsinya masing-masing, sehingga program `sephem` dapat menjalankan tugas utamanya dalam mengambil dan mengelola data posisi Matahari dan Bulan dengan akurat dari file biner hasil konversi DE NASA JPL.

Bagian utama dari algoritma yang digunakan untuk memperoleh data ephemeris berbasis JPL NASA terletak pada file `astrolib.h` dan `astrolib.c`. Pada file `astrolib.h` terdapat sejumlah prototype fungsi, sementara implementasi rinci dari fungsi-fungsi tersebut berada di dalam `astrolib.c`. Program `sephem` kemudian memanfaatkan berbagai fungsi dari kedua file ini untuk mengambil data ephemeris yang dibutuhkan sesuai dengan instruksi yang diberikan pengguna.

Proses algoritmik program `sephem` dimulai dengan permintaan input berupa file data biner, misalnya `de405_2000.bin`, yang akan dijadikan sumber data ephemeris. Program kemudian menggunakan fungsi `ephopn20` untuk membaca isi file biner tersebut dan menyimpannya di memori agar dapat diolah lebih lanjut. Jika file biner yang dimasukkan pengguna tidak ditemukan atau tidak dapat diakses, maka program secara otomatis akan menghentikan proses dan menampilkan pesan kesalahan.

Setelah file biner berhasil dibaca, tahap selanjutnya adalah pengguna diminta untuk menginput tanggal, bulan, tahun, serta waktu dalam Universal Time (UT). Data waktu ini kemudian diubah ke dalam format Julian Ephemeris Date (JDE) dengan memanfaatkan fungsi `Cal2JED`. Konversi waktu ini penting sebagai basis perhitungan lebih lanjut dalam menentukan posisi benda langit yang diinginkan.

Selanjutnya, pengguna diberikan dua opsi menu utama. Opsi pertama adalah menu 'Ephemeris', yang memungkinkan pengguna untuk menghasilkan data ephemeris baik untuk Matahari maupun Bulan. Opsi kedua adalah menu 'Solar Eclipse', yang digunakan untuk melakukan prediksi peristiwa gerhana Matahari secara toposentrik. Menu kedua ini sangat bermanfaat dalam rangka pengujian akurasi data ephemeris yang dihasilkan oleh program sephem terhadap peristiwa nyata gerhana.

Jika pengguna memilih menu 'Ephemeris', maka akan muncul pilihan lanjutan, yaitu menghasilkan data ephemeris untuk Matahari (Sun) atau Bulan (Moon). Program memberikan fleksibilitas kepada pengguna untuk menentukan interval data ephemeris yang ingin dihasilkan, baik dalam rentang jam, menit, maupun detik. Pilihan interval ini dapat menyesuaikan kebutuhan, seperti format data dalam buku Ephemeris Hisab Rukyat Kementerian Agama RI ataupun kebutuhan untuk integrasi dengan algoritma lain, misalnya algoritma perhitungan gerhana Matahari dan Bulan versi Kementerian Agama.

Algoritma utama dalam perhitungan data ephemeris menggunakan program sephem diawali dengan pemanggilan fungsi reduce. Fungsi ini berfungsi untuk mentransformasi data ephemeris dari pusat massa ke sistem koordinat yang lebih relevan bagi pengamatan, yakni apparent dan topocentric ephemeris. Pada proses ini, diperlukan beberapa parameter penting, antara lain waktu dalam bentuk Julian Ephemeris Date (JED), identitas objek langit yang akan dihitung, serta array p3 yang akan menyimpan hasil vektor posisi objek langit tersebut dalam tiga dimensi.

Output dari fungsi reduce adalah vektor posisi dalam koordinat kartesian, yang terdiri dari tiga komponen: p3[0], p3[1], dan p3[2] masing-masing mewakili sumbu x, y, dan z. Vektor posisi ini kemudian digunakan untuk menentukan jarak antara objek langit (misal Bulan atau Matahari) dengan Bumi. Nilai jarak ini, yang dilambangkan sebagai r , dihitung menggunakan rumus:

$$r = \sqrt{p3[0] * p3[0] + p3[1] * p3[1] + p3[2] * p3[2]}$$

Rumus di atas, yang juga tertera pada gambar, merupakan formulasi matematika dasar untuk menghitung besar vektor dalam ruang tiga dimensi, atau sering disebut norma Euclidean dari vektor posisi.

Langkah selanjutnya adalah menentukan nilai right ascension (RA) dan declination (Dec) dari objek langit berdasarkan vektor posisi tersebut. Nilai right ascension diperoleh dengan menggunakan fungsi arcus tangen dua variabel (atan2), yakni perbandingan antara p3[1] dan p3[0], kemudian hasilnya dikonversi ke dalam satuan jam dengan mengalikan faktor konversi R2H (radian ke jam). Sementara declination dihitung dari fungsi arcsin pembagian p3[2] terhadap r, dan hasilnya diubah ke dalam derajat menggunakan R2D (radian ke derajat).

Dengan diperolehnya nilai r, RA, dan Dec, data ini kemudian digunakan sebagai dasar transformasi ke sistem koordinat ekliptika. Nilai-nilai tersebut diubah ke dalam bentuk vektor sudut (polar) lalu dikonversi ke vektor kartesian menggunakan prosedur Pol2Rec. Setelah itu, kemiringan ekliptika (obliquity) diperhitungkan dengan fungsi Obliquity untuk memastikan transformasi ke sistem koordinat ekliptika berjalan akurat. Proses selanjutnya adalah transformasi dari sistem ekuatorial ke sistem ekliptika melalui fungsi Eq2Ecl, dan hasil akhirnya kembali dikonversi ke format sudut polar menggunakan Rec2Pol. Nilai ecliptic longitude (Lambda) dan ecliptic latitude (Beta) yang didapat selanjutnya dinyatakan dalam derajat.

Dengan demikian, seluruh rangkaian algoritma ini memungkinkan transformasi data posisi objek langit secara tepat, mulai dari hasil pembacaan file ephemeris hingga menjadi informasi koordinat yang siap digunakan untuk berbagai keperluan pengamatan dan hisab astronomi. Rumus pada gambar di atas ($r = \sqrt{p3[0] * p3[0] + p3[1] * p3[1] + p3[2] * p3[2]}$) merupakan inti dari proses penghitungan jarak yang

menjadi pondasi perhitungan koordinat selanjutnya dalam algoritma ini.

Setelah memperoleh nilai right ascension (RA) dan declination (Dec) dalam satuan derajat, kedua nilai tersebut kemudian diubah ke dalam satuan radian dan dimasukkan ke dalam array *r1*. Selanjutnya, koordinat polar ini diubah ke bentuk koordinat rectangular atau kartesian menggunakan fungsi *Pol2Rec*, sehingga diperoleh array baru *r2* yang siap diproses lebih lanjut. Sebelum melakukan transformasi dari koordinat ekuatorial ke ekliptika, diperlukan satu parameter penting lagi, yaitu true obliquity (kemiringan ekliptika sebenarnya), yang dihitung dengan memanggil fungsi *Obliquity*.

Setelah variabel *r2* dan nilai true obliquity telah diperoleh, transformasi ke sistem koordinat ekliptika dilakukan dengan fungsi *Eq2Ecl*. Hasil transformasi ini masih dalam bentuk koordinat rectangular sehingga harus diubah kembali ke bentuk koordinat polar menggunakan *Rec2Pol*. Dari proses ini akan dihasilkan dua parameter utama, yaitu *lambda* (bujur ekliptika) yang merupakan indeks ke-0 dari *r2* dan *beta* (lintang ekliptika) sebagai indeks ke-1 dari *r2*.

Langkah berikutnya adalah menghitung nilai semi diameter (jarak sudut dari pusat ke tepi cakram) Matahari atau Bulan dalam satuan menit busur. Untuk memperoleh nilai ini, digunakan konstanta *s* dan rumus semi diameter sebagaimana dijelaskan dalam buku Jean Meeus, *Astronomical Algorithms*. Adapun rumus yang digunakan adalah:

$$\text{SemiDiameter} = \frac{s/r}{60}$$

Rumus di atas, sebagaimana tampak pada gambar yang Anda lampirkan, menunjukkan bahwa nilai semi diameter didapat dengan membagi konstanta *s* dengan nilai *r*, lalu hasilnya dibagi lagi dengan 60 untuk mengonversi ke satuan menit busur.

Selain semi diameter, parameter penting lain yang dihitung adalah horizontal parallax Bulan. Horizontal parallax menggambarkan sudut antara dua garis dari pusat Bumi ke

Bulan dan dari permukaan Bumi ke Bulan. Nilai ini sangat penting dalam observasi astronomi, terutama untuk fenomena gerhana Bulan dan Matahari. Rumus yang digunakan adalah:

$$\sin \pi = \frac{6378,14}{r}, \quad \pi = \text{Horizontal Parallax}$$

Rumus di atas juga tertera jelas pada gambar yang telah Anda lampirkan. Dalam implementasi program, rumus ini digunakan dengan cara menghitung nilai sinus parallax dari perbandingan jari-jari Bumi (6378,14 km) terhadap jarak r (dalam satuan yang sama), lalu mengambil nilai inverse sinusnya untuk mendapatkan besar sudut parallax.

Implementasi kedua rumus tersebut dalam kode program dapat dijumpai pada logika berikut. Jika objek langit yang dihitung adalah Matahari, maka nilai r dikalikan dengan AU2KM dan nilai s diisi dengan konstanta tertentu, sedangkan untuk Bulan digunakan nilai s yang berbeda. Nilai semi diameter diperoleh dengan membagi s dengan r dan kemudian hasilnya dibagi 60. Sedangkan untuk horizontal parallax Bulan, digunakan fungsi arc sinus dari hasil 6378.14 dibagi dengan r .

Selain kedua parameter di atas, Equation of Time juga dihitung menggunakan rumus yang dikutip dari algoritma Dr. Eng. Rinto Anugraha, yang melibatkan sejumlah koreksi harmonik berdasarkan posisi Matahari terhadap waktu. Semua langkah ini membangun sistem pengolahan data ephemeris yang tidak hanya akurat tetapi juga sesuai dengan praktik-praktik yang telah terbukti secara astronomis.⁷⁰

⁷⁰ Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*, (Yogyakarta: Jurusan Fisika Fakultas MIPA UGM, 2012), 78-79.

BAB IV

PEMBAHASAN

A. Metode perhitungan data posisi Bulan Algoritma Janus karya Michelle Chapront Touze

Algoritma Janus, yang dikembangkan oleh Michelle Chapront Touze dan Jean Chapront, merupakan salah satu metode numerik untuk menghitung posisi Bulan secara presisi dalam sistem koordinat geosentris. Algoritma ini didasarkan pada teori analitik dan harmonik pergerakan Bulan, memanfaatkan data astronomi yang telah diolah dan dikalibrasi dengan pengamatan selama berabad-abad. Keunggulan utama Algoritma Janus adalah kemampuannya memberikan prediksi posisi Bulan yang akurat untuk rentang waktu yang sangat panjang, baik untuk masa lalu maupun masa depan.

Metode perhitungan dalam Algoritma Janus melibatkan serangkaian koreksi (suku harmonik) pada unsur-unsur orbit Bulan, seperti bujur geosentris, jarak geosentris, dan inklinasi orbit. Dalam praktiknya, Algoritma Janus menggunakan puluhan hingga ratusan suku koreksi yang sudah dirumuskan berdasarkan data observasi dan model matematis. Proses komputasi ini biasanya diintegrasikan ke dalam perangkat lunak astronomi, sehingga memudahkan proses hisab dan prediksi fenomena astronomi seperti gerhana.

Dalam konteks hukum syariah, perhitungan posisi Bulan sangat penting, khususnya untuk penentuan awal bulan Hijriah (rukyah dan hisab), pelaksanaan ibadah seperti puasa, Idul Fitri, Idul Adha, dan juga peristiwa gerhana yang berkaitan dengan anjuran pelaksanaan salat gerhana (salat khusuf dan khushuf). Hukum Islam menekankan pentingnya kepastian dalam penetapan waktu-waktu ibadah (التَّحَقُّقُ مِنَ الْوَقْتِ شَرْطٌ فِي الْعِبَادَةِ), sehingga penggunaan metode hisab yang terbukti akurat dan sahih merupakan bagian dari ihtiyath (kehati-hatian) dalam pelaksanaan syariat. Dengan demikian, Algoritma Janus, apabila telah teruji keakuratannya dan diakui oleh otoritas ahli falak dan astronomi Islam, dapat digunakan sebagai dasar dalam penetapan waktu-waktu syariat,

termasuk hisab gerhana. Berikut adalah metode perhitungan data posisi Bulan Algoritma Janus karya Michelle Chapront Touze:

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

$$JD = 1720994.5 + \text{Int} (365.25 * Y)^2 + \text{Int} (30.60001 * (M + 1)) + D + B + ((\text{Jam}) / 24) - \text{Zona Waktu} / 24$$

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. Mencari hari Julian UT dengan menambahkan Delta T ke hasil JD. Rumus delta T:³

- a. Mencari T dengan rumus:

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

- b. Mencari y dengan rumus:

$$y = 2000 + T * 100$$

- c. Apabila nilai y sebelum -500 maka:

$$\Delta T = -20 + 32 * u^2$$

Dimana u adalah:

$$u = (y - 1820)/100$$

- d. Apabila nilai y antara -500 hingga +500 maka:

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

Dimana u adalah:

$$u = y/100$$

¹ Rinto Anugrama, *Mekanika Benda Langit* (Yogyakarta: Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Gajah Mada, 2012), 9.

² Int adalah lambang untuk menyatakan integer (bilangan bulat dari suatu bilangan). Contoh Int (10) = 10. Int (10.66) = 10.

³ Fred Espenak dan Jean Meeus, *Five Millenium Catalog of Lunar Eclipses: - 1999 to +3000* (2000 BCE to 3000 CE (Maryland: NASA Goddard Space Flight Center), 18.

- e. Apabila nilai y antara +500 hingga +1600 maka:

$$\Delta T = 1574.2 - 556.01 * u + 71.23472 * u^2 + 0.319781 * u^3$$

$$0.8503463 * u^4 - 0.005050998 * u^5 + 0.0083572073 * u^6$$
Dimana u adalah:

$$u = (y - 1000)/100$$
- f. Apabila nilai y antara +1600 hingga +1700 maka:

$$\Delta T = 120 - 0.9808 * t - 0.01532 * t^2 + t^3 / 7129$$
Dimana t adalah:

$$t = y - 1600$$
- g. Apabila nilai y antara +1700 hingga +1800 maka:

$$\Delta T = 8.83 + 0.1603 * t - 0.0059285 * t^2 + 0.00013336 * t^3 -$$

$$t^4 / 1174000$$
Dimana t adalah:

$$t = y - 1700$$
- h. Apabila nilai y antara +1800 hingga +1860 maka:

$$\Delta T = 13.72 - 0.332447 * t + 0.0068612 * t^2 + 0.0041116 * t^3$$

$$0.00037436 * t^4 + 0.0000121272 * t^5 - 0.0000001699 * t^6 + 0.000000000875 * t^7$$
Dimana t adalah:

$$t = y - 1800$$
- i. Apabila nilai y antara +1860 hingga +1900 maka:

$$\Delta T = 7.62 + 0.5737 * t - 0.251754 * t^2 + 0.01680668 * t^3 -$$

$$0.0004473624 * t^4 + t^5 / 233174$$
Dimana t adalah:

$$t = y - 1860$$
- j. Apabila nilai y antara +1900 hingga +1920 maka:

$$\Delta T = -2.79 + 1.494119 * t - 0.0598939 * t^2 + 0.0061966 * t^3$$

$$0.000197 * t^4$$
Dimana t adalah:

$$t = y - 1900$$
- k. Apabila nilai y antara +1920 hingga +1941 maka:

$$\Delta T = 21.20 + 0.84493 * t - 0.076100 * t^2 + 0.0020936 * t^3$$
Dimana t adalah:

$$t = y - 1920$$

- l. Apabila nilai y antara +1941 hingga +1961 maka:

$$\Delta T = 29.07 + 0.407 * t - t^2 / 233 + t^3 / 2547$$
 Dimana t adalah:

$$t = y - 1950$$
- m. Apabila nilai y antara +1961 hingga +1986 maka:

$$\Delta T = 45.45 + 1.067 * t - t^2 / 260 - t^3 / 718$$
 Dimana t adalah:

$$t = y - 1975$$
- n. Apabila nilai y antara +1986 hingga +2005 maka:

$$\Delta T = 63.86 + 0.3345 * t - 0.060374 * t^2 + 0.0017275 * t^3 + 0.000651814 * t^4 + 0.00002373599 * t^5$$
 Dimana t adalah:

$$t = y - 2000$$
- o. Apabila nilai y antara +2005 hingga +2050 maka:

$$\Delta T = 62.92 + 0.32217 * t + 0.005589 * t^2$$
 Dimana t adalah:

$$t = y - 2000$$
- p. Apabila nilai y antara +2050 hingga +2150 maka:

$$\Delta T = -20 + 32 * ((y - 1820) / 100)^2 - 0.5628 * (2150 - y)$$
- q. Apabila nilai y sesudah +2150 maka:

$$\Delta T = -20 + 32 * u^2$$
 Dimana u adalah:

$$u = (y - 1820) / 100$$
- r. Hasil dari hari Julian UT / JDUT adalah:

$$JDUT = JD + (\Delta T / 86400)$$
3. Mencari nilai U dari JDUT⁴

$$U = (JDUT - 2451545) / 3652500$$
4. Menghitung koreksi untuk nutasi (A1 dan A2)⁵

$$A1 = 124.9047993 - 193413.3629023 * U + 20.6264806 * U^2$$

$$A2 = 201.1081861 + 7200153.7736450 * U + 5.7295780 * U^2$$

⁴ Pierre Bretagnon dan Jean-Louis Simon, *Planetary...*, 5.

⁵ Ibid., 35.

5. Menghitung nutasi pada bujur ($\Delta\Psi$)⁶

$$\Delta\Psi = (-47784.6801139 * \sin(A1) - 3666.9298888 * \sin(A2)) / 10000000$$

6. Menghitung kemiringan ekliptika (ϵ)⁷

$$\epsilon = 23.4392909 + ((-13002589.6111399 * U - 4297.1834635 * U^2 + 5553450.7250850 * U^3 - 142723.7867671 * U^4 + 693508.1152263 * U^5 + 25553.9176628 * \cos(A1) + 1604.2818263 * \cos(A2)) / 10000000)$$

7. Menghitung koreksi bujur Bulan pertama (sv)

$$\begin{aligned} sv = & (6.28877383 \sin(134.9634114 + 477198.8676313 \times T + \\ & 0.008997 \times T^2 + 0.000014348 \times T^3 + -0.00000006797 \times \\ & T^4)) + (1.27401064 \sin(100.736997 + 413335.3554022 \times T + - \\ & 0.0122571 \times T^2 + -0.000010684 \times T^3 + 0.00000005028 \times \\ & T^4)) + (0.65830943 \sin(235.7004084 + 890534.2230335 \times T + - \\ & 0.0032601 \times T^2 + 0.000003664 \times T^3 + -0.00000001769 \times \\ & T^4)) + (0.21361825 \sin(269.9268228 + 954397.7352627 \times T + \\ & 0.0179941 \times T^2 + 0.000028695 \times T^3 + -0.00000013594 \times \\ & T^4)) + (-0.18511586 \sin(357.5291092 + 35999.0502909 \times T + - \\ & 0.0001536 \times T^2 + 0.000000041 \times T^3 + 0 \times T^4)) + (- \\ & 0.11433213 \sin(186.5441986 + 966404.0350546 \times T + - \\ & 0.0068058 \times T^2 + -0.000000567 \times T^3 + 0.00000000232 \times \\ & T^4)) + (0.05879321 \sin(325.7735856 + -63863.5122292 \times T + - \\ & 0.0212541 \times T^2 + -0.000025031 \times T^3 + 0.00000011826 \times \\ & T^4)) + (0.05706551 \sin(103.2078878 + 377336.3051112 \times T + - \\ & 0.0121035 \times T^2 + -0.000010724 \times T^3 + 0.00000005028 \times \\ & T^4)) + (0.05332117 \sin(10.6638198 + 1367733.0906648 \times T + \\ & 0.005737 \times T^2 + 0.000018011 \times T^3 + -0.00000008566 \times \\ & T^4)) + (0.04575792 \sin(238.1712992 + 854535.1727426 \times T + - \\ & 0.0031065 \times T^2 + 0.000003623 \times T^3 + -0.00000001769 \times \\ & T^4)) + (-0.04092258 \sin(222.5656978 + -441199.8173404 \times T \\ & + -0.0091506 \times T^2 + -0.000014307 \times T^3 + 0.00000006797 \times \\ & T^4)) + (-0.03471892 \sin(297.8502042 + 445267.1115168 \times T + \\ & -0.00163 \times T^2 + 0.000001832 \times T^3 + -0.00000000884 \times \end{aligned}$$

⁶ Ibid.

⁷ Ibid.

$$\begin{aligned}
&T^4)) + (-0.03038341 \sin(132.4925206 + 513197.9179223 \times T + \\
&0.0088434 \times T^2 + 0.000014388 \times T^3 + -0.00000006797 \times \\
&T^4)) + (0.01532696 \sin(49.1562098 + -75869.8120211 \times T + \\
&0.0035458 \times T^2 + 0.000004231 \times T^3 + -0.00000002001 \times \\
&T^4)) + (-0.01252767 \sin(321.50761 + 1443602.9026859 \times T + \\
&0.0021912 \times T^2 + 0.00001378 \times T^3 + -0.00000006566 \times \\
&T^4)) + (0.01098147 \sin(308.4192127 + -489205.1674233 \times T + \\
&0.0158029 \times T^2 + 0.000014915 \times T^3 + -0.00000007029 \times \\
&T^4)) + (0.01067495 \sin(336.4374054 + 1303869.5784357 \times T + \\
&-0.0155171 \times T^2 + -0.00000702 \times T^3 + 0.00000003259 \times \\
&T^4)) + (0.01003439 \sin(44.8902341 + 1431596.602894 \times T + \\
&0.0269911 \times T^2 + 0.000043043 \times T^3 + -0.00000020392 \times \\
&T^4)) + (0.00854794 \sin(201.473994 + 826670.7108043 \times T + - \\
&0.0245142 \times T^2 + -0.000021367 \times T^3 + 0.00000010057 \times \\
&T^4)) + (-0.00788808 \sin(98.2661062 + 449334.4056931 \times T + - \\
&0.0124107 \times T^2 + -0.000010643 \times T^3 + 0.00000005028 \times \\
&T^4)) + (-0.00676617 \sin(233.2295176 + 926533.2733244 \times T + \\
&-0.0034136 \times T^2 + 0.000003705 \times T^3 + -0.00000001769 \times \\
&T^4)) + (-0.00516242 \sin(162.8867928 + -31931.7561146 \times T + \\
&-0.0106271 \times T^2 + -0.000012516 \times T^3 + 0.00000005913 \times \\
&T^4)) + (0.00498735 \sin(295.3793134 + 481266.1618077 \times T + - \\
&0.0017836 \times T^2 + 0.000001873 \times T^3 + -0.00000000884 \times \\
&T^4)) + (0.00403619 \sin(13.1347106 + 1331734.0403739 \times T + \\
&0.0058906 \times T^2 + 0.000017971 \times T^3 + -0.00000008566 \times \\
&T^4)) + (0.00399436 \sin(145.6272312 + 1844931.9582962 \times T + \\
&0.014734 \times T^2 + 0.000032359 \times T^3 + -0.00000015363 \times \\
&T^4)) + (0.00386085 \sin(111.4008168 + 1781068.446067 \times T + - \\
&0.0065201 \times T^2 + 0.000007328 \times T^3 + -0.00000003538 \times \\
&T^4)) + (0.00366502 \sin(190.8101743 + -541062.3798605 \times T + \\
&-0.0302511 \times T^2 + -0.000039379 \times T^3 + 0.00000018623 \times \\
&T^4)) + (-0.00268863 \sin(87.6022864 + -918398.6849717 \times T + \\
&-0.0181476 \times T^2 + -0.000028654 \times T^3 + 0.00000013594 \times \\
&T^4)) + (-0.00260163 \sin(287.2811957 + 1379739.3904568 \times T \\
&+ -0.0190629 \times T^2 + -0.000011251 \times T^3 + 0.0000000526 \times \\
&T^4))
\end{aligned}$$

8. Menghitung koreksi bujur Bulan kedua ($s'v$)
 $s'v = (3.95801 \times \sin(119.7524 + 131.8489 \times T))$
9. Menghitung koreksi bujur Bulan kedua ($s''v$)
 $s''v = (0.46578 \times \sin(357.529 + 35999.05 \times T)) + (-0.14345 \times \sin(103.208 + 377336.305 \times T)) + (-0.11495 \times \sin(238.171 + 854535.173 \times T)) + (0.1031 \times \sin(222.566 + -441199.817 \times T)) + (0.07656 \times \sin(132.493 + 513197.918 \times T)) + (-0.07062 \times \sin(27.775 + 131.849 \times T))$
10. Menghitung koreksi bujur Bulan kedua ($s'''v$)
 $s'''v = (13.53 \times \sin(357.5 + 35999.1 \times T))$
11. Menghitung bujur ekliptika Bulan tampak (L)
 $L = 218.31665 + 481267.88134 \times T - 0.0013268 \times T^2 + 0.000001856 \times T^3 - 0.00000001534 \times T^4 + sv + ((s'v + s''v \times T + ((T \times T \times s'''v) / 10000)) / 1000) + \Delta P$
12. Menghitung lintang ekliptika Bulan (B)
 $B = (5,12812186 \times \sin((93,2720993 + 483202,0175273 \times T + -0,0034029 \times T \times T + -0,000000284 \times T \times T \times T + 0,00000000116 \times T \times T \times T \times T))) + (0,28060196 \times \sin((228,2355107 + 960400,8851586 \times T + 0,0055941 \times T \times T + 0,000014064 \times T \times T \times T + -0,00000006681 \times T \times T \times T \times T))) + (0,27769266 \times \sin((41,6913121 + -6003,149896 \times T + 0,0123999 \times T \times T + 0,000014631 \times T \times T \times T + -0,00000006913 \times T \times T \times T \times T))) + (0,17323679 \times \sin((142,4283091 + 407332,2055062 \times T + 0,0001429 \times T \times T + 0,000003948 \times T \times T \times T + -0,00000001885 \times T \times T \times T \times T))) + (0,05541215 \times \sin((194,0090963 + 896537,3729295 \times T + -0,01566 \times T \times T + -0,000010967 \times T \times T \times T + 0,00000005144 \times T \times T \times T \times T))) + (0,04627058 \times \sin((7,4648977 + -69866,6621251 \times T + -0,0088542 \times T \times T + -0,0000104 \times T \times T \times T + 0,00000004913 \times T \times T \times T \times T))) + (0,03257241 \times \sin((328,9725077 + 1373736,2405608 \times T + -0,006663 \times T \times T + 0,00000338 \times T \times T \times T + -0,00000001653 \times T \times T \times T \times T))) + (0,01719776 \times \sin((3,1989221 + 1437599,75279 \times T + 0,0145911 \times T \times T + 0,000028411 \times T \times T \times T + -0,00000013479 \times T \times T \times T \times T))) + (0,00926589 \times \sin((277,3917205 + 884531,0731375 \times T + 0,0091399 \times T \times$

$$\begin{aligned}
& T+0,000018295 \times T \times T \times T+-0,00000008682 \times T \times T \times T \times \\
& T)))+(0,00882213 \times \sin((176,6547234+471195,7177354 \times \\
& T+0,021397 \times T \times T+0,000028979 \times T \times T \times T+-0,0000001371 \\
& \times T \times T \times T \times T \times T \times T)))+(0,00821572 \times \\
& \sin((144,8991999+371333,1552153 \times T+0,0002964 \times T \times \\
& T+0,000003907 \times T \times T \times T+-0,00000001885 \times T \times T \times T \times \\
& T)))+(0,00432396 \times \sin((232,5014863+-547065,5297565 \times T+- \\
& 0,0178512 \times T \times T+-0,000024748 \times T \times T \times T+0,0000001171 \times \\
& T \times T \times T \times T \times T \times T)))+(0,00420043 \times \\
& \sin((103,9359191+1850935,1081921 \times T+0,0023341 \times T \times \\
& T+0,000017728 \times T \times T \times T+-0,0000000845 \times T \times T \times T \times \\
& T)))+(-0,00335948 \times \sin((139,9574183+443331,2557971 \times T+- \\
& 0,0000107 \times T \times T+0,000003988 \times T \times T \times T+-0,00000001885 \\
& \times T \times T \times T \times T \times T))
\end{aligned}$$

13. Menghitung jarak bulan ke bumi (Rb)

$$\begin{aligned}
Rb = & (-20905,355 \times \cos((134,9634114+477198,8676313 \times \\
& T+0,008997 \times T \times T+0,000014348 \times T \times T \times T+- \\
& 0,00000006797 \times T \times T \times T \times T)))+(-3699,1109 \times \\
& \cos((100,736997+413335,3554022 \times T+-0,0122571 \times T \times T+- \\
& 0,000010684 \times T \times T \times T+0,00000005028 \times T \times T \times T \times T)))+(- \\
& 2955,9676 \times \cos((235,7004084+890534,2230335 \times T+- \\
& 0,0032601 \times T \times T+0,000003664 \times T \times T \times T+-0,00000001769 \\
& \times T \times T \times T \times T \times T \times T)))+(-569,9251 \times \\
& \cos((269,9268228+954397,7352627 \times T+0,0179941 \times T \times \\
& T+0,000028695 \times T \times T \times T+-0,00000013594 \times T \times T \times T \times \\
& T)))+(246,1585 \times \cos((325,7735856+-63863,5122292 \times T+- \\
& 0,0212541 \times T \times T+-0,000025031 \times T \times T \times T+0,00000011826 \\
& \times T \times T \times T \times T \times T \times T)))+(-204,586 \times \\
& \cos((238,1712992+854535,1727426 \times T+-0,0031065 \times T \times \\
& T+0,000003623 \times T \times T \times T+-0,00000001769 \times T \times T \times T \times \\
& T)))+(-170,7331 \times \cos((10,6638198+1367733,0906648 \times \\
& T+0,005737 \times T \times T+0,000018011 \times T \times T \times T+- \\
& 0,00000008566 \times T \times T \times T \times T \times T)))+(-152,1377 \times \\
& \cos((103,2078878+377336,3051112 \times T+-0,0121035 \times T \times T+- \\
& 0,000010724 \times T \times T \times T+0,00000005028 \times T \times T \times T \times T)))+(- \\
& 129,6201 \times \cos((222,5656978+-441199,8173404 \times T+-
\end{aligned}$$

B. Akurasi Data Posisi Bulan Algoritma Janus Melalui Perbandingan Data Dari JPL-DE441

Uji akurasi data posisi Bulan pada Algoritma Janus dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan Janus dengan data referensi internasional yang dikeluarkan oleh NASA, khususnya Jet Propulsion Laboratory (JPL) melalui seri Development Ephemeris (DE) seperti DE441. Perbandingan ini mencakup beberapa parameter penting, di antaranya: bujur geosentris, jarak Bulan dari Bumi, right ascension, declination, dan waktu terjadinya fase-fase utama gerhana.

Metode uji akurasi umumnya dilakukan dengan menghitung selisih (delta) antara hasil Janus dan data NASA pada waktu dan lokasi yang sama, baik untuk peristiwa masa lalu (untuk validasi) maupun prediksi masa depan. Hasil uji akurasi biasanya dinyatakan dalam satuan derajat atau detik busur untuk posisi, dan detik atau menit untuk waktu kontak gerhana. Jika selisih antara dua metode sangat kecil (misal, kurang dari 1 detik busur), maka Algoritma Janus dapat dinilai sangat akurat dan dapat diandalkan dalam praktik hisab.

Dalam perspektif hukum Islam, validitas hasil hisab sangat berpengaruh terhadap penerimaan masyarakat dan institusi keagamaan, khususnya dalam penetapan waktu-waktu ibadah yang bergantung pada fenomena astronomi. Salah satu prinsip penting dalam hukum Islam adalah kepastian (اليقين), dan juga penetapan hukum berdasarkan dalil ilmiah yang dapat dipertanggungjawabkan (العلم حجة شرعية إذا تحقق اليقين). Oleh sebab itu, uji akurasi yang ketat terhadap algoritma hisab, serta pembandingannya dengan data internasional seperti NASA, merupakan bentuk tanggung jawab ilmiah dan syar'i. Hasil uji ini dapat menjadi dasar bagi otoritas keagamaan dalam menggunakan hasil hisab modern untuk kepentingan penetapan waktu ibadah, pelaksanaan salat gerhana, hingga penentuan awal bulan qamariyah.

Upaya untuk mengetahui akurasi data posisi Bulan yang dihasilkan oleh algoritma Janus, penting untuk melakukan perbandingan dengan dataset perhitungan posisi astronomis Bulan

yang dikembangkan oleh NASA, seperti yang disediakan oleh Jet Propulsion Laboratory (JPL) melalui *Development Ephemeris* 441 (DE441)⁷⁸ Algoritma Janus, yang telah dikembangkan oleh Michelle Chapront Touze dan Jean Chapront dalam menghasilkan hasil data posisi Bulan dengan tingkat akurasi yang baik, memerlukan verifikasi melalui data eksternal yang terpercaya untuk menilai tingkat presisi dalam aplikasi ilmiah dan praktis.

Sub bab ini akan memaparkan bagaimana tingkat akurasi dari algoritma Janus melalui membandingkan data ekliptika berupa *longitude*, *latitude*, *range*, fenomena gerhana Matahari global, dan fenomena gerhana Matahari global, dengan hasil yang diberikan oleh NASA dari *epehemeris* JPL-DE441. Di sini, data dari JPL-DE441 diperoleh melalui *Online Ephemeris Service*, yang dikembangkan oleh Institute of Applied Astronomy Russian Academy of Sciences.⁷⁹ Sedangkan data gerhana Matahari dari JPL-DE441 diperoleh melalui *database software* gerhana yang dikembangkan oleh Shinobu Takesako, bernama Eclipse Simulation Software untuk gerhana Matahari,⁸⁰ dan Lunar Eclipse Simulation Software untuk Gerhana Bulan.⁸¹ Perhitungan gerhana Matahari dan Bulan menggunakan standar perhitungan yang digunakan oleh NASA melalui buku *Explanatory Supplement to The Astronomical Almanac*.⁸²

⁷⁸ Ryan S. Park et al., “The JPL Planetary and Lunar Ephemerides DE440 and DE441,” *The Astronomical Journal* 161, no. 3 (February 2021): 105, <https://doi.org/10.3847/1538-3881/abd414>.

⁷⁹ Institute of Applied Astronomy Russian Academy of Science, “Online Ephemeris Service · IAA RAS,” accessed October 17, 2024, <https://iaaras.ru/en/dept/ephemeris/online/>.

⁸⁰ Shinobu Takesako, “Window Eclipse Simulation Software,” accessed October 17, 2024, https://www.kotenmon.com/cal/emapwin_eng.htm.

⁸¹ Takesako.

⁸² Nautical Almanac Office, United States Naval Observatory, and Royal Greenwich Observatory, *Explanatory Supplement to The Astronomical Almanac* (London: Her Majesty’s Stationery Office, 1961); P. Kenneth Seidelmann, *Explanatory Supplement to The Astronomical Almanac* (California: University Science Books, 1998); E. Urban and Seidelmann, *Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac*.

1. Hasil Perbandingan dan Akurasi Algoritma Janus bila Dibandingkan dengan JPL-DE441 dalam Koordinat Ekliptika (*Longitude*, *Latitude*, dan *Range*)

Perbandingan dan akurasi algoritma Janus dengan JPL-DE441, penulis menggunakan pendekatan *Root Mean Square Error*, untuk melihat perbedaan antara nilai yang diprediksi yakni Janus oleh model dan nilai lain yang lebih akurat, yakni JPL-DE441. *Root Mean Square Error* dapat dihitung dengan:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - B_i)^2}{n}} \quad (23)$$

dengan:

- a. A_i adalah nilai prediksi, yakni data bulan dari Algoritma Janus pada titik ke-i.
- b. B_i adalah adalah atau nilai sebenarnya, sesuai dengan data dari JPL-DE441 pada titik ke-i.
- c. n adalah jumlah total titik data yang digunakan dalam perhitungan.

Di bawah ini penulis uraikan hasil dari algoritma Janus bila dibandingkan dengan JPL DE-441 dan dianalisis kesalahannya menggunakan *root mean square error*

Tabel 7. Analisis Root Mean Square Error Janus dengan JPL DE-441 Selama 4000SM – 8000M

Periode	<i>Longitude</i> (°)	<i>Latitude</i> (°)	<i>Range</i> (kilometer)
4000SM – 2000SM	0.151012	0.073876	212.41341
2000SM – 1M	0.043152	0.020338	77.43607
1M – 1000M	0.009861	0.004478	18.32363
1000M – 1700M	0.001724	0.000904	3.71535
1700M – 1900M	0.000137	0.000075	0.313797
1900M - 2000M	0.000028	0.000017	0.122328
2000M – 2100M	0.000029	0.000020	0.130788

Periode	<i>Longitude</i> (°)	<i>Latitude</i> (°)	<i>Range</i> (kilometer)
2100M – 2300M	0.000151	0.000090	0.459698
2300M – 3000M	0.001314	0.000890	4.076769
3000M – 4000M	0.005429	0.003883	18.063734
4000M – 6000M	0.021259	0.014975	68.916579
6000M – 8000M	0.270689	0.051095	173.896751

Tabel 7 yang diberikan di atas menunjukkan hasil analisis *Root Mean Square Error* (RMSE) antara data posisi Bulan yang dihasilkan oleh algoritma Janus dibandingkan dengan data dari JPL DE-441. Penulis melakukan analisa dengan periode yang luas, mulai dari 4000 SM hingga 8000 M, dan membagi periode ini menjadi beberapa segmen waktu yang lebih kecil untuk menganalisis lebih detail. RMSE diukur dalam tiga dimensi: bujur ekliptika (*longitude*) dalam derajat, lintang ekliptika (*latitude*) dalam derajat, dan jarak (*range*) dalam kilometer.

Tabel 7 tersebut, menunjukkan bahwa RMSE untuk bujur ekliptika, lintang ekliptika, dan jarak secara umum menunjukkan penurunan signifikan seiring berjalannya waktu, khususnya dari periode awal (4000 SM) hingga periode modern (2000 M). Untuk periode 4000 SM hingga 2000 SM, RMSE untuk bujur adalah 0.151012 derajat, lintang 0.073876 derajat, dan jarak sekitar 212.41341 kilometer, yang menunjukkan adanya variasi yang cukup signifikan dalam akurasi posisi Bulan yang diprediksi oleh Janus dibandingkan dengan JPL DE-441.

Sebagai perbandingan, pada periode lebih modern seperti dari 1900 M hingga 2000 M, RMSE menurun menjadi 0.000028 derajat untuk bujur, 0.000017 derajat untuk lintang, dan 0.122328 kilometer untuk jarak. Ini menunjukkan peningkatan keakuratan prediksi yang semakin membaik di periode ini. Penurunan ini mencerminkan akurasi prediksi secara matematis dari algoritma Janus terhadap data JPL DE-441.

Bisa dicatat bahwa pada periode setelah 2000 M, terjadi fluktuasi dalam nilai RMSE. Misalnya, dari 2000 M ke 2100 M, nilai RMSE sedikit meningkat dan kemudian pada periode 2100 M hingga 2300 M meningkat lebih lagi, setelah tahun 2300M hingga 8000M terjadi fluktuasi nilai RMSE dari algoritma Janus, bila dibandingkan dengan JPL DE-441.

Analisis RMSE yang disajikan dalam tabel 7, dengan membuat batasan maksimum nilai RMSE kurang dari 1", dan nilai RMSE kurang dari 1" dianggap memiliki akurasi yang baik, maka periode di mana algoritma Janus menunjukkan tingkat akurasi yang baik adalah di periode 1700M – 2300M. Peneliti sangat merekomendasikan algoritma Janus digunakan dalam menghitung posisi Bulan dari tahun 1700 M hingga 2300 M. Dalam rentang waktu ini, RMSE untuk semua parameter (bujur ekliptika, lintang ekliptika, dan jarak geosentris) mencapai nilai-nilai yang sangat rendah, menandakan bahwa prediksi posisi Bulan oleh algoritma Janus sangat mendekati data yang disediakan oleh JPL DE-441. Bila RMSE diukur dalam satuan detik busur untuk data ekliptika (bujur, lintang) dan jarak geosentris, dari tahun 1700M hingga 2300M, penulis uraikan dalam tabel 8 di bawah ini:

Tabel 8. Analisis Root Mean Square Error Data Ekliptika Janus dengan JPL DE-441 Dari Periode 1700M hingga 2300M

Periode	<i>Longitude</i> (")	<i>Latitude</i> (")	<i>Range</i> (meter)
1700M – 1900M	0.49	0.27	313.80
1900M - 2000M	0.10	0.06	122.33
2000M – 2100M	0.10	0.07	130.79
2100M – 2300M	0.54	0.32	459.70

Analisis Root Mean Square Error (RMSE) yang terperinci dalam tabel 7 dan tabel 8, terlihat bahwa algoritma Janus memiliki tingkat akurasi yang baik dalam memprediksi posisi Bulan dari tahun 1700 M hingga 2300 M. Periode ini mencakup lebih dari lima abad dan menunjukkan bahwa algoritma ini sangat dekat dalam kesesuaiannya dengan data JPL DE-441, yang penulis anggap menjadi referensi utama

yang baik untuk menghitung data posisi Bulan yang akurat, karena dilakukan dengan pendekatan berbasis pengamatan.

Selama periode dari 1700 M hingga 1900 M, RMSE untuk bujur ekliptika adalah hanya 0.49 detik busur, untuk lintang ekliptika adalah 0.27 detik busur, dan jarak geosentris adalah 313.80 meter. Ini menandakan tingkat presisi yang sangat tinggi dalam estimasi posisi Bulan. Dari 1900 M hingga 2000 M, RMSE bahkan lebih rendah, dengan bujur ekliptika pada 0.10 detik busur, lintang ekliptika 0.06 detik busur, dan jarak geosentris 122.33 meter. Periode ini menunjukkan kemampuan algoritma Janus untuk menghasilkan prediksi yang sangat akurat, yang sangat penting bagi aplikasi seperti navigasi dan penelitian astronomi.

Peningkatan sedikit terjadi pada periode 2000 M hingga 2100 M, dengan RMSE untuk bujur dan lintang ekliptika stabil di sekitar 0.10 dan 0.07 detik busur, serta jarak geosentris naik menjadi 130.79 meter. Namun, RMSE ini masih menunjukkan akurasi yang sangat baik. Periode selanjutnya, dari 2100 M hingga 2300 M, menunjukkan peningkatan RMSE menjadi 0.54 detik busur untuk bujur, 0.32 detik busur untuk lintang, dan jarak geosentris menjadi 459.70 meter. Meskipun terjadi peningkatan RMSE, nilai-nilai ini masih mencerminkan prediksi yang baik.

Analisis ini dapat dilihat bahwa algoritma Janus mempertahankan tingkat akurasi yang sangat baik dalam prediksi posisi Bulan dari tahun 1700 M hingga 2300 M. Ini menjadikan algoritma Janus bisa digunakan untuk pendekatan dalam menghitung fenomena astronomi yang berkaitan dengan Bulan. Data ini memberikan keyakinan bahwa algoritma Janus bisa digunakan untuk melakukan prediksi jangka panjang dan bisa dijadikan sumber yang valid untuk penelitian yang memerlukan estimasi posisi bulan yang presisi.

2. Hasil Perbandingan dan Akurasi Algoritma Janus bila Dibandingkan dengan JPL-DE441 dalam Kasus Gerhana Matahari

Akurasi algoritma Janus dengan membandingkan hasil prediksi algoritma Janus dan VSOP1987 dalam memprediksi gerhana Matahari, penulis membandingkannya dengan hasil gerhana Matahari dengan menggunakan algoritma JPL DE-441. Perhitungan gerhana Matahari yang digunakan adalah gerhana Matahari global, dengan sumber dalam buku *Explanatory Supplement to The Astronomical Almanac*. Tahun yang dihitung adalah mulai tahun 500M – 700M, dengan alasan bahwa di tahun tersebut merupakan tahun awal peradaban Islam. Kemudian tahun 1700M-2300M, dengan alasan bahwa algoritma Janus memiliki presisi yang baik di tahun tersebut sesuai dengan analisa RMSE data ekliptika yang dibandingkan dengan JPL-DE441 di sub bab sebelumnya. Untuk data lengkap fenomena gerhana Matahari penulis lampirkan di lampiran. Adapun dalam menganalisis tingkat akurasi algoritma Janus adalah dengan menghitung kontak fase gerhana Matahari global berupa:

- a. P1 - Kontak Eksternal Penumbra Pertama: Momen ketika tepi luar bayangan penumbra pertama kali bersentuhan dengan permukaan Bumi, menandai awal dari gerhana sebagian.⁸³
- b. U1 - Kontak Eksternal Umbra Pertama: Momen ketika tepi luar bayangan umbra atau antumbra pertama kali bersentuhan dengan permukaan Bumi, menandai awal dari gerhana total atau cincin.⁸⁴
- c. C1 - Batas Garis Sentral Ekstrem 1: Titik awal garis sentral pada permukaan Bumi.⁸⁵
- d. U2 - Kontak Internal Umbra Pertama: Momen ketika seluruh bayangan umbra atau antumbra pertama kali jatuh sepenuhnya di Bumi.⁸⁶

⁸³ “EclipseWise - Explanation of Solar Eclipse Data Tables,” accessed January 10, 2024, <https://eclipsewise.com/solar/SEhelp/SEdatakey.html>.

⁸⁴ Ibid.

⁸⁵ Ibid.

⁸⁶ Ibid.

- e. P2 - Kontak Internal Penumbra Awal: Momen ketika seluruh bayangan penumbra pertama kali jatuh sepenuhnya di Bumi.⁸⁷
- f. Puncak - Gerhana Terbesar: Saat sumbu bayangan Bulan paling dekat dengan pusat Bumi, biasanya ditetapkan sebagai tanggal gerhana.⁸⁸
- g. P3 - Kontak Internal Penumbra Terakhir: Momen ketika seluruh bayangan penumbra terakhir kali bersentuhan dengan Bumi.⁸⁹
- h. U3 - Kontak Internal Umbra Terakhir: Momen ketika seluruh bayangan umbra atau antumbra terakhir kali bersentuhan dengan Bumi.⁹⁰
- i. C2 - Batas Garis Sentral Ekstrem 2: Titik akhir garis sentral pada permukaan Bumi.⁹¹
- j. U4 - Kontak Eksternal Umbra Terakhir: Momen ketika tepi luar bayangan umbra atau antumbra terakhir kali bersentuhan dengan permukaan Bumi, menandai akhir dari gerhana total atau cincin.⁹²
- k. P4 - Kontak Eksternal Penumbra Terakhir: Momen ketika tepi luar bayangan penumbra terakhir kali bersentuhan dengan permukaan Bumi, menandai akhir dari gerhana sebagian.⁹³

Perhitungan gerhana Matahari yang dilakukan dihitung dari tahun 500M – 700M, kemudian 1801M – 2200M. Adapun perbandingan algoritma Janus dengan JPL DE-441 bila dihitung untuk kasus Gerhana Matahari adalah sebagai berikut:

Tabel 9. Analisis RMSE Algoritma Janus Dibandingkan dengan JPL DE-441 untuk Gerhana Matahari, Periode 500M-700M dan 1800M-2300M

⁸⁷ Ibid.

⁸⁸ Ibid.

⁸⁹ Ibid.

⁹⁰ Ibid.

⁹¹ Ibid.

⁹² Ibid.

⁹³ Ibid.

Periode	Kesalahan (RMSE) dalam Detik Waktu
500M – 600M	64
600M – 700M	56
1700M – 1800M	03
1800M – 1900M	03
1900M – 2000M	03
2000M – 2100M	03
2100M – 2200M	03
2200M – 2300M	03

Tabel 9 menampilkan analisis RMSE antara algoritma Janus dan data JPL DE-441 untuk prediksi gerhana Matahari menunjukkan peningkatan yang begitu baik dalam akurasi dari periode 500M-700M ke 1800M-2300M. Pada awalnya, RMSE mencapai 64 detik pada periode 500M-600M dan turun menjadi 56 detik pada 600M-700M, menunjukkan perbaikan dalam prediksi. Kemudian, dari 1700M ke 2300M, RMSE stabil pada 3 detik. Penurunan RMSE yang drastis ini menandakan peningkatan akurasi yang begitu baik dalam algoritma Janus seiring berjalannya waktu, khususnya pada periode lebih modern.

3. Hasil Perbandingan dan Akurasi Algoritma Janus bila Dibandingkan dengan JPL-DE441 dalam Kasus Gerhana Bulan

Selain gerhana Matahari, di sini penulis juga menguji akurasi algoritma Janus dengan membandingkan hasil prediksi algoritma Janus dan VSOP1987 dalam memprediksi gerhana Bulan, penulis membandingkannya dengan hasil gerhana Bulan dengan menggunakan algoritma JPL DE-441. Untuk tahun perhitungannya sama seperti yang diuraikan pada analisa dalam kasus gerhana Matahari, yakni 500M – 700M, kemudian 1700M – 2300M. Untuk data lengkap fenomena gerhana Bulan penulis lampirkan di lampiran.

Perhitungan gerhana Bulan menggunakan sumber dalam buku *Explanatory Supplement to The Astronomical Almanac*. Adapun dalam menganalisis tingkat akurasi

algoritma Janus adalah dengan menghitung kontak fase gerhana Bulan. Fase yang dihitung adalah fase awal penumbal (P1), awal parsial (U1), awal total (U2), puncak gerhana (Max), akhir total (U3), akhir parsial (U4), dan akhir penumbal. Tahun perhitungan gerhana Bulan juga sama dengan gerhana Matahari, dihitung dari tahun 500M – 700M, kemudian 1801M – 2200M. Hasil dari pengujian RMSE dari fase kontak gerhana Bulan dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 10. Analisis RMSE Algoritma Janus Dibandingkan dengan JPL DE-441 untuk Gerhana Bulan, Periode 500M-700M dan 1800M-2300M

Periode	Kesalahan (RMSE) dalam Detik Waktu
500M – 600M	74
600M – 700M	66
1700M – 1800M	05
1800M – 1900M	02
1900M – 2000M	01
2000M – 2100M	01
2100M – 2200M	02
2200M – 2300M	02

Tabel 8 menyajikan analisis RMSE untuk prediksi gerhana bulan oleh algoritma Janus dibandingkan dengan data JPL DE-441, menunjukkan kesalahan yang signifikan dalam kesalahan prediksi dari periode awal 500M-700M ke periode 1700M-2300M. Pada awalnya, kesalahan cukup tinggi dengan 74 detik pada periode 500M-600M yang turun menjadi 66 detik pada 600M-700M, menandakan perbaikan namun tetap dengan akurasi yang terbatas. Algoritma Janus dalam memprediksi gerhana Bulan memiliki akurasi yang baik terjadi pada periode 1700M-2300M, di mana RMSE turun drastis menjadi 5 detik dan lebih rendah, mencapai titik terendah pada 1 detik selama periode 1900M-2100M, kemudian sedikit meningkat menjadi 2 detik menuju 2300M. Hasil ini menandakan keakuratan prediksi gerhana bulan oleh algoritma Janus, khususnya pada periode yang lebih modern, dengan kesalahan yang sangat minimal.

Melalui hasil perbandingan dan analisis akurasi dari algoritma Janus, bila dibandingkan dengan JPL-DE441 dalam memprediksi posisi Bulan dari koordinat ekliptika menunjukkan variasi RMSE yang signifikan selama periode dari 4000 SM hingga 8000 M. Dalam proses analisa yang dilakukan penulis, yang mengukur kesalahan dalam bujur, lintang, dan jarak geosentris, menunjukkan penurunan yang konsisten dan signifikan dalam nilai RMSE dari periode awal hingga modern. Misalnya, pada periode 4000 SM hingga 2000 SM, RMSE tercatat sebesar 0.151012 derajat untuk bujur atau 9 menit busur, yang menurun tajam menjadi hanya 0.000028 derajat atau 0.01 detik busur pada periode 1900 M hingga 2000 M, menandakan peningkatan akurasi prediksi dari algoritma Janus. Penurunan ini mencerminkan peningkatan kemampuan algoritma dalam memprediksi dengan lebih akurat dalam beberapa tahun yang mendekati tahun 2000. Namun, terjadi fluktuasi dalam nilai RMSE setelah tahun 3000M, menunjukkan bahwa dalam rentang tahun 3000M – 8000M algoritma Janus kurang begitu baik dalam memprediksi posisi Bulan.

Periode di mana algoritma Janus menunjukkan tingkat akurasi terbaik adalah antara tahun 1700M dan 2300 M, dimana RMSE untuk semua parameter mencapai nilai terendahnya, menunjukkan tingkat presisi yang sangat tinggi dalam estimasi posisi Bulan yang sangat mendekati data dari JPL DE-441. Oleh karena itu, peneliti sangat merekomendasikan penggunaan algoritma Janus untuk prediksi posisi Bulan dalam rentang waktu tersebut, terutama untuk aplikasi yang membutuhkan data prediksi yang sangat akurat seperti dalam navigasi dan penelitian astronomi.

Selain itu, algoritma Janus juga diuji dalam kasus prediksi gerhana Matahari dan Bulan. Analisis RMSE untuk prediksi gerhana Matahari antara periode 500M – 700M dan 1700M – 2300M menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam akurasi seiring waktu, dengan nilai kesalahan untuk setiap kontak gerhana Matahari dari periode 500M – 700M adalah 60 detik waktu, dan dalam periode 1700M – 2300M memiliki kesalahan 03 detik waktu.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian di atas maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Metode perhitungan posisi Bulan dengan Algoritma Janus karya Michelle Chapront Touze dan Jean Chapront merupakan sistem numerik yang sangat terstruktur dan presisi, menggabungkan teori harmonik, koreksi unsur orbit, serta penyesuaian faktor astronomis seperti nutasi, kemiringan ekliptika, dan delta T, sehingga menghasilkan data posisi Bulan yang akurat untuk prediksi fenomena seperti gerhana. Proses komputasi ini sangat relevan untuk diintegrasikan dalam perangkat lunak hisab dan penelitian astronomi modern, serta dapat diandalkan sebagai dasar penetapan waktu-waktu ibadah dalam Islam karena sejalan dengan prinsip kepastian dan kehati-hatian syariah (ihtiyath dan tahaqquq al-waqt) dalam penentuan awal bulan qamariyah dan pelaksanaan ibadah terkait fenomena astronomi.
2. Algoritma Janus karya Michelle Chapront-Touzé dan Jean Chapront menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi dalam memprediksi posisi Bulan berdasarkan koordinat ekliptika, khususnya pada periode tahun 1700 M hingga 2300 M. Nilai RMSE untuk parameter bujur, lintang, dan jarak geosentris mengalami penurunan signifikan dari periode awal seperti 4000 SM hingga mencapai nilai yang sangat kecil pada periode modern, menandakan peningkatan presisi yang lebih baik. Sebagai contoh, RMSE bujur menurun dari sekitar 0.151012 derajat (9 menit busur) pada periode 4000 SM–2000 SM menjadi hanya 0.000028 derajat (0,01 detik busur) pada periode 1900 M–2000 M. Akurasi terbaik tercapai antara tahun 1700 M–2300 M, menjadikan algoritma ini dapat direkomendasikan untuk digunakan dalam keperluan prediksi posisi Bulan dengan tingkat ketelitian tinggi seperti pada bidang navigasi dan astronomi.

B. Saran

Berdasarkan kesimpulan di atas maka saran yang dapat menjadikan ketrbaruan dalam penelitian ini adalah:

1. Untuk memperkuat keabsahan hasil hisab posisi Bulan, disarankan dilakukan studi banding secara berkala dengan algoritma terbaru lain seperti versi *development ephemeris* NASA, atau algoritma lainnya, yang telah dirilis di kemudian hari. Validasi lintas referensi ini dapat digunakan sebagai tolak ukur dan bukti keunggulan atau kekurangan algoritma Janus dalam konteks tertentu.
2. Untuk meningkatkan validitas hasil perhitungan algoritma Janus, disarankan melakukan verifikasi tingkat lanjut melalui observasi langsung di lapangan. Pengamatan posisi Bulan secara empiris menggunakan instrumen astronomi, seperti teleskop atau theodolite, dapat dibandingkan dengan hasil hisab dari kejadian gerhana atau penentuan awal bulan. Verifikasi ini akan memperkuat keakuratan sistem sekaligus membuktikan kemampuan algoritma dalam konteks penggunaan praktis di dunia nyata. Kegiatan observasi juga dapat melibatkan kolaborasi dengan lembaga observatorium atau pusat penelitian astronomi untuk mendapatkan hasil yang lebih representatif dan ilmiah.

KEPUSTAKAAN

- Abdillah, Yusrifal Fais, and Muhammad Muadz Dzulikrom. "Lunar Position Calculation Algorithm With Truncated ELP/MPP02 Series." *Al-Marshad: Jurnal Astronomi Islam dan Ilmu-Ilmu Berkaitan* 10.1, 2024.
- Akhyar, Andi Muh, Fatmawati Fatmawati, and Achmad Nasyori. "Eksplorasi Hisab Gerhana Matahari Menggunakan Algoritma Meeus." *Elfalaky: Jurnal Ilmu Falak* 5.1. 2021.
- Alwi, Bashori. "Konsep Hilal Mar'i (Analisis Terhadap Pandangan Anggota Badan Hisab Rukyat Kementrian Agama RI)", *Jurnal*, Vol.18, No.16, September 2013.
- Bashori, Muhammad Hadi. *Pengantar Ilmu Falak: Pedoman Lengkap Tentang Teori Dan Praktik Hisab, Arah Kiblat, Waktu Salat, Awal Bulan Qamariah & Gerhana*. Jakarta: Pustaka Al Kautsar, 2015.
- Chapront, J., and G. Francou. "The lunar theory ELP revisited. Introduction of new planetary perturbations." *Astronomy & Astrophysics* 404.2, 2003.
- Chapront, Jean, and Michelle Chapront-Touzé. "Lunar motion: theory and observations." *International Astronomical Union Colloquium*. Vol. 165. Cambridge University Press, 1997.
- Chapront, Jean, et al. "Notes À Propos Du Programme Janus." *Astronomy and Astrophysics* 190, 1998.
- Chapront, Jean. and Chapront-Touzé, Michelle. "Lunar motion: theory and observations." *International Astronomical Union Colloquium*. Vol. 165. Cambridge University Press, 1997.
- Chapront-Touzé, Michelle dan Chapront, Jean. "ELP 2000-85-A Semi-Analytical Lunar Ephemeris Adequate for Historical Times", *Astronomy and Astrophysics* 190, 1988.

- Chapront-Touzé, Michelle. dan Chapront, Jean. "ELP 2000-85-A Semi-Analytical Lunar Ephemeris Adequate for Historical Times", *Astronomy and Astrophysics* No. 190, 1988.
- Departemen Agama RI, Al-Hikmah: Alqur'an dan Terjemahannya. Bandung: CV Penerbit Diponegoro, 2013.
- Djam'an Satori, Aan Komariah, *Metodelogi Penulisan Kualitatif*. Bandung: Alfabeta, 2009.
- Erlianti, D., Hijeriah, E. M., Suryani, L., Wahyuni, L., Sari, N., & Hartutik, D. *Metodologi Penelitian: Teori dan Perkembangannya*. Jambi: PT. Sonpedia Publishing Indonesia, 2024.
- Fatah, Doni Abdul. "Evaluasi Usability dan Perbaikan Desain Aplikasi Mobile Menggunakan Usability Testing dengan Pendekatan Human-Centered Design (HCD)." *Rekayasa* 13. Vol.2. 2020.
- Gainau, Maryam B. *Pengantar Metode Penelitian*. Yogyakarta: PT. Kanisius, 2016.
- <http://www.encyclopedia.com/doc/1O80-AstronomicalAlmanacThe.html> (di akses pada tanggal 17 April 2022)
- Khazinur, Rohman. "Studi Komparasi Algoritma *Equation of Time* Versi Jean Meeus Dan Newcomb". Thesis-UIN Walisongo, Semarang, 2016.
- Kosim, M. Alvian, S. Restu Aji, and Muhammad Darwis. "Pengujian Usability Aplikasi Pedulilindungi Dengan Metode System Usability Scale (Sus)." *J. Sist. Inf. dan Sains Teknol* 4. Vol. 2, 2022.
- Kusuma, Abdi Pandu, and Yufron, Ahmad. "Analysis of User Acceptance Testing On A Shipping Application To Determine The Quality Of The System." *Antivirus: Jurnal Ilmiah Teknik Informatika* No. 18. Vol. 2, 2024.

- Lindquist, Joseph M., and Charles A. Sulewski. "Microsoft Excel." *Handbook of Military and Defense Operations Research* No. 2, Vol. 1, 2024.
- Maghfuri, Alfian. "Akurasi Perhitungan Gerhana Matahari dengan Data Ephemeris Hisab Rukyat." *AL-AFAQ: Jurnal Ilmu Falak Dan Astronomi* 2.1, 2020.
- Manuaba, I. B. K., Abdillah, R., Datya, A. I., Yuliyanti, S., Widiyasono, N., & Bahana, R. *Pengembangan Aplikasi Perangkat Lunak: Panduan Praktis dalam Merancang, Membangun, dan Mengelola Aplikasi*. Jambi: PT. Sonpedia Publishing Indonesia, 2023.
- Meeus, Jean. *Astronomical Algorithm 2nd Edition*. Virginia: Willmann-Bell, Inc., 1998.
- Meeus, Jean. *Astronomical Algorithms*. Mill Valley: Willmann Bell inc, 1998.
- Mukarram, Akh. *Ilmu Falak Dasar-Dasar Hisab Praktis*. Sidoarjo, 2011.
- Mukarromah, Siti Lailatul. "Implementasi data image processing BMKG untuk kriteria visibilitas hilal." *Universitas Islam Negeri Walisongo*. 2019.
- Nata, Abuddin. *Islam dan ilmu pengetahuan*. Jakarta: Prenada Media, 2018.
- Park, R. S., Folkner, W. M., Williams, J. G., & Boggs, D. H., "The JPL Planetary and Lunar Ephemerides DE440 and DE441," *The Astronomical Journal*. No. 3, Vol. 161, February 2021.
- Podomi, Jody Mulyadi, Muhammad Rifai Katili, and Budiyanto Ahaliki. "Pengembangan Sistem Informasi Pariwisata Menggunakan Metode Prototipe Berbasis Web GIS Di Dinas Pariwisata Kabupaten Bone Bolango." *Diffusion: Journal of Systems and Information Technology* No. 4, Vol. 1, 2024.

- Saputro, Budiyo. *Manajemen penelitian pengembangan (research & development) bagi penyusun tesis dan disertasi*. Yogyakarta: Aswaja Presindo, 2017.
- Satria, Dedi. *Pengantar Teknik Komputer: Konsep dan Prinsip Dasar*. Jambi: PT. Sonpedia Publishing Indonesia, 2023.
- Sean E. Urban dan P. Kenneth Seidelmann, *Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac*. Mill Valley California: University Science Books, 2012.
- Sopwan, Nopi dan Raharto, Moedji. “Karakteristik Parameter Posisi Hilal Elongasi dan Tinggi Bulan Saat Matahari Terbenam di Pelabuhan Ratu Jawa Barat”, *Jurnal Seminar Pendidikan IPA Pascasarjana UM*, Vol. 2, 2017.
- Tuhuteru, Ajuan. *Modul Ajar Ilmu Komputer Panduan Praktis Belajar Microsoft Word Dan Excel*. Indramayu: Penerbit Adab, 2021.
- Urban, Sean E., and P. Kenneth Seidelmann. “Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac”, *American Astronomical Society Meeting Abstracts*. Vol. 223, 2014.

Website

- “EclipseWise - Explanation of Solar Eclipse Data Tables,” accessed January 10, 2024, <https://eclipsewise.com/solar/SEhelp/SEdatakey.html>.
- Fred Espenak, “EclipseWise - Polynomial Expressions for Delta T,” accessed June 27, 2023, <https://eclipsewise.com/help/deltatpoly2014.html>.
- <http://www.encyclopedia.com/doc/1O80-Astronomical-Almanac-The.html> (di akses pada tanggal 17 April 2022)

Institute of Applied Astronomy Russian Academy of Science,
“Online Ephemeris Service · IAA RAS,” accessed October
17, 2024, <https://iaaras.ru/en/dept/ephemeris/online/>.

Shinobu Takesako, “Window Eclipse Simulation Software,”
accessed October 17, 2024,
https://www.kotenmon.com/cal/emapwin_eng.htm.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Yusrifal Fais Abdillah
Jenis Kelamin : Laki-laki
Tempat dan Tanggal Lahir : Jember, 20 Maret 1997
Alamat : Dusun Sawo Desa Payaman Kecamatan
Solokuro Kabupaten Lamongan
Fakultas/Prodi : Syariah dan Hukum/Magister Ilmu
Falak
NIM : 2202048039
Karya Tulis : Uji Akurasi Data Posisi Bulan
Algoritma Janus Perbandingan dengan
Data Nasa dalam Hisab Gerhana

LAMPIRAN

Lampiran 1. Coding Perhitungan VBA

Penjelasan *coding* untuk menghitung posisi Bulan dari Teori Janus dalam VBA Excel, di mana di sini terbagi menjadi empat *module*, seperti 'Astronomi', 'Matematik', 'Janus', 'Nutasi', dan 'VSOP1987' sebagai data Matahari. Untuk *Module* 'Nutasi' dan 'VSOP1987' penulis sampaikan di lampiran, mengingat akan terlalu panjang bila disampaikan dalam sub bab ini.

1. *Module* Astronomi

a. Fungsi Hari Julian

```
Public Function HariJulian(ByVal Tanggal As Integer,  
ByVal Bulan As Integer, ByVal Tahun As Integer, _  
ByVal Jam As Double, ByVal Tz As
```

```
Double) As Double
```

```
Dim M As Integer
```

```
Dim y As Integer
```

```
Dim B As Integer
```

```
Dim A As Integer
```

```
' Adjust month and year based on the month
```

```
If Bulan < 3 Then
```

```
    M = Bulan + 12
```

```
    y = Tahun - 1
```

```
Else
```

```
    M = Bulan
```

```
    y = Tahun
```

```
End If
```

```
' Determine correction factor B for Julian vs Gregorian  
calendar
```

```
If y > 1582 Or (y = 1582 And (Bulan > 10 Or (Bulan =  
10 And Tanggal >= 15))) Then
```

```
    A = Int(y / 100)
```

```
    B = 2 - A + Int(A / 4)
```

```
ElseIf y < 1582 Or (y = 1582 And (Bulan < 10 Or
(Bulan = 10 And Tanggal < 15))) Then
```

```
    B = 0
```

```
End If
```

```
' Calculate Julian Date including the time zone offset
```

```
    HariJulian = 1720994.5 + Int(365.25 * y) +
```

```
    Int(30.60001 * (M + 1)) + Tanggal + B + (Jam / 24) - (Tz
/ 24)
```

```
End Function
```

b. Fungsi Koreksi Delta T

```
Public Function DeltaTime(ByVal day As Integer, ByVal
month As Integer, ByVal year As Integer, ByVal time As
Double, ByVal timezone As Double) As Double
```

```
    Dim JD As Double
```

```
    Dim Jc As Double
```

```
    Dim y As Double
```

```
    Dim T As Double
```

```
    Dim u As Double
```

```
    Dim DeltaT As Double
```

```
' Calculate Julian Day and Julian Centuries
```

```
    JD = HariJulian(day, month, year, time, timezone)
```

```
    Jc = (JD - 2451545) / 36525
```

```
' Calculate the decimal year y for the middle of the
month
```

```
    y = 2000 + Jc * 100
```

```
If year < -500 Then
```

```
    u = (year - 1820) / 100
```

```
    DeltaT = -20 + 32 * u ^ 2
```

```
ElseIf year >= -500 And year <= 500 Then
```

```
    u = y / 100
```

```
    DeltaT = 10583.6 - 1014.41 * u + 33.78311 * u ^ 2 -
5.952053 * u ^ 3 - _
```

```

0.1798452 * u ^ 4 + 0.022174192 * u ^ 5 +
0.0090316521 * u ^ 6
    ElseIf year > 500 And year <= 1600 Then
        u = (y - 1000) / 100
        DeltaT = 1574.2 - 556.01 * u + 71.23472 * u ^ 2 +
0.319781 * u ^ 3 - _
        0.8503463 * u ^ 4 - 0.005050998 * u ^ 5 +
0.0083572073 * u ^ 6
    ElseIf year > 1600 And year <= 1700 Then
        T = y - 1600
        DeltaT = 120 - 0.9808 * T - 0.01532 * T ^ 2 + T ^ 3
/ 7129
    ElseIf year > 1700 And year <= 1800 Then
        T = y - 1700
        DeltaT = 8.83 + 0.1603 * T - 0.0059285 * T ^ 2 +
0.00013336 * T ^ 3 - T ^ 4 / 1174000
    ElseIf year > 1800 And year <= 1860 Then
        T = y - 1800
        DeltaT = 13.72 - 0.332447 * T + 0.0068612 * T ^ 2
+ 0.0041116 * T ^ 3 - _
        0.00037436 * T ^ 4 + 0.0000121272 * T ^ 5 -
0.0000001699 * T ^ 6 + 0.000000000875 * T ^ 7
    ElseIf year > 1860 And year <= 1900 Then
        T = y - 1860
        DeltaT = 7.62 + 0.5737 * T - 0.251754 * T ^ 2 +
0.01680668 * T ^ 3 - _
        0.0004473624 * T ^ 4 + T ^ 5 / 233174
    ElseIf year > 1900 And year <= 1920 Then
        T = y - 1900
        DeltaT = -2.79 + 1.494119 * T - 0.0598939 * T ^ 2
+ 0.0061966 * T ^ 3 - 0.000197 * T ^ 4
    ElseIf year > 1920 And year <= 1941 Then
        T = y - 1920
        DeltaT = 21.2 + 0.84493 * T - 0.0761 * T ^ 2 +
0.0020936 * T ^ 3
    ElseIf year > 1941 And year <= 1961 Then

```

```

        T = y - 1950
        DeltaT = 29.07 + 0.407 * T - T ^ 2 / 233 + T ^ 3 /
2547
        ElseIf year > 1961 And year <= 1986 Then
            T = y - 1975
            DeltaT = 45.45 + 1.067 * T - T ^ 2 / 260 - T ^ 3 /
718
            ElseIf year > 1986 And year <= 2005 Then
                T = y - 2000
                DeltaT = 63.86 + 0.3345 * T - 0.060374 * T ^ 2 +
0.0017275 * T ^ 3 + _
                    0.000651814 * T ^ 4 + 0.00002373599 * T ^ 5
            ElseIf year > 2005 And year <= 2015 Then
                T = y - 2005
                DeltaT = 64.69 + 0.293 * T
            ElseIf year > 2015 And year <= 3000 Then
                T = y - 2015
                DeltaT = 67.62 + 0.3645 * T + 0.0039755 * T ^ 2
            Else
                DeltaT = -20 + 32 * (y - 1820) / 100 ^ 2
            End If

```

```

        DeltaTime = DeltaT
    End Function

```

- c. Konversi Koordinat Ekliptika ke Ekuatorial
 Public Function Ecliptic2Equatorial(ByVal Lambda As
 Double, ByVal Beta As Double, ByVal Obliquity As
 Double, ByVal Opsi As String) As Variant
 Dim Deklinasi As Double
 Dim Asensiorekta As Double

```

        ' Convert angles from degrees to radians for
trigonometric functions
        Dim LambdaRad As Double
        Dim BetaRad As Double
        Dim ObliquityRad As Double

```

```

LambdaRad = Radians(Lambda)
BetaRad = Radians(Beta)
ObliquityRad = Radians(Obliquity)

```

```

' Calculate declination

```

```

Deklinasi = Degrees(Asin(Sin(ObliquityRad) *
Sin(LambdaRad) * Cos(BetaRad) + Cos(ObliquityRad) *
Sin(BetaRad)))

```

```

' Calculate right ascension

```

```

Asensiorekta = Degrees(Atan2(Cos(LambdaRad) *
Cos(BetaRad), Cos(ObliquityRad) * Sin(LambdaRad) *
Cos(BetaRad) - Sin(ObliquityRad) * Sin(BetaRad)))

```

```

' Ensure right ascension is within the range 0 to 360
degrees

```

```

Asensiorekta = Modx(Asensiorekta, 360)

```

```

' Output based on option specified

```

```

Select Case Opsi

```

```

    Case "Asensiorekta"

```

```

        Ecliptic2Equatorial = Asensiorekta

```

```

    Case "Deklinasi"

```

```

        Ecliptic2Equatorial = Deklinasi

```

```

    Case Else

```

```

        Ecliptic2Equatorial = "Pilih 'Asensiorekta' atau

```

```

'Deklinasi'"

```

```

    End Select

```

```

End Function

```

2. *Module* Matematik

- a. Fungsi Modx (Digunakan Untuk Mengembalikan Sisa Dari Suatu Pembagian)

```

Public Function Modx(ByVal Dividend As Double, _

```

```

    ByVal Divisor As Double) As Double

```

```

    Modx = Dividend - Divisor * Int(Dividend / Divisor)

```

- End Function
- b. Fungsi Radians
- ```
Public Function Radians(ByVal xDecDeg As Double) As Double
 Radians =
 Application.WorksheetFunction.Radians(xDecDeg)
End Function
```
- c. Fungsi Degrees
- ```
Public Function Degrees(ByVal xDecRad As Double) As Double
    Degrees =
    Application.WorksheetFunction.Degrees(xDecRad)
End Function
```
- d. Fungsi Atan2
- ```
Public Function Atan2(ByVal Data1 As Double, _
 ByVal Data2 As Double) As Double
 Atan2 = Application.WorksheetFunction.Atan2(Data1,
 Data2)
End Function
```
- e. Fungsi Atan
- ```
Public Function Atan(ByVal Data As Double) As Double
    Atan = Atn(Data)
End Function
```
- f. Fungsi Acos
- ```
Public Function Acos(ByVal Data As Double) As Double
 Acos = Application.WorksheetFunction.Acos(Data)
End Function
```
- g. Fungsi Asin
- ```
Public Function Asin(ByVal Data As Double) As Double
    Asin = Application.WorksheetFunction.Asin(Data)
End Function
```
- h. Fungsi Acot
- ```
Function Acot(x As Double) As Double
 ' Fungsi ini menghitung arc cotangent dari x
 ' Arc cotangent adalah kebalikan dari cotangent, yang
 bisa dihitung sebagai pi/2 - atan(x)
```

' Menambahkan kondisi untuk menghindari pembagian dengan nol

If x = 0 Then

Acot = WorksheetFunction.Pi() / 2 ' Jika x adalah 0, cotangent adalah tidak terdefinisi (tends to infinity)

Else

Acot = Atn(1 / x)

' Alternatif: Menggunakan pi/2 - atan(x) untuk memastikan konsistensi dengan definisi matematika tradisional

' Acot = WorksheetFunction.Pi() / 2 - Atn(x)

End If

End Function

- i. Fungsi Format Angka Di Belakang Koma (Mengacu Pada Proses Memformat Angka dengan Spesifikasi Jumlah Angka di Belakang Koma Desimal)

Public Function FormatAngkaDibelakangKoma(ByVal Data As Double, Optional ByVal Tipe As Integer) As String

Dim formatString As String

' Construct the format string based on the type

If Tipe = 0 Then

formatString = "0" ' Fixed format for type 0 without any decimal

Else

formatString = "0." & String(Tipe, "0") ' Append decimal places dynamically based on Tipe

End If

' Apply the generated format to the data

FormatAngkaDibelakangKoma = Format(Data, formatString)

End Function

- j. Fungsi Format Tampilan Derajat

```

Public Function Derajat(ByVal Data As Double, Optional
Type As Integer) As String
 Dim D, M As Integer
 Dim S As Double
 Dim Result As String

 ' Extract degrees, minutes, and seconds
 D = Int(Math.Abs(Data))
 M = Int((Math.Abs(Data) - D) * 60)
 S = (Math.Abs(Data) - D - M / 60) * 3600

 ' Adjust for rounding issues
 If S >= 60 Then
 S = 0
 M = M + 1
 End If
 If M >= 60 Then
 M = 0
 D = D + 1
 End If

 ' Select the format based on the type
 Select Case Type
 Case 0
 Result = Format(D, "00") & "°" & Format(M,
"00") & "'" & Format(S, "00") & """"
 Case 1
 Result = Format(D, "00") & "°" & Format(M,
"00") & "'" & Format(S, "00.00") & """"
 Case 2
 Result = Format(M, "00") & "'" & Format(S,
"00.00") & """"
 Case 3
 Result = Format(S, "00.00") & """"
 Case Else

```

```

 Result = Format(D, "00") & "°" & Format(M,
"00") & "'" & Format(S, "00") & ""
 End Select

```

```

' Prepend a negative sign if the input data is negative
If Data < 0 Then

```

```

 Derajat = "-" & Result

```

```

Else

```

```

 Derajat = " " & Result

```

```

End If

```

```

End Function

```

k. Fungsi Format Tampilan Jam

```

Public Function Jam(ByVal Data As Double, Optional
Tipe As Integer) As String

```

```

 Dim H, M As Integer

```

```

 Dim S As Double

```

```

 Dim Result As String

```

```

' Extract hours, minutes, and seconds

```

```

H = Int(Math.Abs(Data)) ' Hours

```

```

M = Int((Math.Abs(Data) - H) * 60) ' Minutes

```

```

S = (Math.Abs(Data) - H - M / 60) * 3600 ' Seconds

```

```

' Adjust for rounding issues

```

```

If S >= 60 Then

```

```

 S = 0

```

```

 M = M + 1

```

```

End If

```

```

If M >= 60 Then

```

```

 M = 0

```

```

 H = H + 1

```

```

End If

```

```

' Select the format based on the type

```

```

Select Case Tipe

```

```

 Case 0

```

```
Result = Format(H, "00") & ":" & Format(M,
"00") & ":" & Format(S, "00")
```

```
Case 1
```

```
Result = Format(H, "00") & ":" & Format(M,
"00") & ":" & Format(S, "00.00")
```

```
Case 2
```

```
Result = Format(H, "00") & "j " & Format(M,
"00") & "m " & Format(S, "00") & "d"
```

```
Case 3
```

```
Result = Format(M, "00") & "m " & Format(S,
"00.00") & "d"
```

```
Case Else
```

```
Result = Format(H, "00") & ":" & Format(M,
"00") & ":" & Format(S, "00")
```

```
End Select
```

```
' Prepend a negative sign if the input data is negative
If Data < 0 Then
```

```
 Jam = "-" & Result
```

```
Else
```

```
 Jam = " " & Result
```

```
End If
```

```
End Function
```

### 3. *Module Janus*

#### a. Fungsi Geometri Bujur Ekliptika Geosentris Janus

```
Public Function GeometricLongitude_Janus(ByVal
JDEorJD As Double) As Double
```

```
 Dim T As Double
```

```
 Dim V As Double
```

```
 Dim Sv As Double
```

```
 Dim Sv1 As Double
```

```
 Dim Sv2 As Double
```

```
 Dim Sv3 As Double
```

```
 T = (JDEorJD - 2451545) / 36525
```

'Koreksi Bujur PerTama (Sv)

$$Sv = 0$$

$$Sv = Sv + 6.28877383 * \sin(\text{Radians}(134.9634114 + 477198.8676313 * T + 0.008997 * T^2 + 0.000014348 * T^3 - 0.00000006797 * T^4))$$

$$Sv = Sv + 1.27401064 * \sin(\text{Radians}(100.736997 + 413335.3554022 * T - 0.0122571 * T^2 - 0.000010684 * T^3 + 0.00000005028 * T^4))$$

$$Sv = Sv + 0.65830943 * \sin(\text{Radians}(235.7004084 + 890534.2230335 * T - 0.0032601 * T^2 + 0.000003664 * T^3 - 0.00000001769 * T^4))$$

$$Sv = Sv + 0.21361825 * \sin(\text{Radians}(269.9268228 + 954397.7352627 * T + 0.0179941 * T^2 + 0.000028695 * T^3 - 0.00000013594 * T^4))$$

$$Sv = Sv - 0.18511586 * \sin(\text{Radians}(357.5291092 + 35999.0502909 * T - 0.0001536 * T^2 + 0.000000041 * T^3 + 0 * T^4))$$

$$Sv = Sv - 0.11433213 * \sin(\text{Radians}(186.5441986 + 966404.0350546 * T - 0.0068058 * T^2 - 0.000000567 * T^3 + 0.00000000232 * T^4))$$

$$Sv = Sv + 0.05879321 * \sin(\text{Radians}(325.7735856 - 63863.5122292 * T - 0.0212541 * T^2 - 0.000025031 * T^3 + 0.00000011826 * T^4))$$

$$Sv = Sv + 0.05706551 * \sin(\text{Radians}(103.2078878 + 377336.3051112 * T - 0.0121035 * T^2 - 0.000010724 * T^3 + 0.00000005028 * T^4))$$

$$Sv = Sv + 0.05332117 * \sin(\text{Radians}(10.6638198 + 1367733.0906648 * T + 0.005737 * T^2 + 0.000018011 * T^3 - 0.00000008566 * T^4))$$

$$Sv = Sv + 0.04575792 * \sin(\text{Radians}(238.1712992 + 854535.1727426 * T - 0.0031065 * T^2 + 0.000003623 * T^3 - 0.00000001769 * T^4))$$

$$Sv = Sv - 0.04092258 * \sin(\text{Radians}(222.5656978 - 441199.8173404 * T - 0.0091506 * T^2 - 0.000014307 * T^3 + 0.00000006797 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.03471892 * \sin(\text{Radians}(297.8502042 + 445267.1115168 * T + -0.00163 * T^2 + 0.000001832 * T^3 + -0.00000000884 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.03038341 * \sin(\text{Radians}(132.4925206 + 513197.9179223 * T + 0.0088434 * T^2 + 0.000014388 * T^3 + -0.00000006797 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.01532696 * \sin(\text{Radians}(49.1562098 + -75869.8120211 * T + 0.0035458 * T^2 + 0.000004231 * T^3 + -0.00000002001 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.01252767 * \sin(\text{Radians}(321.50761 + 1443602.9026859 * T + 0.0021912 * T^2 + 0.00001378 * T^3 + -0.00000006566 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.01098147 * \sin(\text{Radians}(308.4192127 + -489205.1674233 * T + 0.0158029 * T^2 + 0.000014915 * T^3 + -0.00000007029 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.01067495 * \sin(\text{Radians}(336.4374054 + 1303869.5784357 * T + -0.0155171 * T^2 + -0.00000702 * T^3 + 0.00000003259 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.01003439 * \sin(\text{Radians}(44.8902341 + 1431596.602894 * T + 0.0269911 * T^2 + 0.000043043 * T^3 + -0.00000020392 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00854794 * \sin(\text{Radians}(201.473994 + 826670.7108043 * T + -0.0245142 * T^2 + -0.000021367 * T^3 + 0.00000010057 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00788808 * \sin(\text{Radians}(98.2661062 + 449334.4056931 * T + -0.0124107 * T^2 + -0.000010643 * T^3 + 0.00000005028 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00676617 * \sin(\text{Radians}(233.2295176 + 926533.2733244 * T + -0.0034136 * T^2 + 0.000003705 * T^3 + -0.00000001769 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00516242 * \sin(\text{Radians}(162.8867928 + -31931.7561146 * T + -0.0106271 * T^2 + -0.000012516 * T^3 + 0.00000005913 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00498735 * \sin(\text{Radians}(295.3793134 + 481266.1618077 * T + -0.0017836 * T^2 + 0.000001873 * T^3 + -0.00000000884 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00403619 * \sin(\text{Radians}(13.1347106 + 1331734.0403739 * T + 0.0058906 * T^2 + 0.000017971 * T^3 - 0.00000008566 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00399436 * \sin(\text{Radians}(145.6272312 + 1844931.9582962 * T + 0.014734 * T^2 + 0.000032359 * T^3 - 0.00000015363 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00386085 * \sin(\text{Radians}(111.4008168 + 1781068.446067 * T - 0.0065201 * T^2 + 0.000007328 * T^3 - 0.00000003538 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00366502 * \sin(\text{Radians}(190.8101743 + -541062.3798605 * T - 0.0302511 * T^2 + -0.000039379 * T^3 + 0.00000018623 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00268863 * \sin(\text{Radians}(87.6022864 + -918398.6849717 * T - 0.0181476 * T^2 + -0.000028654 * T^3 + 0.00000013594 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00260163 * \sin(\text{Radians}(287.2811957 + 1379739.3904568 * T - 0.0190629 * T^2 + -0.000011251 * T^3 + 0.0000000526 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00239043 * \sin(\text{Radians}(328.2444765 + -99862.5625201 * T - 0.0211005 * T^2 + -0.000025072 * T^3 + 0.00000011826 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00234808 * \sin(\text{Radians}(72.8136156 + 922465.9791481 * T + 0.007367 * T^2 + 0.000016179 * T^3 - 0.00000007682 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00223616 * \sin(\text{Radians}(240.64219 + 818536.1224516 * T - 0.0029529 * T^2 + 0.000003582 * T^3 - 0.00000001769 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00211949 * \sin(\text{Radians}(267.4559319 + 990396.7855536 * T + 0.0178405 * T^2 + 0.000028736 * T^3 - 0.00000013594 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00206875 * \sin(\text{Radians}(355.0582184 + 71998.1005819 * T - 0.0003072 * T^2 + 0.000000082 * T^3 + 0 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00204755 * \sin(\text{Radians}(105.6787787 + 341337.2548203 * T - 0.0119499 * T^2 + -0.000010765 * T^3 + 0.00000005028 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.0017731 * \sin(\text{Radians}(184.1196211 + 401329.0556102 * T + 0.0125428 * T^2 + 0.000018579 * T^3 + -0.00000008798 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00159489 * \sin(\text{Radians}(62.244607 + 1856938.2580881 * T + -0.0100659 * T^2 + 0.000003097 * T^3 + -0.00000001537 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.001215 * \sin(\text{Radians}(338.9082962 + 1267870.5281447 * T + -0.0153636 * T^2 + -0.000007061 * T^3 + 0.00000003259 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00111045 * \sin(\text{Radians}(96.4710214 + 1920801.7703173 * T + 0.0111882 * T^2 + 0.000028128 * T^3 + -0.00000013363 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00089158 * \sin(\text{Radians}(38.5872012 + 858602.4669189 * T + -0.0138871 * T^2 + -0.000008852 * T^3 + 0.00000004144 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00080959 * \sin(\text{Radians}(8.192929 + 1403732.1409558 * T + 0.0055834 * T^2 + 0.000018052 * T^3 + -0.00000008566 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00075886 * \sin(\text{Radians}(203.9448849 + 790671.6605134 * T + -0.0243606 * T^2 + -0.000021408 * T^3 + 0.00000010057 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00071332 * \sin(\text{Radians}(220.094807 + -405200.7670494 * T + -0.0093042 * T^2 + -0.000014266 * T^3 + 0.00000006797 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00070033 * \sin(\text{Radians}(95.7952154 + 485333.4559841 * T + -0.0125643 * T^2 + -0.000010602 * T^3 + 0.00000005028 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00069136 * \sin(\text{Radians}(323.3026948 + -27864.4619382 * T + -0.0214077 * T^2 + -0.00002499 * T^3 + 0.00000011826 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00059613 * \sin(\text{Radians}(51.6271006 + -111868.8623121 * T + 0.0036994 * T^2 + 0.00000419 * T^3 + -0.00000002001 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00054937 * \sin(\text{Radians}(246.3642282 + 2258267.3136983 * T + 0.0024769 * T^2 + 0.000021675 * T^3 + -0.00000010335 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00053713 * \sin(\text{Radians}(179.8536455 + 1908795.4705253 * T + 0.0359881 * T^2 + 0.00005739 * T^3 - 0.00000027189 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00051966 * \sin(\text{Radians}(113.8717076 + 1745069.3957761 * T - 0.0063665 * T^2 + 0.000007287 * T^3 - 0.00000003538 * T^4))$$

$$S_v = S_v - 0.00048694 * \sin(\text{Radians}(27.9233814 + -509130.6237459 * T + -0.0196241 * T^2 + -0.000026863 * T^3 + 0.0000001271 * T^4))$$

$$S_v = S_v - 0.00039921 * \sin(\text{Radians}(46.6853189 + -39870.7617302 * T + 0.0033922 * T^2 + 0.000004272 * T^3 - 0.00000002001 * T^4))$$

$$S_v = S_v - 0.00038127 * \sin(\text{Radians}(83.3826241 + -12006.2997919 * T + 0.0247999 * T^2 + 0.000029262 * T^3 - 0.00000013826 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00035051 * \sin(\text{Radians}(70.3427248 + 958465.029439 * T + 0.0072134 * T^2 + 0.00001622 * T^3 - 0.00000007682 * T^4))$$

$$S_v = S_v - 0.00034003 * \sin(\text{Radians}(263.6237898 + 381403.5992876 * T + -0.0228841 * T^2 + -0.000023199 * T^3 + 0.00000010941 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00032968 * \sin(\text{Radians}(66.5105827 + 349471.843173 * T + -0.0335112 * T^2 + -0.000035715 * T^3 + 0.00000016854 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00032694 * \sin(\text{Radians}(148.098122 + 1808932.9080052 * T + 0.0148876 * T^2 + 0.000032318 * T^3 - 0.00000015363 * T^4))$$

$$S_v = S_v - 0.00032269 * \sin(\text{Radians}(130.0216297 + 549196.9682132 * T + 0.0086899 * T^2 + 0.000014429 * T^3 - 0.00000006797 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00029936 * \sin(\text{Radians}(160.415902 + 4067.2941764 * T + -0.0107806 * T^2 + -0.000012475 * T^3 + 0.00000005913 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00029431 * \sin(\text{Radians}(280.5906425 + 2322130.8259275 * T + 0.023731 * T^2 + 0.000046706 * T^3 - 0.00000022161 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00027506 * \sin(\text{Radians}(197.2080184 + 2334137.1257194 * T + -0.0010689 * T^2 + 0.000017444 * T^3 + -0.00000008334 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00026341 * \sin(\text{Radians}(55.8467629 + -1018261.2474918 * T + -0.0392482 * T^2 + -0.000053726 * T^3 + 0.0000002542 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.0002088 * \sin(\text{Radians}(15.6056014 + 1295734.9900829 * T + 0.0060441 * T^2 + 0.00001793 * T^3 + -0.00000008566 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00018594 * \sin(\text{Radians}(312.6388751 + -1395597.5526031 * T + -0.0271447 * T^2 + -0.000043002 * T^3 + 0.00000020392 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00017645 * \sin(\text{Radians}(333.9665146 + 1339868.6287266 * T + -0.0156707 * T^2 + -0.000006979 * T^3 + 0.00000003259 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00016222 * \sin(\text{Radians}(207.777027 + 1399664.8467794 * T + 0.016364 * T^2 + 0.000030527 * T^3 + -0.00000014479 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00016203 * \sin(\text{Radians}(111.3060056 + -521136.9235379 * T + 0.0051758 * T^2 + 0.000002399 * T^3 + -0.00000001116 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00015877 * \sin(\text{Radians}(77.1744024 + 1717204.9338378 * T + -0.0277742 * T^2 + -0.000017703 * T^3 + 0.00000008288 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00015573 * \sin(\text{Radians}(139.229387 + -1030267.5472838 * T + -0.0144483 * T^2 + -0.000024464 * T^3 + 0.00000011594 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.0001547 * \sin(\text{Radians}(300.321095 + 409268.0612258 * T + -0.0014764 * T^2 + 0.000001791 * T^3 + -0.00000000884 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00015164 * \sin(\text{Radians}(42.4193433 + 1467595.6531849 * T + 0.0268375 * T^2 + 0.000043083 * T^3 + -0.00000020392 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00014881 * \sin(\text{Radians}(152.3177843 + 902540.5228254 * T + -0.0280599 * T^2 + -0.000025598 * T^3 + 0.00000012057 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00013289 * \sin(\text{Radians}(193.2810651 + \\ -577061.4301514 * T + -0.0300976 * T^2 + - \\ 0.000039419 * T^3 + 0.00000018623 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00012605 * \sin(\text{Radians}(319.0830325 \\ + 878527.9232416 * T + 0.0215398 * T^2 + \\ 0.000032926 * T^3 + -0.00000015595 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00011839 * \sin(\text{Radians}(289.7520865 \\ + 1343740.3401658 * T + -0.0189093 * T^2 + - \\ 0.000011292 * T^3 + 0.0000000526 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00011676 * \sin(\text{Radians}(13.0883973 + \\ 1932808.0701092 * T + -0.0136117 * T^2 + - \\ 0.000001134 * T^3 + 0.00000000463 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00011483 * \sin(\text{Radians}(184.0733078 + \\ 1002403.0853456 * T + -0.0069594 * T^2 + - \\ 0.000000526 * T^3 + 0.00000000232 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00011229 * \sin(\text{Radians}(173.5506126 + \\ 1335801.3345503 * T + -0.0048901 * T^2 + \\ 0.000005496 * T^3 + -0.00000002653 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00010959 * \sin(\text{Radians}(212.1378138 + \\ 2194403.8014692 * T + -0.0187772 * T^2 + - \\ 0.000003356 * T^3 + 0.00000001491 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00010615 * \sin(\text{Radians}(64.7154979 + \\ 1820939.2077972 * T + -0.0099123 * T^2 + \\ 0.000003056 * T^3 + -0.00000001537 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00010403 * \sin(\text{Radians}(186.590512 + \\ 365330.0053193 * T + 0.0126964 * T^2 + 0.000018538 \\ * T^3 + -0.00000008798 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00009933 * \sin(\text{Radians}(199.0031032 \\ + 862669.7610953 * T + -0.0246678 * T^2 + - \\ 0.000021326 * T^3 + 0.00000010057 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00009713 * \sin(\text{Radians}(25.4524906 + \\ -473131.573455 * T + -0.0197777 * T^2 + - \\ 0.000026822 * T^3 + 0.0000001271 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00009439 * \sin(\text{Radians}(243.1130809 + \\ 782537.0721607 * T + -0.0027993 * T^2 + \\ 0.000003541 * T^3 + -0.00000001769 * T^4))$$

$$\begin{aligned}
S_v &= S_v + -0.00009129 * \sin(\text{Radians}(231.4344328 \\
&+ 2398000.6379486 * T + 0.0201853 * T^2 + \\
&0.000042475 * T^3 + -0.0000002016 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00008576 * \sin(\text{Radians}(341.3791871 + \\
&1231871.4778538 * T + -0.01521 * T^2 + -0.000007101 \\
&* T^3 + 0.00000003259 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00008376 * \sin(\text{Radians}(36.0214992 + \\
&-1407603.852395 * T + -0.0023448 * T^2 + - \\
&0.000013739 * T^3 + 0.00000006566 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00008357 * \sin(\text{Radians}(149.8932068 + \\
&337465.5433811 * T + -0.0087113 * T^2 + - \\
&0.000006453 * T^3 + 0.00000003028 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00008172 * \sin(\text{Radians}(330.7153673 + \\
&-135861.6128111 * T + -0.0209469 * T^2 + - \\
&0.000025113 * T^3 + 0.00000011826 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00008126 * \sin(\text{Radians}(302.2109911 + \\
&1240006.0662065 * T + -0.0367713 * T^2 + - \\
&0.000032051 * T^3 + 0.00000015085 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00008062 * \sin(\text{Radians}(143.1563403 \\
&+ 1880931.0085871 * T + 0.0145804 * T^2 + \\
&0.0000324 * T^3 + -0.00000015363 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00008031 * \sin(\text{Radians}(108.929926 + \\
&1817067.4963579 * T + -0.0066737 * T^2 + \\
&0.000007369 * T^3 + -0.00000003538 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00007847 * \sin(\text{Radians}(248.835119 + \\
&2222268.2634074 * T + 0.0026305 * T^2 + \\
&0.000021634 * T^3 + -0.00000010335 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00007604 * \sin(\text{Radians}(36.1163104 + \\
&894601.5172099 * T + -0.0140407 * T^2 + - \\
&0.000008811 * T^3 + 0.00000004144 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00007316 * \sin(\text{Radians}(319.0367192 + \\
&1479601.9529769 * T + 0.0020376 * T^2 + \\
&0.000013821 * T^3 + -0.00000006566 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00007064 * \sin(\text{Radians}(124.3944028 + \\
&1411671.1465714 * T + -0.0084359 * T^2 + \\
&0.000001265 * T^3 + -0.00000000653 * T^4))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_v &= S_v + -0.00007029 * \sin(\text{Radians}(347.006414 + \\
&369397.2994956 * T + 0.0019158 * T^2 + 0.000006063 \\
&* T^3 + -0.00000002885 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00006941 * \sin(\text{Radians}(320.831804 + \\
&8134.5883527 * T + -0.0215613 * T^2 + -0.000024949 \\
&* T^3 + 0.00000011826 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00006859 * \sin(\text{Radians}(108.1496695 + \\
&305338.2045293 * T + -0.0117963 * T^2 + - \\
&0.000010806 * T^3 + 0.00000005028 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00006428 * \sin(\text{Radians}(41.058092 + \\
&822603.416628 * T + -0.0137335 * T^2 + -0.000008893 \\
&* T^3 + 0.00000004144 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.0000607 * \sin(\text{Radians}(21.3276396 + \\
&2735466.1813297 * T + 0.0114739 * T^2 + \\
&0.000036023 * T^3 + -0.00000017132 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00005593 * \sin(\text{Radians}(162.9816041 \\
&+ 2270273.6134903 * T + -0.022323 * T^2 + - \\
&0.000007587 * T^3 + 0.00000003491 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00005364 * \sin(\text{Radians}(85.1313956 + \\
&-882399.6346808 * T + -0.0183012 * T^2 + - \\
&0.000028613 * T^3 + 0.00000013594 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.0000516 * \sin(\text{Radians}(230.7586268 + \\
&962532.3236154 * T + -0.0035672 * T^2 + \\
&0.000003746 * T^3 + -0.00000001769 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00004973 * \sin(\text{Radians}(274.1927984 + \\
&-553068.6796524 * T + -0.0054513 * T^2 + - \\
&0.000010116 * T^3 + 0.00000004797 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00004895 * \sin(\text{Radians}(188.3392834 + \\
&-505063.3295696 * T + -0.0304047 * T^2 + - \\
&0.000039338 * T^3 + 0.00000018623 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00004716 * \sin(\text{Radians}(28.0181927 + \\
&1793074.7458589 * T + -0.03132 * T^2 + -0.000021934 \\
&* T^3 + 0.00000010288 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00004383 * \sin(\text{Radians}(206.4157757 + \\
&754672.6102224 * T + -0.024207 * T^2 + -0.000021449 \\
&* T^3 + 0.00000010057 * T^4))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_v &= S_v + 0.00004229 * \sin(\text{Radians}(116.3425984 + \\
&1709070.3454851 * T + -0.0062129 * T^2 + \\
&0.000007246 * T^3 + -0.00000003538 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00004164 * \sin(\text{Radians}(171.0797218 + \\
&1371800.3848412 * T + -0.0050437 * T^2 + \\
&0.000005537 * T^3 + -0.00000002653 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00003788 * \sin(\text{Radians}(165.3576836 \\
&+ -67930.8064055 * T + -0.0104735 * T^2 + - \\
&0.000012556 * T^3 + 0.00000005913 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00003559 * \sin(\text{Radians}(252.9599701 \\
&+ -986329.4913773 * T + -0.0286211 * T^2 + - \\
&0.000041211 * T^3 + 0.00000019507 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00003504 * \sin(\text{Radians}(347.1012252 + \\
&2671602.6691005 * T + -0.0097802 * T^2 + \\
&0.000010992 * T^3 + -0.00000005307 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00003441 * \sin(\text{Radians}(332.1714298 \\
&+ 2811335.9933508 * T + 0.0079282 * T^2 + \\
&0.000031792 * T^3 + -0.00000015132 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00003354 * \sin(\text{Radians}(75.2845064 + \\
&886466.9288571 * T + 0.0075206 * T^2 + 0.000016139 \\
&* T^3 + -0.00000007682 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00003083 * \sin(\text{Radians}(314.8170569 + \\
&2385994.3381567 * T + 0.0449851 * T^2 + \\
&0.000071738 * T^3 + -0.00000033986 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00002815 * \sin(\text{Radians}(352.5873276 \\
&+ 107997.1508728 * T + -0.0004608 * T^2 + \\
&0.000000123 * T^3 + 0 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00002773 * \sin(\text{Radians}(68.9814735 + \\
&313472.7928821 * T + -0.0333576 * T^2 + - \\
&0.000035756 * T^3 + 0.00000016854 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00002589 * \sin(\text{Radians}(283.0615334 + \\
&2286131.7756366 * T + 0.0238846 * T^2 + \\
&0.000046666 * T^3 + -0.00000022161 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00002557 * \sin(\text{Radians}(205.3061361 + \\
&1435663.8970704 * T + 0.0162104 * T^2 + \\
&0.000030568 * T^3 + -0.00000014479 * T^4))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_v &= S_v + -0.00002543 * \sin(\text{Radians}(4.2659756 + - \\
&1507466.4149151 * T + -0.0234453 * T^2 + - \\
&0.000038811 * T^3 + 0.00000018391 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00002526 * \sin(\text{Radians}(148.0518087 + \\
&2410006.9377406 * T + -0.0046146 * T^2 + \\
&0.000013213 * T^3 + -0.00000006334 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00002509 * \sin(\text{Radians}(79.6452933 + \\
&1681205.8835469 * T + -0.0276206 * T^2 + - \\
&0.000017744 * T^3 + 0.00000008288 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00002361 * \sin(\text{Radians}(297.9450154 \\
&+ 2747472.4811216 * T + -0.0133259 * T^2 + \\
&0.000006761 * T^3 + -0.00000003306 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00002353 * \sin(\text{Radians}(181.6487303 + \\
&437328.1059012 * T + 0.0123892 * T^2 + 0.000018619 \\
&* T^3 + -0.00000008798 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00002309 * \sin(\text{Radians}(266.0946807 \\
&+ 345404.5489966 * T + -0.0227306 * T^2 + - \\
&0.00002324 * T^3 + 0.00000010941 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00002301 * \sin(\text{Radians}(305.9483219 \\
&+ -453206.1171323 * T + 0.0156493 * T^2 + \\
&0.000014956 * T^3 + -0.00000007029 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00002236 * \sin(\text{Radians}(49.1098964 + \\
&525204.2177142 * T + -0.0159564 * T^2 + - \\
&0.000014874 * T^3 + 0.00000007029 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00002228 * \sin(\text{Radians}(121.8750141 \\
&+ -1455609.2024779 * T + 0.0226087 * T^2 + \\
&0.000015482 * T^3 + -0.00000007261 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00002157 * \sin(\text{Radians}(55.5540539 + \\
&2799329.6935588 * T + 0.0327281 * T^2 + \\
&0.000061054 * T^3 + -0.00000028958 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00002088 * \sin(\text{Radians}(222.6120111 \\
&+ -1042273.8470757 * T + 0.0103516 * T^2 + \\
&0.000004798 * T^3 + -0.00000002232 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00002084 * \sin(\text{Radians}(170.9849105 + \\
&-930404.9847637 * T + 0.0066523 * T^2 + \\
&0.000000608 * T^3 + -0.00000000232 * T^4))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_v &= S_v + -0.00002048 * \sin(\text{Radians}(199.6789092 \\
&+ 2298138.0754285 * T + -0.0009153 * T^2 + \\
&0.000017403 * T^3 + -0.00000008334 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00001984 * \sin(\text{Radians}(214.6087046 + \\
&2158404.7511782 * T + -0.0186236 * T^2 + - \\
&0.000003397 * T^3 + 0.00000001491 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00001903 * \sin(\text{Radians}(280.8833515 + \\
&-1495460.1151232 * T + -0.0482452 * T^2 + - \\
&0.000068074 * T^3 + 0.00000032217 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00001873 * \sin(\text{Radians}(284.8103048 + \\
&1415738.4407477 * T + -0.0192165 * T^2 + - \\
&0.00001121 * T^3 + 0.0000000526 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00001834 * \sin(\text{Radians}(59.8200295 + \\
&1291863.2786437 * T + 0.0092828 * T^2 + \\
&0.000022243 * T^3 + -0.00000010567 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00001817 * \sin(\text{Radians}(59.7737162 + \\
&1892937.3083791 * T + -0.0102195 * T^2 + \\
&0.000003138 * T^3 + -0.00000001537 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00001809 * \sin(\text{Radians}(264.9850411 \\
&+ 1026395.8358446 * T + 0.0176869 * T^2 + \\
&0.000028777 * T^3 + -0.00000013594 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00001808 * \sin(\text{Radians}(176.0215034 + \\
&1299802.2842593 * T + -0.0047365 * T^2 + \\
&0.000005455 * T^3 + -0.00000002653 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00001789 * \sin(\text{Radians}(150.5690128 + \\
&1772933.8577143 * T + 0.0150412 * T^2 + \\
&0.000032277 * T^3 + -0.00000015363 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00001754 * \sin(\text{Radians}(54.0979914 + \\
&-147867.912603 * T + 0.0038529 * T^2 + 0.000004149 \\
&* T^3 + -0.00000002001 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00001695 * \sin(\text{Radians}(276.6636892 \\
&+ -589067.7299434 * T + -0.0052977 * T^2 + - \\
&0.000010157 * T^3 + 0.00000004797 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.0000159 * \sin(\text{Radians}(139.3241982 + \\
&1271937.8223211 * T + -0.0261442 * T^2 + - \\
&0.000019535 * T^3 + 0.00000009172 * T^4))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_v &= S_v + -0.00001579 * \text{Sin}(\text{Radians}(218.3460355 \\
&+ 465192.5678394 * T + 0.0337969 * T^2 + \\
&0.00004361 * T^3 + -0.00000020623 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00001435 * \text{Sin}(\text{Radians}(261.0580878 + \\
&-1884802.7200263 * T + -0.0113418 * T^2 + - \\
&0.000028087 * T^3 + 0.00000013363 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00001428 * \text{Sin}(\text{Radians}(217.6239162 \\
&+ -369201.7167585 * T + -0.0094578 * T^2 + - \\
&0.000014225 * T^3 + 0.00000006797 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00001408 * \text{Sin}(\text{Radians}(243.8933374 \\
&+ 2294266.3639893 * T + 0.0023233 * T^2 + \\
&0.000021716 * T^3 + -0.00000010335 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00001306 * \text{Sin}(\text{Radians}(177.6754637 \\
&+ -1872796.4202344 * T + -0.0361417 * T^2 + - \\
&0.000057349 * T^3 + 0.00000027189 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00001236 * \text{Sin}(\text{Radians}(259.3578142 + \\
&1888870.0142027 * T + 0.0005612 * T^2 + \\
&0.000015612 * T^3 + -0.0000000745 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00001234 * \text{Sin}(\text{Radians}(128.6603785 \\
&+ -95795.2683438 * T + -0.0318812 * T^2 + - \\
&0.000037547 * T^3 + 0.00000017738 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00001205 * \text{Sin}(\text{Radians}(94.0001306 + \\
&1956800.8206082 * T + 0.0110346 * T^2 + \\
&0.000028169 * T^3 + -0.00000013363 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00001196 * \text{Sin}(\text{Radians}(302.7919858 + \\
&373269.0109349 * T + -0.0013229 * T^2 + 0.00000175 \\
&* T^3 + -0.00000000884 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00001164 * \text{Sin}(\text{Radians}(261.152899 + \\
&417402.6495785 * T + -0.0230377 * T^2 + - \\
&0.000023158 * T^3 + 0.00000010941 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00001132 * \text{Sin}(\text{Radians}(342.7404383 \\
&+ 1876863.7144108 * T + 0.0253611 * T^2 + \\
&0.000044874 * T^3 + -0.00000021276 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00001114 * \text{Sin}(\text{Radians}(246.2694169 \\
&+ -43938.0559065 * T + 0.0141728 * T^2 + \\
&0.000016747 * T^3 + -0.00000007913 * T^4))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_v &= S_v + -0.00001102 * \sin(\text{Radians}(292.9084226 \\
&+ 517265.2120986 * T + -0.0019372 * T^2 + \\
&0.000001914 * T^3 + -0.00000000884 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00001096 * \sin(\text{Radians}(177.3827547 \\
&+ 1944794.5208163 * T + 0.0358345 * T^2 + \\
&0.000057431 * T^3 + -0.00000027189 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00001083 * \sin(\text{Radians}(304.6818819 + \\
&1204007.0159156 * T + -0.0366177 * T^2 + - \\
&0.000032092 * T^3 + 0.00000015085 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00000996 * \sin(\text{Radians}(121.923512 + \\
&1447670.1968623 * T + -0.0085894 * T^2 + \\
&0.000001306 * T^3 + -0.00000000653 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00000976 * \sin(\text{Radians}(196.5322124 \\
&+ 898668.8113862 * T + -0.0248213 * T^2 + - \\
&0.000021286 * T^3 + 0.00000010057 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00000927 * \sin(\text{Radians}(94.0464439 + \\
&1355726.7908729 * T + 0.0305369 * T^2 + \\
&0.000047274 * T^3 + -0.00000022392 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00000917 * \sin(\text{Radians}(18.0764922 + \\
&1259735.939792 * T + 0.0061977 * T^2 + 0.000017889 \\
&* T^3 + -0.00000008566 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00000909 * \sin(\text{Radians}(23.7985304 + \\
&2699467.1310387 * T + 0.0116275 * T^2 + \\
&0.000035982 * T^3 + -0.00000017132 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00000828 * \sin(\text{Radians}(212.0430026 \\
&+ -107801.5681357 * T + -0.0070813 * T^2 + - \\
&0.000008284 * T^3 + 0.00000003912 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00000819 * \sin(\text{Radians}(58.3176537 + \\
&-1054260.2977828 * T + -0.0390946 * T^2 + - \\
&0.000053767 * T^3 + 0.0000002542 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00000802 * \sin(\text{Radians}(321.5539233 \\
&+ 842528.8729506 * T + 0.0216934 * T^2 + \\
&0.000032885 * T^3 + -0.00000015595 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00000779 * \sin(\text{Radians}(141.7002778 \\
&+ -1066266.5975747 * T + -0.0142947 * T^2 + - \\
&0.000024505 * T^3 + 0.00000011594 * T^4))
\end{aligned}$$

$$S_v = S_v + 0.00000745 * \sin(\text{Radians}(64.0396919 + 385470.8934639 * T - 0.0336648 * T^2 + -0.000035674 * T^3 + 0.00000016854 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00000744 * \sin(\text{Radians}(80.9117333 + 23992.750499 * T + 0.0246463 * T^2 + 0.000029303 * T^3 + -0.00000013826 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00000743 * \sin(\text{Radians}(278.1197517 + 2358129.8762184 * T + 0.0235774 * T^2 + 0.000046747 * T^3 + -0.00000022161 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00000723 * \sin(\text{Radians}(6.3978442 + 2875199.5055799 * T + 0.0291823 * T^2 + 0.000056823 * T^3 + -0.00000026957 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00000697 * \sin(\text{Radians}(349.572116 + 2635603.6188096 * T + -0.0096266 * T^2 + 0.000010951 * T^3 + -0.00000005307 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00000675 * \sin(\text{Radians}(274.1464851 + 48005.3500829 * T + -0.0249535 * T^2 + -0.000029221 * T^3 + 0.00000013826 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.0000067 * \sin(\text{Radians}(251.3060098 + 2186269.2131164 * T + 0.0027841 * T^2 + 0.000021594 * T^3 + -0.00000010335 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00000664 * \sin(\text{Radians}(284.8566182 + 814664.4110124 * T + 0.0002857 * T^2 + 0.000007895 * T^3 + -0.00000003769 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00000661 * \sin(\text{Radians}(336.3425942 + -998335.7911692 * T + -0.0038212 * T^2 + -0.000011948 * T^3 + 0.00000005681 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00000653 * \sin(\text{Radians}(44.2144281 + -3871.7114392 * T + 0.0032386 * T^2 + 0.000004313 * T^3 + -0.00000002001 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00000638 * \sin(\text{Radians}(250.4890792 + -950330.4410863 * T + -0.0287747 * T^2 + -0.00004117 * T^3 + 0.00000019507 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00000636 * \sin(\text{Radians}(152.3640976 + 301466.4930901 * T + -0.0085577 * T^2 + -0.000006493 * T^3 + 0.00000003028 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00000635 * \sin(\text{Radians}(122.0646366 + 3148801.5367318 * T - 0.0007831 * T^2 + 0.000025339 * T^3 - 0.00000012104 * T^4))$$

$$S_v = S_v - 0.00000631 * \sin(\text{Radians}(165.4524949 + 2234274.5631993 * T - 0.0221694 * T^2 + - 0.000007628 * T^3 + 0.00000003491 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00000623 * \sin(\text{Radians}(306.0431332 + 1848999.2524725 * T + 0.0039534 * T^2 + 0.000019884 * T^3 - 0.00000009451 * T^4))$$

$$S_v = S_v - 0.00000603 * \sin(\text{Radians}(331.4956238 + 1375867.6790176 * T - 0.0158243 * T^2 + - 0.000006938 * T^3 + 0.00000003259 * T^4))$$

$$S_v = S_v - 0.00000599 * \sin(\text{Radians}(154.7886751 + 866541.4725345 * T - 0.0279064 * T^2 + - 0.000025639 * T^3 + 0.00000012057 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00000597 * \sin(\text{Radians}(156.2910509 + 3212665.048961 * T + 0.020471 * T^2 + 0.00005037 * T^3 - 0.00000023929 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00000554 * \sin(\text{Radians}(113.8253943 + 2346143.4255114 * T - 0.0258688 * T^2 + - 0.000011818 * T^3 + 0.00000005492 * T^4))$$

$$S_v = S_v - 0.00000541 * \sin(\text{Radians}(349.4773048 + 333398.2492047 * T + 0.0020693 * T^2 + 0.000006022 * T^3 - 0.00000002885 * T^4))$$

$$S_v = S_v - 0.00000521 * \sin(\text{Radians}(147.422316 + 373464.593672 * T - 0.0088649 * T^2 + - 0.000006412 * T^3 + 0.00000003028 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00000505 * \sin(\text{Radians}(53.3758721 + -982262.1972009 * T - 0.0394018 * T^2 + - 0.000053685 * T^3 + 0.0000002542 * T^4))$$

$$S_v = S_v - 0.00000504 * \sin(\text{Radians}(67.1863887 + 1784940.1575062 * T - 0.0097587 * T^2 + 0.000003015 * T^3 - 0.00000001537 * T^4))$$

$$S_v = S_v - 0.00000499 * \sin(\text{Radians}(127.5507389 + 585196.0185042 * T + 0.0085363 * T^2 + 0.00001447 * T^3 - 0.00000006797 * T^4))$$

$$\begin{aligned}
S_v &= S_v + -0.00000495 * \sin(\text{Radians}(72.9084268 + \\
&3224671.3487529 * T + -0.0043289 * T^2 + \\
&0.000021108 * T^3 + -0.00000010103 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00000484 * \sin(\text{Radians}(343.8500779 + \\
&1195872.4275628 * T + -0.0150564 * T^2 + - \\
&0.000007142 * T^3 + 0.00000003259 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00000468 * \sin(\text{Radians}(4.3607869 + \\
&794738.9546898 * T + -0.0351412 * T^2 + - \\
&0.000033883 * T^3 + 0.00000015969 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00000457 * \sin(\text{Radians}(189.0614028 \\
&+ 329330.9550283 * T + 0.01285 * T^2 + 0.000018497 \\
&* T^3 + -0.00000008798 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00000446 * \sin(\text{Radians}(194.7371276 + \\
&2370136.1760104 * T + -0.0012224 * T^2 + \\
&0.000017485 * T^3 + -0.00000008334 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00000444 * \sin(\text{Radians}(349.4309915 + \\
&934472.27894 * T + -0.0174329 * T^2 + -0.000013083 \\
&* T^3 + 0.00000006144 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00000429 * \sin(\text{Radians}(195.7519559 + \\
&-613060.4804424 * T + -0.029944 * T^2 + -0.00003946 \\
&* T^3 + 0.00000018623 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00000428 * \sin(\text{Radians}(292.2229773 \\
&+ 1307741.2898749 * T + -0.0187558 * T^2 + - \\
&0.000011333 * T^3 + 0.0000000526 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00000426 * \sin(\text{Radians}(30.4890835 + \\
&1757075.695568 * T + -0.0311664 * T^2 + - \\
&0.000021975 * T^3 + 0.00000010288 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00000421 * \sin(\text{Radians}(310.1679842 \\
&+ -1359598.5023121 * T + -0.0272983 * T^2 + - \\
&0.000042961 * T^3 + 0.00000020392 * T^4)) \\
S_v &= S_v + -0.00000412 * \sin(\text{Radians}(210.2479178 \\
&+ 1363665.7964885 * T + 0.0165176 * T^2 + \\
&0.000030486 * T^3 + -0.00000014479 * T^4)) \\
S_v &= S_v + 0.00000382 * \sin(\text{Radians}(167.2475797 + \\
&762807.1985752 * T + -0.0457683 * T^2 + - \\
&0.000046398 * T^3 + 0.00000021882 * T^4))
\end{aligned}$$

$$S_v = S_v + 0.00000381 * \sin(\text{Radians}(248.7888057 + 2823342.2931427 * T - 0.0168717 * T^2 + 0.000002529 * T^3 - 0.00000001306 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00000375 * \sin(\text{Radians}(274.2876096 + 1749136.6899524 * T - 0.0171472 * T^2 + -0.000005188 * T^3 + 0.00000002375 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00000373 * \sin(\text{Radians}(5.7220381 + 1439731.1912467 * T + 0.0054298 * T^2 + 0.000018093 * T^3 - 0.00000008566 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.0000037 * \sin(\text{Radians}(107.1348412 + 3288534.8609821 * T + 0.0169252 * T^2 + 0.000046139 * T^3 - 0.00000021929 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.0000037 * \sin(\text{Radians}(245.5839717 + 746538.0218697 * T - 0.0026457 * T^2 + 0.000003501 * T^3 - 0.00000001769 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.0000036 * \sin(\text{Radians}(283.01522 + 2887205.8053719 * T + 0.0043824 * T^2 + 0.000027561 * T^3 - 0.00000013131 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00000356 * \sin(\text{Radians}(74.7035116 + 1753203.9841288 * T - 0.0279278 * T^2 + -0.000017663 * T^3 + 0.00000008288 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00000356 * \sin(\text{Radians}(113.7768964 + -557135.9738288 * T + 0.0053294 * T^2 + 0.000002358 * T^3 - 0.00000001116 * T^4))$$

$$S_v = S_v + 0.00000338 * \sin(\text{Radians}(225.1313999 + 1825006.5019735 * T - 0.0206929 * T^2 + -0.000009419 * T^3 + 0.00000004376 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00000328 * \sin(\text{Radians}(43.5289829 + 786604.366337 * T - 0.0135799 * T^2 + -0.000008933 * T^3 + 0.00000004144 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00000309 * \sin(\text{Radians}(300.4159063 + 2711473.4308307 * T - 0.0131724 * T^2 + 0.00000672 * T^3 - 0.00000003306 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00000299 * \sin(\text{Radians}(229.3025643 + -1984665.2825464 * T - 0.0324423 * T^2 + -0.000053159 * T^3 + 0.00000025188 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00000296 * \sin(\text{Radians}(209.666923 + 2230402.8517601 * T + -0.0189308 * T^2 + -0.000003315 * T^3 + 0.00000001491 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.00000295 * \sin(\text{Radians}(121.9698253 + 846596.167127 * T + 0.0109128 * T^2 + 0.000020411 * T^3 + -0.00000009682 * T^4))$$

$$S_v = S_v + -0.0000028 * \sin(\text{Radians}(334.6423206 + 2775336.9430598 * T + 0.0080817 * T^2 + 0.000031751 * T^3 + -0.00000015132 * T^4))$$

'Koreksi Bujur Pertama (Sv')

$$S_{v1} = S_{v1} + 3.95801 * \sin(\text{Radians}(119.7524 + 131.8489 * T))$$

$$S_{v1} = S_{v1} + 1.96196 * \sin(\text{Radians}(125.0455 + -1934.1362 * T))$$

$$S_{v1} = S_{v1} + -0.31752 * \sin(\text{Radians}(233.0867 + 479264.2898 * T))$$

$$S_{v1} = S_{v1} + 0.25032 * \sin(\text{Radians}(107.4411 + -20.1862 * T))$$

$$S_{v1} = S_{v1} + -0.22821 * \sin(\text{Radians}(81.5232 + 22518.4428 * T))$$

$$S_{v1} = S_{v1} + 0.21892 * \sin(\text{Radians}(344.7896 + -477067.0188 * T))$$

$$S_{v1} = S_{v1} + 0.20536 * \sin(\text{Radians}(254.7188 + 477330.7165 * T))$$

$$S_{v1} = S_{v1} + -0.17881 * \sin(\text{Radians}(345.2585 + 480890.6839 * T))$$

$$S_{v1} = S_{v1} + 0.17744 * \sin(\text{Radians}(67.3439 + 32964.4672 * T))$$

$$S_{v1} = S_{v1} + 0.1565 * \sin(\text{Radians}(276.7408 + -18.8294 * T))$$

$$S_{v1} = S_{v1} + 0.13703 * \sin(\text{Radians}(260.0092 + 475264.7314 * T))$$

$$S_{v1} = S_{v1} + 0.1365 * \sin(\text{Radians}(350.0824 + -479133.0038 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.1237 * \sin(\text{Radians}(208.6855 + 476229.3841 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.10017 * \sin(\text{Radians}(311.5895 + 964469.8989 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.09543 * \sin(\text{Radians}(152.5142 + 9037.5128 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.09015 * \sin(\text{Radians}(67.7377 + -2281.2258 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.08376 * \sin(\text{Radians}(163.2312 + 45036.8856 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.08038 * \sin(\text{Radians}(220.1798 + -1935.5332 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.07856 * \sin(\text{Radians}(73.6904 + -969.4835 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.0681 * \sin(\text{Radians}(98.0899 + 2065.4221 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.06292 * \sin(\text{Radians}(205.5247 + 150.6783 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.05866 * \sin(\text{Radians}(327.1213 + -380370.8882 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.05401 * \sin(\text{Radians}(209.8312 + 33718.147 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.05127 * \sin(\text{Radians}(132.666 + 65928.9344 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.05071 * \sin(\text{Radians}(357.251 + -411269.9333 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.04864 * \sin(\text{Radians}(55.0668 + 31555.9556 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.04745 * \sin(\text{Radians}(331.4784 + -477219.0538 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.04745 * \sin(\text{Radians}(241.4051 + 477178.6814 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.04642 * \sin(\text{Radians}(19.0127 + -413203.5065 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.04583 * \sin(\text{Radians}(192.2174 + -857569.7559 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.04567 * \sin(\text{Radians}(244.0516 + -890402.3742 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.04563 * \sin(\text{Radians}(332.7695 + 29929.5615 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.04549 * \sin(\text{Radians}(166.0821 + -40.7576 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.04528 * \sin(\text{Radians}(355.4532 + 890666.0719 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.04469 * \sin(\text{Radians}(62.6015 + -368298.4698 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.04364 * \sin(\text{Radians}(220.4891 + 413467.2043 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.04264 * \sin(\text{Radians}(306.5588 + -454680.4248 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.03985 * \sin(\text{Radians}(292.3874 + -444234.4005 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.03881 * \sin(\text{Radians}(209.3049 + 413315.1692 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.03878 * \sin(\text{Radians}(7.8292 + -413355.5416 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.03776 * \sin(\text{Radians}(263.7613 + 458372.241 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.03731 * \sin(\text{Radians}(287.6929 + -845497.3374 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.03645 * \sin(\text{Radians}(340.7607 + -390816.9126 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.03534 * \sin(\text{Radians}(216.4919 + 499717.3105 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.03483 * \sin(\text{Radians}(109.6971 + -409643.5392 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.03054 * \sin(\text{Radians}(202.1901 + 510163.3348 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.02959 * \sin(\text{Radians}(260.8658 + 1034.1282 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.02914 * \sin(\text{Radians}(317.9851 + 282.5272 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.02885 * \sin(\text{Radians}(217.3033 + -375.8005 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.02756 * \sin(\text{Radians}(205.7945 + -868015.7802 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.02678 * \sin(\text{Radians}(0.7459 + 888600.0868 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.02644 * \sin(\text{Radians}(333.0947 + -414304.8389 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.02549 * \sin(\text{Radians}(159.3389 + -4562.4516 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.02503 * \sin(\text{Radians}(343.8472 + 890514.0368 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.02501 * \sin(\text{Radians}(232.4432 + -890554.4092 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.02475 * \sin(\text{Radians}(32.354 + -347406.421 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.02398 * \sin(\text{Radians}(321.0478 + 3034.9057 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.02336 * \sin(\text{Radians}(257.4887 + -824605.2887 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.02299 * \sin(\text{Radians}(28.1371 + -4443.4172 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.02288 * \sin(\text{Radians}(66.8002 + 503409.1267 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.0213 * \sin(\text{Radians}(16.1068 + 476447.2666 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.02 * \sin(\text{Radians}(210.3553 + 3691.8162 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.01906 * \sin(\text{Radians}(8.0621 + 956463.1574 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.01896 * \sin(\text{Radians}(299.7687 + 477158.11 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.01896 * \sin(\text{Radians}(29.8392 + -477239.6253 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.01864 * \sin(\text{Radians}(4.6743 + 478231.5787 * T))$$

$$\begin{aligned}
Sv1 &= Sv1 + 0.01825 * \sin(\text{Radians}(249.3451 + -892468.3592 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + 0.01809 * \sin(\text{Radians}(352.2098 + 476823.0671 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + 0.01793 * \sin(\text{Radians}(225.782 + 411401.2192 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + 0.01779 * \sin(\text{Radians}(198.0425 + 474917.6418 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + -0.01769 * \sin(\text{Radians}(179.1666 + 345.6927 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + 0.01756 * \sin(\text{Radians}(287.94 + -479480.0934 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + -0.01735 * \sin(\text{Radians}(355.1425 + 475263.3345 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + 0.01719 * \sin(\text{Radians}(233.3895 + -404297.8426 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + -0.01715 * \sin(\text{Radians}(85.2157 + -479134.4008 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + -0.01709 * \sin(\text{Radians}(46.721 + 964468.5019 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + -0.01675 * \sin(\text{Radians}(16.2933 + -468161.3548 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + -0.01652 * \sin(\text{Radians}(241.0476 + -751.601 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + 0.01648 * \sin(\text{Radians}(100.8137 + 413335.3554 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + 0.0164 * \sin(\text{Radians}(108.1981 + -379617.2084 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + 0.01599 * \sin(\text{Radians}(293.4239 + -410300.4497 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + 0.01565 * \sin(\text{Radians}(28.4618 + -432161.982 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + -0.01539 * \sin(\text{Radians}(286.0924 + 486236.3804 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + 0.01487 * \sin(\text{Radians}(209.8262 + -954265.8864 * T))
\end{aligned}$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.01465 * \sin(\text{Radians}(131.2257 + 416370.2611 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.01464 * \sin(\text{Radians}(268.5523 + 723.0292 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.01435 * \sin(\text{Radians}(108.3144 + 62894.0287 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.01419 * \sin(\text{Radians}(167.4312 + 446299.8226 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.01409 * \sin(\text{Radians}(298.1469 + 522235.7533 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.01399 * \sin(\text{Radians}(176.6259 + 487271.0312 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.01395 * \sin(\text{Radians}(29.6822 + 954529.5841 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.01378 * \sin(\text{Radians}(24.3078 + -415269.4916 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.01318 * \sin(\text{Radians}(75.8891 + 73935.6758 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.01296 * \sin(\text{Radians}(289.7534 + 31436.9212 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.01295 * \sin(\text{Radians}(313.943 + -381779.3998 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.01285 * \sin(\text{Radians}(326.1242 + 90073.7713 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.01281 * \sin(\text{Radians}(332.9457 + -856816.076 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.01269 * \sin(\text{Radians}(237.0206 + -383405.7939 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.01244 * \sin(\text{Radians}(264.7626 + -13480.93 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.01206 * \sin(\text{Radians}(243.6398 + 67555.3285 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.01189 * \sin(\text{Radians}(242.202 + 478490.4237 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.01189 * \sin(\text{Radians}(308.1364 + -901.405 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.01171 * \sin(\text{Radians}(98.2408 + -881496.7102 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.0117 * \sin(\text{Radians}(74.6193 + -443480.7206 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.01124 * \sin(\text{Radians}(194.3722 + -474163.962 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.01122 * \sin(\text{Radians}(102.986 + 480233.7733 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.01115 * \sin(\text{Radians}(184.92 + 14577.8477 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.01096 * \sin(\text{Radians}(280.2841 + -445642.912 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.01083 * \sin(\text{Radians}(50.8219 + 34777.2591 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.01077 * \sin(\text{Radians}(68.2574 + -477048.1893 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.01077 * \sin(\text{Radians}(107.0457 + -413184.6771 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.01076 * \sin(\text{Radians}(338.1832 + 477349.5459 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.01069 * \sin(\text{Radians}(308.4809 + 413486.0337 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.01066 * \sin(\text{Radians}(86.5529 + 1441668.7665 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.0105 * \sin(\text{Radians}(197.8017 + -447269.3061 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.01044 * \sin(\text{Radians}(148.3767 + 525927.5695 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.01019 * \sin(\text{Radians}(178.9306 + -858978.2674 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.01011 * \sin(\text{Radians}(250.0891 + -3868.2724 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00987 * \sin(\text{Radians}(38.7138 + 935571.1087 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00986 * \sin(\text{Radians}(172.2981 + 411054.1296 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00969 * \sin(\text{Radians}(247.7974 + 883.4499 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00965 * \sin(\text{Radians}(102.0911 + -860604.6615 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00959 * \sin(\text{Radians}(74.3154 + 422372.8682 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00945 * \sin(\text{Radians}(34.9726 + 952463.5991 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00927 * \sin(\text{Radians}(267.6026 + 543127.802 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00921 * \sin(\text{Radians}(322.413 + 476209.1979 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00919 * \sin(\text{Radians}(153.7856 + -887499.3174 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00918 * \sin(\text{Radians}(47.5953 + 112592.2141 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00911 * \sin(\text{Radians}(215.119 + -956331.8714 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00905 * \sin(\text{Radians}(345.1009 + 510917.0147 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00901 * \sin(\text{Radians}(152.6384 + 119.0344 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00899 * \sin(\text{Radians}(136.7609 + -4311.5684 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00887 * \sin(\text{Radians}(329.7828 + -415616.5812 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00882 * \sin(\text{Radians}(343.6647 + 953428.2517 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00864 * \sin(\text{Radians}(302.2493 + 923498.6902 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00864 * \sin(\text{Radians}(51.4327 + 477180.0382 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00859 * \sin(\text{Radians}(141.5781 + -477217.6971 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00842 * \sin(\text{Radians}(120.1832 + 958089.5515 * T))$$

$$\begin{aligned}
Sv1 &= Sv1 + -0.0082 * \sin(\text{Radians}(237.7231 + 467409.7538 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + -0.00812 * \sin(\text{Radians}(112.1146 + -916.7043 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + 0.00809 * \sin(\text{Radians}(190.1237 + 508754.8232 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + 0.00802 * \sin(\text{Radians}(108.2246 + 507128.4291 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + 0.00791 * \sin(\text{Radians}(256.3206 + 893569.1287 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + -0.00781 * \sin(\text{Radians}(306.2968 + 966535.8839 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + -0.00781 * \sin(\text{Radians}(293.2084 + -966272.1862 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + -0.00725 * \sin(\text{Radians}(127.5416 + 890.4929 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + 0.00719 * \sin(\text{Radians}(108.3337 + 18075.0256 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + 0.00706 * \sin(\text{Radians}(54.8679 + 1099.3725 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + 0.00698 * \sin(\text{Radians}(269.2193 + -3559.9674 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + 0.00698 * \sin(\text{Radians}(305.4979 + 888252.9972 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + -0.00672 * \sin(\text{Radians}(331.4909 + -890383.5447 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + -0.00665 * \sin(\text{Radians}(82.6978 + 890684.9013 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + 0.00649 * \sin(\text{Radians}(229.6991 + 1032.7111 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + 0.00643 * \sin(\text{Radians}(302.019 + 26894.6558 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + 0.00639 * \sin(\text{Radians}(192.1289 + -892815.4488 * T)) \\
Sv1 &= Sv1 + 0.00639 * \sin(\text{Radians}(131.2943 + 408891.9382 * T))
\end{aligned}$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00638 * \sin(\text{Radians}(176.4029 + 4594.0955 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.0063 * \sin(\text{Radians}(319.7186 + 489928.1967 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00629 * \sin(\text{Radians}(129.1018 + 135110.6569 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00611 * \sin(\text{Radians}(317.2284 + 913052.6659 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00603 * \sin(\text{Radians}(28.2471 + 899571.7358 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00602 * \sin(\text{Radians}(292.7999 + 512228.7569 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00588 * \sin(\text{Radians}(229.8628 + 548446.0123 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00562 * \sin(\text{Radians}(187.4625 + -989.6698 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00558 * \sin(\text{Radians}(265.0368 + 12296.6219 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00558 * \sin(\text{Radians}(162.7825 + 480771.6495 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00555 * \sin(\text{Radians}(109.0887 + -1367601.2418 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00541 * \sin(\text{Radians}(130.4185 + 1367864.9395 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00533 * \sin(\text{Radians}(288.753 + -417778.7726 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00528 * \sin(\text{Radians}(130.2916 + 1222.1138 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.0052 * \sin(\text{Radians}(201.5485 + 482889.8735 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00511 * \sin(\text{Radians}(232.3856 + -827640.1943 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00505 * \sin(\text{Radians}(74.2115 + 443264.9169 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00504 * \sin(\text{Radians}(7.4393 + -350441.3267 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00503 * \sin(\text{Radians}(40.4796 + 2658.5624 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00502 * \sin(\text{Radians}(176.6101 + -55.3705 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00492 * \sin(\text{Radians}(292.204 + 472636.416 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00476 * \sin(\text{Radians}(22.0617 + -481761.3192 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00475 * \sin(\text{Radians}(358.0099 + 413335.7406 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00475 * \sin(\text{Radians}(156.5359 + -413334.9702 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00472 * \sin(\text{Radians}(15.8504 + 35999.3729 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00471 * \sin(\text{Radians}(344.4315 + 35958.6152 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00467 * \sin(\text{Radians}(107.1891 + 1291.5561 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00465 * \sin(\text{Radians}(240.1422 + -6843.6774 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00457 * \sin(\text{Radians}(15.2599 + -821570.383 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00441 * \sin(\text{Radians}(76.7419 + 68963.84 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.0044 * \sin(\text{Radians}(235.8003 + 890534.223 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.0043 * \sin(\text{Radians}(210.5793 + 157629.0998 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00427 * \sin(\text{Radians}(150.6765 + -344371.5154 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00417 * \sin(\text{Radians}(11.6614 + -822978.8946 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00416 * \sin(\text{Radians}(157.2343 + 472755.4504 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00414 * \sin(\text{Radians}(298.5012 + -968338.1712 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00413 * \sin(\text{Radians}(146.469 + -345780.0269 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00408 * \sin(\text{Radians}(65.9504 + 507.6494 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00405 * \sin(\text{Radians}(264.2128 + 58517.8157 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00404 * \sin(\text{Radians}(57.4162 + -1334768.6235 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00404 * \sin(\text{Radians}(317.7457 + 50577.2206 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.004 * \sin(\text{Radians}(140.3136 + -414086.9564 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00398 * \sin(\text{Radians}(222.2885 + -888468.8009 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00398 * \sin(\text{Radians}(187.605 + -381898.4342 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00396 * \sin(\text{Radians}(93.8066 + -494.8349 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00396 * \sin(\text{Radians}(265.8063 + 886090.8058 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00395 * \sin(\text{Radians}(246.7109 + -481642.2849 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00392 * \sin(\text{Radians}(10.4835 + 29155.6954 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00391 * \sin(\text{Radians}(277.6611 + 413294.5978 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00389 * \sin(\text{Radians}(76.2913 + -413376.113 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00374 * \sin(\text{Radians}(104.8851 + -809497.9645 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00365 * \sin(\text{Radians}(311.2549 + 447053.5024 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00364 * \sin(\text{Radians}(184.0244 + 473194.4784 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00361 * \sin(\text{Radians}(214.5674 + 482299.1954 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00359 * \sin(\text{Radians}(182.1301 + 435853.7982 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00358 * \sin(\text{Radians}(311.382 + 570964.4552 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00357 * \sin(\text{Radians}(263.348 + 408772.9038 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00347 * \sin(\text{Radians}(284.2064 + 658.3277 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00343 * \sin(\text{Radians}(135.7094 + 1365798.9545 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00341 * \sin(\text{Radians}(333.8327 + 892599.6452 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00338 * \sin(\text{Radians}(19.3837 + 467785.5543 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00336 * \sin(\text{Radians}(310.3369 + -378558.0963 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00334 * \sin(\text{Radians}(239.8963 + -332299.0969 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00334 * \sin(\text{Radians}(148.1926 + 478985.2586 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00333 * \sin(\text{Radians}(116.5731 + -413711.1559 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00329 * \sin(\text{Radians}(156.8717 + -8005.3445 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00323 * \sin(\text{Radians}(16.3707 + 954377.5491 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00323 * \sin(\text{Radians}(196.5165 + -954417.9215 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00317 * \sin(\text{Radians}(241.5814 + -854403.0013 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00316 * \sin(\text{Radians}(177.8587 + 854666.699 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00313 * \sin(\text{Radians}(228.7494 + 476704.0328 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00313 * \sin(\text{Radians}(115.0271 + 252.6303 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00311 * \sin(\text{Radians}(110.7851 + -36019.5591 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00311 * \sin(\text{Radians}(152.8097 + -1322696.205 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00305 * \sin(\text{Radians}(345.2793 + 10015.3961 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00305 * \sin(\text{Radians}(52.2577 + -859097.3018 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00304 * \sin(\text{Radians}(285.8675 + 33555.1453 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00304 * \sin(\text{Radians}(44.2281 + -476853.175 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00303 * \sin(\text{Radians}(289.2042 + 35979.1866 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00303 * \sin(\text{Radians}(314.1579 + 477544.5603 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00301 * \sin(\text{Radians}(84.82 + -398757.5077 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00297 * \sin(\text{Radians}(292.0729 + 180147.5426 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00297 * \sin(\text{Radians}(151.911 + -894977.6403 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00292 * \sin(\text{Radians}(105.9171 + 16859.0735 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00288 * \sin(\text{Radians}(108.7936 + 1369798.5128 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + 0.00284 * \sin(\text{Radians}(61.0203 + -417897.807 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00283 * \sin(\text{Radians}(171.5956 + -931879.2924 * T))$$

$$Sv1 = Sv1 + -0.00283 * \sin(\text{Radians}(346.5619 + -619.7521 * T))$$

'Koreksi Bujur Kedua (Sv")

$$Sv2 = Sv2 + 0.46578 * \sin(\text{Radians}(357.529 + 35999.05 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.14345 * \sin(\text{Radians}(103.208 + 377336.305 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.11495 * \sin(\text{Radians}(238.171 + 854535.173 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.1031 * \sin(\text{Radians}(222.566 + -441199.817 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.07656 * \sin(\text{Radians}(132.493 + 513197.918 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.07062 * \sin(\text{Radians}(27.775 + 131.849 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.01977 * \sin(\text{Radians}(98.266 + 449334.406 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.01702 * \sin(\text{Radians}(233.23 + 926533.273 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.01254 * \sin(\text{Radians}(295.379 + 481266.162 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.01124 * \sin(\text{Radians}(240.642 + 818536.122 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.01041 * \sin(\text{Radians}(355.058 + 71998.101 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.0103 * \sin(\text{Radians}(105.679 + 341337.255 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.01014 * \sin(\text{Radians}(13.135 + 1331734.04 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00677 * \sin(\text{Radians}(87.602 + -918398.685 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.00601 * \sin(\text{Radians}(328.244 + -99862.563 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00534 * \sin(\text{Radians}(267.456 + 990396.786 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00401 * \sin(\text{Radians}(4.098 + -18.829 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.00392 * \sin(\text{Radians}(252.8 + -477067.019 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.00368 * \sin(\text{Radians}(162.969 + 477330.716 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00359 * \sin(\text{Radians}(220.095 + -405200.767 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00353 * \sin(\text{Radians}(95.795 + 485333.456 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.00305 * \sin(\text{Radians}(338.908 + 1267870.528 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00298 * \sin(\text{Radians}(235.7 + 890534.223 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00293 * \sin(\text{Radians}(183.729 + -20.186 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00233 * \sin(\text{Radians}(100.737 + 413335.355 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00204 * \sin(\text{Radians}(8.193 + 1403732.141 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.00191 * \sin(\text{Radians}(203.945 + 790671.661 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.00175 * \sin(\text{Radians}(323.303 + -27864.462 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00163 * \sin(\text{Radians}(130.022 + 549196.968 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.0015 * \sin(\text{Radians}(51.627 + -111868.862 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.0013 * \sin(\text{Radians}(113.872 + 1745069.396 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.00105 * \sin(\text{Radians}(15.606 + 1295734.99 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00101 * \sin(\text{Radians}(46.685 + -39870.762 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00098 * \sin(\text{Radians}(80.028 + 9037.513 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.00089 * \sin(\text{Radians}(63.057 + 150.678 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.00088 * \sin(\text{Radians}(70.343 + 958465.029 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.00083 * \sin(\text{Radians}(125.045 + -1934.136 * T))$$

$$\begin{aligned}
Sv2 &= Sv2 + -0.00083 * \sin(\text{Radians}(287.032 + -413203.507 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + -0.00082 * \sin(\text{Radians}(148.098 + 1808932.908 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00081 * \sin(\text{Radians}(254.014 + -40.758 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + -0.00081 * \sin(\text{Radians}(152.061 + -890402.374 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + -0.00081 * \sin(\text{Radians}(263.49 + 890666.072 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + -0.00078 * \sin(\text{Radians}(128.524 + 413467.204 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + -0.00075 * \sin(\text{Radians}(160.416 + 4067.294 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + -0.00071 * \sin(\text{Radians}(243.113 + 782537.072 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + -0.00069 * \sin(\text{Radians}(319.858 + -1935.533 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00068 * \sin(\text{Radians}(257.953 + 476229.384 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00065 * \sin(\text{Radians}(167.245 + -2281.226 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00056 * \sin(\text{Radians}(47.818 + -477219.054 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00056 * \sin(\text{Radians}(317.745 + 477178.681 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + -0.00052 * \sin(\text{Radians}(108.15 + 305338.205 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00047 * \sin(\text{Radians}(312.639 + -1395597.553 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00047 * \sin(\text{Radians}(284.319 + 413315.169 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00046 * \sin(\text{Radians}(82.844 + -413355.542 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00044 * \sin(\text{Radians}(333.967 + 1339868.629 * T))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Sv2 &= Sv2 + 0.00044 * \sin(\text{Radians}(162.159 + 31555.956 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00044 * \sin(\text{Radians}(122.967 + -969.484 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + -0.00043 * \sin(\text{Radians}(341.379 + 1231871.478 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00043 * \sin(\text{Radians}(134.963 + 477198.868 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + -0.00041 * \sin(\text{Radians}(330.715 + -135861.613 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.0004 * \sin(\text{Radians}(247.088 + -4562.452 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + -0.0004 * \sin(\text{Radians}(213.092 + 890.493 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00039 * \sin(\text{Radians}(300.321 + 409268.061 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00038 * \sin(\text{Radians}(42.419 + 1467595.653 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00036 * \sin(\text{Radians}(32.981 + 477158.11 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00036 * \sin(\text{Radians}(123.055 + -477239.625 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00036 * \sin(\text{Radians}(10.664 + 1367733.091 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00035 * \sin(\text{Radians}(320.832 + 8134.588 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00034 * \sin(\text{Radians}(160.404 + 883.45 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + -0.00033 * \sin(\text{Radians}(193.281 + -577061.43 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00033 * \sin(\text{Radians}(7.248 + 1034.128 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.0003 * \sin(\text{Radians}(74.973 + 29929.562 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.0003 * \sin(\text{Radians}(59.126 + 890514.037 * T))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Sv2 &= Sv2 + 0.0003 * \sin(\text{Radians}(289.752 + 1343740.34 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.0003 * \sin(\text{Radians}(307.724 + -890554.409 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + -0.00029 * \sin(\text{Radians}(184.073 + 1002403.085 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00027 * \sin(\text{Radians}(85.131 + -882399.635 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00027 * \sin(\text{Radians}(64.715 + 1820939.208 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + -0.00027 * \sin(\text{Radians}(117.837 + -954265.886 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00026 * \sin(\text{Radians}(230.759 + 962532.324 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00026 * \sin(\text{Radians}(186.591 + 365330.005 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00025 * \sin(\text{Radians}(199.003 + 862669.761 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + -0.00025 * \sin(\text{Radians}(297.932 + 954529.584 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + -0.00024 * \sin(\text{Radians}(25.452 + -473131.573 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + -0.00022 * \sin(\text{Radians}(206.416 + 754672.61 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00022 * \sin(\text{Radians}(228.08 + -477217.697 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + -0.00022 * \sin(\text{Radians}(301.381 + 282.527 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + -0.00021 * \sin(\text{Radians}(36.021 + -1407603.852 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + -0.00021 * \sin(\text{Radians}(116.343 + 1709070.345 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00021 * \sin(\text{Radians}(352.587 + 107997.151 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.0002 * \sin(\text{Radians}(108.93 + 1817067.496 * T))
\end{aligned}$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.0002 * \sin(\text{Radians}(143.156 + 1880931.009 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.0002 * \sin(\text{Radians}(248.835 + 2222268.263 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.0002 * \sin(\text{Radians}(231.465 + -901.405 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.00019 * \sin(\text{Radians}(36.116 + 894601.517 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.00018 * \sin(\text{Radians}(319.037 + 1479601.953 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00018 * \sin(\text{Radians}(138.579 + 477180.038 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00018 * \sin(\text{Radians}(8.6 + 3034.906 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00017 * \sin(\text{Radians}(306.673 + -468161.355 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00016 * \sin(\text{Radians}(287.969 + 474917.642 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00016 * \sin(\text{Radians}(41.058 + 822603.417 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00016 * \sin(\text{Radians}(321.163 + -375.801 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.00016 * \sin(\text{Radians}(44.565 + -99.177 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00016 * \sin(\text{Radians}(17.745 + -479480.093 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00015 * \sin(\text{Radians}(9.166 + 477349.546 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00015 * \sin(\text{Radians}(99.182 + -477048.189 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.00015 * \sin(\text{Radians}(184.894 + -479134.401 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.00015 * \sin(\text{Radians}(94.821 + 475263.334 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00015 * \sin(\text{Radians}(64.7 + 476209.198 * T))$$

$$\begin{aligned}
Sv2 &= Sv2 + -0.00014 * \sin(\text{Radians}(146.402 + 964468.502 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + -0.00014 * \sin(\text{Radians}(171.225 + -3559.967 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + -0.00014 * \sin(\text{Radians}(22.598 + -414304.839 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00014 * \sin(\text{Radians}(332.651 + -404297.843 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00014 * \sin(\text{Radians}(214.319 + 966535.884 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00014 * \sin(\text{Radians}(201.231 + -966272.186 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00014 * \sin(\text{Radians}(45.575 + 476447.267 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00014 * \sin(\text{Radians}(217.293 + 486236.38 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + -0.00014 * \sin(\text{Radians}(166.528 + 413486.034 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + -0.00014 * \sin(\text{Radians}(32.74 + -4443.417 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + -0.00013 * \sin(\text{Radians}(325.703 + -413184.677 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + -0.00013 * \sin(\text{Radians}(188.339 + -505063.33 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00013 * \sin(\text{Radians}(326.794 + -6843.677 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00012 * \sin(\text{Radians}(12.627 + 723.029 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00012 * \sin(\text{Radians}(253.402 + -751.601 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00011 * \sin(\text{Radians}(336.437 + 1303869.578 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + -0.00011 * \sin(\text{Radians}(336.935 + 478490.424 * T)) \\
Sv2 &= Sv2 + 0.00011 * \sin(\text{Radians}(217.624 + -369201.717 * T))
\end{aligned}$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.00011 * \sin(\text{Radians}(171.08 + 1371800.385 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00011 * \sin(\text{Radians}(22.925 + -445642.912 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00011 * \sin(\text{Radians}(93.089 + 476823.067 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.0001 * \sin(\text{Radians}(261.243 + 35958.615 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.0001 * \sin(\text{Radians}(335.121 + -383405.794 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.0001 * \sin(\text{Radians}(269.927 + 954397.735 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.0001 * \sin(\text{Radians}(17.111 + -1367601.242 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.0001 * \sin(\text{Radians}(38.439 + 1367864.94 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.0001 * \sin(\text{Radians}(303.404 + -858978.267 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.0001 * \sin(\text{Radians}(268.33 + 411054.13 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.0001 * \sin(\text{Radians}(240.825 + -410300.45 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00009 * \sin(\text{Radians}(165.358 + -67930.806 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00009 * \sin(\text{Radians}(280.672 + -989.67 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00009 * \sin(\text{Radians}(180.064 + 422372.868 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00009 * \sin(\text{Radians}(264.985 + 1026395.836 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00009 * \sin(\text{Radians}(316.645 + 3171.719 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.00009 * \sin(\text{Radians}(54.098 + -147867.913 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.00009 * \sin(\text{Radians}(150.569 + 1772933.858 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00009 * \sin(\text{Radians}(195.62 + 413294.598 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00009 * \sin(\text{Radians}(354.297 + -413376.113 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00009 * \sin(\text{Radians}(82.788 + 416370.261 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00009 * \sin(\text{Radians}(210.356 + -881496.71 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.00009 * \sin(\text{Radians}(325.774 + -63863.512 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00009 * \sin(\text{Radians}(43.697 + -381779.4 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00009 * \sin(\text{Radians}(276.828 + 14577.848 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + -0.00009 * \sin(\text{Radians}(298.459 + 890684.901 * T))$$

$$Sv2 = Sv2 + 0.00008 * \sin(\text{Radians}(75.285 + 886466.929 * T))$$

'Koreksi Bujur Ketiga (Sv''')

$$Sv3 = Sv3 + 13.53 * \sin(\text{Radians}(357.5 + 35999.1 * T))$$

$$Sv3 = Sv3 + -4.17 * \sin(\text{Radians}(103.2 + 377336.3 * T))$$

$$Sv3 = Sv3 + -3.33 * \sin(\text{Radians}(238.2 + 854535.2 * T))$$

$$Sv3 = Sv3 + 3 * \sin(\text{Radians}(222.6 + -441199.8 * T))$$

$$Sv3 = Sv3 + 2.22 * \sin(\text{Radians}(132.5 + 513197.9 * T))$$

$$Sv3 = Sv3 + 0.58 * \sin(\text{Radians}(98.3 + 449334.4 * T))$$

$$Sv3 = Sv3 + 0.5 * \sin(\text{Radians}(233.2 + 926533.3 * T))$$

$$Sv3 = Sv3 + -0.36 * \sin(\text{Radians}(295.4 + 481266.2 * T))$$

$$\begin{aligned}
& Sv3 = Sv3 + -0.33 * \sin(\text{Radians}(240.6 + 818536.1 * T)) \\
& Sv3 = Sv3 + -0.31 * \sin(\text{Radians}(13.1 + 1331734 * T)) \\
& Sv3 = Sv3 + -0.31 * \sin(\text{Radians}(105.7 + 341337.3 * T)) \\
& Sv3 = Sv3 + 0.31 * \sin(\text{Radians}(355.1 + 71998.1 * T)) \\
& Sv3 = Sv3 + 0.19 * \sin(\text{Radians}(87.6 + -918398.7 * T)) \\
& Sv3 = Sv3 + -0.17 * \sin(\text{Radians}(328.2 + -99862.6 * T)) \\
& Sv3 = Sv3 + 0.17 * \sin(\text{Radians}(267.5 + 990396.8 * T)) \\
& Sv3 = Sv3 + 0.11 * \sin(\text{Radians}(95.8 + 485333.5 * T)) \\
& Sv3 = Sv3 + 0.11 * \sin(\text{Radians}(220.1 + -405200.8 * T)) \\
& Sv3 = Sv3 + -0.08 * \sin(\text{Radians}(338.9 + 1267870.5 * T)) \\
& Sv3 = Sv3 + 0.08 * \sin(\text{Radians}(235.7 + 890534.2 * T)) \\
& Sv3 = Sv3 + -0.06 * \sin(\text{Radians}(203.9 + 790671.7 * T)) \\
& Sv3 = Sv3 + -0.06 * \sin(\text{Radians}(323.3 + -27864.5 * T)) \\
& Sv3 = Sv3 + -0.06 * \sin(\text{Radians}(51.6 + -111868.9 * T)) \\
& Sv3 = Sv3 + 0.06 * \sin(\text{Radians}(8.2 + 1403732.1 * T)) \\
& Sv3 = Sv3 + 0.06 * \sin(\text{Radians}(100.7 + 413335.4 * T)) \\
& Sv3 = Sv3 + 0.06 * \sin(\text{Radians}(130 + 549197 * T))
\end{aligned}$$

'Bujur Ekliptik Rata-Rata (V)

$$V = 218.31662 + 481267.88115 * T - 0.00157551 * T^2 + 0.000001856 * T^3 - 0.000000015341 * T^4$$

$$\text{Koreksi} = 10^{-3} * (Sv1 + T * Sv2 + 10^{-4} * T^2 * Sv3)$$

$$V = \text{Modx}(V + Sv + \text{Koreksi}, 360)$$

GeometricLongitude\_Janus = V

End Function

- b. Fungsi Geometri Lintang Ekliptika Geosentris Janus  
Public Function GeometricLatitude\_Janus(ByVal JDEorJD As Double) As Double

Dim T As Double

Dim u As Double

Dim Su As Double

Dim Su1 As Double

Dim Su2 As Double

Dim Su3 As Double

$$T = (\text{JDEorJD} - 2451545) / 36525$$

'Koreksi Lintang Pertama (Su)

$$Su = Su + 5.12812186 * \sin(\text{Radians}(93.2720993 + 483202.0175273 * T - 0.0034029 * T^2 + 0.000000284 * T^3 + 0.00000000116 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.28060196 * \sin(\text{Radians}(228.2355107 + 960400.8851586 * T + 0.0055941 * T^2 + 0.000014064 * T^3 - 0.00000006681 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.27769266 * \sin(\text{Radians}(41.6913121 + -6003.149896 * T + 0.0123999 * T^2 + 0.000014631 * T^3 - 0.00000006913 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.17323679 * \sin(\text{Radians}(142.4283091 + 407332.2055062 * T + 0.0001429 * T^2 + 0.000003948 * T^3 - 0.00000001885 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.05541215 * \sin(\text{Radians}(194.0090963 + 896537.3729295 * T - 0.01566 * T^2 - 0.000010967 * T^3 + 0.00000005144 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.04627058 * \sin(\text{Radians}(7.4648977 - 69866.6621251 * T - 0.0088542 * T^2 - 0.0000104 * T^3 + 0.00000004913 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.03257241 * \sin(\text{Radians}(328.9725077 + 1373736.2405608 * T - 0.006663 * T^2 + 0.00000338 * T^3 - 0.00000001653 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.01719776 * \sin(\text{Radians}(3.1989221 + 1437599.75279 * T + 0.0145911 * T^2 + 0.000028411 * T^3 - 0.00000013479 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00926589 * \sin(\text{Radians}(277.3917205 + 884531.0731375 * T + 0.0091399 * T^2 + 0.000018295 * T^3 - 0.00000008682 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00882213 * \sin(\text{Radians}(176.6547234 + 471195.7177354 * T + 0.021397 * T^2 + 0.000028979 * T^3 - 0.0000001371 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00821572 * \sin(\text{Radians}(144.8991999 + 371333.1552153 * T + 0.0002964 * T^2 + 0.000003907 * T^3 - 0.00000001885 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00432396 * \sin(\text{Radians}(232.5014863 + -547065.5297565 * T - 0.0178512 * T^2 + -0.000024748 * T^3 + 0.0000001171 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00420043 * \sin(\text{Radians}(103.9359191 + 1850935.1081921 * T + 0.0023341 * T^2 + 0.000017728 * T^3 - 0.0000000845 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00335948 * \sin(\text{Radians}(139.9574183 + 443331.2557971 * T - 0.0000107 * T^2 + 0.000003988 * T^3 - 0.00000001885 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00246337 * \sin(\text{Radians}(196.4799872 + 860538.3226385 * T - 0.0155064 * T^2 + -0.000011008 * T^3 + 0.00000005144 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00221071 * \sin(\text{Radians}(331.4433985 + 1337737.1902699 * T - 0.0065094 * T^2 + 0.000003339 * T^3 - 0.00000001653 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00206515 * \sin(\text{Radians}(9.9357885 + -105865.7124161 * T + -0.0087006 * T^2 + -0.000010441 * T^3 + 0.00000004913 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00186984 * \sin(\text{Radians}(129.2935985 + -924401.8348677 * T + -0.0057477 * T^2 + -0.000014023 * T^3 + 0.00000006681 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00182766 * \sin(\text{Radians}(243.1653061 + 820667.5609084 * T + -0.0121142 * T^2 + -0.000006736 * T^3 + 0.00000003144 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00179446 * \sin(\text{Radians}(90.8012085 + 519201.0678183 * T + -0.0035565 * T^2 + -0.000000243 * T^3 + 0.00000000116 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00174902 * \sin(\text{Radians}(279.816298 + 1449606.0525819 * T + -0.0102088 * T^2 + -0.000000851 * T^3 + 0.00000000348 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00156454 * \sin(\text{Radians}(315.8377971 + 42002.2001869 * T + -0.0125535 * T^2 + -0.00001459 * T^3 + 0.00000006913 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00149122 * \sin(\text{Radians}(31.1223035 + 928469.1290441 * T + -0.0050329 * T^2 + 0.000001548 * T^3 + -0.00000000769 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00147535 * \sin(\text{Radians}(225.7646199 + 996399.9354496 * T + 0.0054405 * T^2 + 0.000014105 * T^3 + -0.00000006681 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00140998 * \sin(\text{Radians}(39.2204212 + 29995.900395 * T + 0.0122464 * T^2 + 0.000014672 * T^3 + -0.00000006913 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00134434 * \sin(\text{Radians}(264.2570099 + -447202.9672364 * T + 0.0032493 * T^2 + 0.000000324 * T^3 + -0.00000000116 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00133493 * \sin(\text{Radians}(204.5781049 + -37934.9060106 * T + 0.0017729 * T^2 + 0.000002116 * T^3 + -0.00000001 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00110668 * \sin(\text{Radians}(138.1623335 + 1914798.6204213 * T + 0.0235882 * T^2 + 0.000042759 * T^3 + -0.00000020276 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00102068 * \sin(\text{Radians}(18.1287175 + 1297866.4285397 * T - 0.0031172 * T^2 + 0.000007611 * T^3 - 0.00000003654 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00083291 * \sin(\text{Radians}(69.7095047 + 1787071.595963 * T - 0.0189201 * T^2 - 0.000007303 * T^3 + 0.00000003375 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.0007774 * \sin(\text{Radians}(215.1471134 + -972407.1849506 * T + 0.0192058 * T^2 + 0.000015198 * T^3 - 0.00000007145 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00067052 * \sin(\text{Radians}(294.7460934 + 1309872.7283316 * T - 0.0279171 * T^2 + -0.000021651 * T^3 + 0.00000010173 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00060731 * \sin(\text{Radians}(315.8841104 + -559071.8295484 * T + 0.0069487 * T^2 + 0.000004515 * T^3 - 0.00000002116 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00059616 * \sin(\text{Radians}(52.3551318 + 1361729.9407689 * T + 0.0181369 * T^2 + 0.000032643 * T^3 - 0.00000015479 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00049055 * \sin(\text{Radians}(279.8626113 + 848532.0228466 * T + 0.0092935 * T^2 + 0.000018254 * T^3 - 0.00000008682 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00045123 * \sin(\text{Radians}(59.045685 + 419338.5052981 * T - 0.024657 * T^2 + -0.000025315 * T^3 + 0.00000011941 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00043925 * \sin(\text{Radians}(311.6181348 + 948394.5853667 * T + 0.030394 * T^2 + 0.000043326 * T^3 - 0.00000020507 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00042215 * \sin(\text{Radians}(238.8993305 + 2328133.9758235 * T + 0.0113311 * T^2 + 0.000032075 * T^3 - 0.00000015248 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00042101 * \sin(\text{Radians}(97.5380749 + -1024264.3973878 * T - 0.0268482 * T^2 + -0.000039095 * T^3 + 0.00000018507 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00036606 * \sin(\text{Radians}(191.5382055 + 932536.4232204 * T - 0.0158136 * T^2 + -0.000010926 * T^3 + 0.00000005144 * T^4))$$

$$\begin{aligned}
Su &= Su + -0.00035119 * \sin(\text{Radians}(326.5016169 \\
&+ 1409735.2908518 * T + -0.0068166 * T^2 + \\
&0.000003421 * T^3 + -0.00000001653 * T^4)) \\
Su &= Su + 0.00033108 * \sin(\text{Radians}(204.6729161 + \\
&2264270.4635943 * T + -0.009923 * T^2 + \\
&0.000007044 * T^3 + -0.00000003422 * T^4)) \\
Su &= Su + 0.00031517 * \sin(\text{Radians}(106.4068099 + \\
&1814936.0579012 * T + 0.0024876 * T^2 + \\
&0.000017687 * T^3 + -0.0000000845 * T^4)) \\
Su &= Su + 0.00030161 * \sin(\text{Radians}(147.3700907 + \\
&335334.1049243 * T + 0.00045 * T^2 + 0.000003866 * \\
&T^3 + -0.00000001885 * T^4)) \\
Su &= Su + -0.00028316 * \sin(\text{Radians}(54.7797093 + \\
&1926804.9202133 * T + -0.0012117 * T^2 + \\
&0.000013497 * T^3 + -0.0000000645 * T^4)) \\
Su &= Su + -0.00022853 * \sin(\text{Radians}(274.9208296 \\
&+ 920530.1234285 * T + 0.0089863 * T^2 + \\
&0.000018336 * T^3 + -0.00000008682 * T^4)) \\
Su &= Su + 0.00022339 * \sin(\text{Radians}(202.1072141 + \\
&-1935.8557196 * T + 0.0016193 * T^2 + 0.000002156 * \\
&T^3 + -0.00000001 * T^4)) \\
Su &= Su + 0.00022294 * \sin(\text{Radians}(28.6514127 + \\
&964468.179335 * T + -0.0051865 * T^2 + 0.000001589 \\
&* T^3 + -0.00000000769 * T^4)) \\
Su &= Su + -0.00022033 * \sin(\text{Radians}(354.3301871 \\
&+ -1401600.702499 * T + -0.0147447 * T^2 + - \\
&0.000028371 * T^3 + 0.00000013479 * T^4)) \\
Su &= Su + -0.00021973 * \sin(\text{Radians}(4.9940069 + - \\
&33867.6118342 * T + -0.0090077 * T^2 + -0.000010359 \\
&* T^3 + 0.00000004913 * T^4)) \\
Su &= Su + -0.00018539 * \sin(\text{Radians}(166.0857149 \\
&+ 1405667.9966754 * T + 0.0039641 * T^2 + \\
&0.000015896 * T^3 + -0.00000007566 * T^4)) \\
Su &= Su + 0.00018062 * \sin(\text{Radians}(234.9723771 + \\
&-583064.5800474 * T + -0.0176976 * T^2 + - \\
&0.000024788 * T^3 + 0.0000001171 * T^4))
\end{aligned}$$

$$Su = Su + -0.00017745 * \sin(\text{Radians}(0.7280313 + 1473598.8030809 * T + 0.0144376 * T^2 + 0.000028452 * T^3 + -0.00000013479 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00017603 * \sin(\text{Radians}(108.2018947 + 343468.693277 * T + -0.0211113 * T^2 + -0.000021084 * T^3 + 0.00000009941 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00016549 * \sin(\text{Radians}(245.6361969 + 784668.5106174 * T + -0.0119606 * T^2 + -0.000006777 * T^3 + 0.00000003144 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00016359 * \sin(\text{Radians}(339.5415163 + 439263.9616208 * T + 0.0107699 * T^2 + 0.000016463 * T^3 + -0.00000007797 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00013149 * \sin(\text{Radians}(153.0921289 + 1775065.296171 * T + 0.0058798 * T^2 + 0.000021959 * T^3 + -0.00000010451 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00011941 * \sin(\text{Radians}(69.6146935 + -515133.7736419 * T + -0.0072241 * T^2 + -0.000012232 * T^3 + 0.00000005797 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00011526 * \sin(\text{Radians}(20.5996083 + 1261867.3782488 * T + -0.0029636 * T^2 + 0.000007571 * T^3 + -0.00000003654 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00010653 * \sin(\text{Radians}(333.9142894 + 1301738.1399789 * T + -0.0063558 * T^2 + 0.000003299 * T^3 + -0.00000001653 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00009773 * \sin(\text{Radians}(80.2785133 + 852599.3170229 * T + -0.0014872 * T^2 + 0.000005779 * T^3 + -0.00000002769 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00009411 * \sin(\text{Radians}(72.1803956 + 1751072.545672 * T + -0.0187665 * T^2 + -0.000007344 * T^3 + 0.00000003375 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00009141 * \sin(\text{Radians}(180.9206991 + -1036270.6971798 * T + -0.0020483 * T^2 + -0.000009833 * T^3 + 0.00000004681 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00008742 * \sin(\text{Radians}(198.950878 + 824539.2723476 * T + -0.0153528 * T^2 + -0.000011049 * T^3 + 0.00000005144 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00008692 * \sin(\text{Radians}(174.1838326 + 507194.7680263 * T + 0.0212434 * T^2 + 0.000029019 * T^3 + -0.0000001371 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00008477 * \sin(\text{Radians}(305.3151019 + 375400.4493916 * T + -0.0104842 * T^2 + -0.000008568 * T^3 + 0.00000004028 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00008369 * \sin(\text{Radians}(180.8743857 + -435196.6674444 * T + -0.0215506 * T^2 + -0.000028938 * T^3 + 0.0000001371 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00008088 * \sin(\text{Radians}(90.8475218 + -81872.9619171 * T + 0.0159457 * T^2 + 0.000018862 * T^3 + -0.00000008914 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00007462 * \sin(\text{Radians}(12.4066793 + -141864.762707 * T + -0.008547 * T^2 + -0.000010482 * T^3 + 0.00000004913 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00007313 * \sin(\text{Radians}(273.1257448 + 2391997.4880526 * T + 0.0325852 * T^2 + 0.000057106 * T^3 + -0.00000027073 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00007058 * \sin(\text{Radians}(284.0822736 + -57860.3623332 * T + -0.0336541 * T^2 + -0.000039662 * T^3 + 0.00000018739 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00006801 * \sin(\text{Radians}(20.553295 + 1862941.4079841 * T + -0.0224658 * T^2 + -0.000011534 * T^3 + 0.00000005376 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00006584 * \sin(\text{Radians}(101.4650283 + 1886934.1584831 * T + 0.0021805 * T^2 + 0.000017769 * T^3 + -0.0000000845 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00005938 * \sin(\text{Radians}(297.2169842 + 1273873.6780407 * T + -0.0277635 * T^2 + -0.000021692 * T^3 + 0.00000010173 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00005905 * \sin(\text{Radians}(339.6363275 + 2741469.3312256 * T + -0.000926 * T^2 + 0.000021392 * T^3 + -0.00000010219 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.0000572 * \sin(\text{Radians}(131.8593005 + 1341804.4844462 * T + -0.01729 * T^2 + -0.000009135 * T^3 + 0.0000000426 * T^4))$$

$$\begin{aligned}
Su &= Su + -0.00004775 * \sin(\text{Radians}(240.6944153 \\
&+ 856666.6111993 * T + -0.0122678 * T^2 + - \\
&0.000006695 * T^3 + 0.00000003144 * T^4)) \\
Su &= Su + 0.00004386 * \sin(\text{Radians}(207.1438069 + \\
&2228271.4133034 * T + -0.0097694 * T^2 + \\
&0.000007003 * T^3 + -0.00000003422 * T^4)) \\
Su &= Su + 0.00004067 * \sin(\text{Radians}(187.3185432 + \\
&1838928.8084002 * T + 0.0271339 * T^2 + 0.00004699 \\
&* T^3 + -0.00000022276 * T^4)) \\
Su &= Su + -0.00004015 * \sin(\text{Radians}(155.5167064 \\
&+ 2340140.2756154 * T + -0.0134688 * T^2 + \\
&0.000002813 * T^3 + -0.00000001421 * T^4)) \\
Su &= Su + 0.00003869 * \sin(\text{Radians}(256.1588921 + \\
&451270.2614127 * T + -0.01403 * T^2 + -0.000012799 \\
&* T^3 + 0.00000006029 * T^4)) \\
Su &= Su + 0.00003832 * \sin(\text{Radians}(13.8627419 + \\
&2805332.8434548 * T + 0.0203281 * T^2 + \\
&0.000046423 * T^3 + -0.00000022045 * T^4)) \\
Su &= Su + -0.00003726 * \sin(\text{Radians}(137.4865274 \\
&+ 479330.3060881 * T + -0.0001643 * T^2 + \\
&0.000004029 * T^3 + -0.00000001885 * T^4)) \\
Su &= Su + 0.00003717 * \sin(\text{Radians}(322.5746636 + \\
&-1501463.2650191 * T + -0.0358453 * T^2 + - \\
&0.000053443 * T^3 + 0.00000025304 * T^4)) \\
Su &= Su + -0.00003621 * \sin(\text{Radians}(350.1105248 \\
&+ -495208.3173193 * T + 0.0282028 * T^2 + \\
&0.000029546 * T^3 + -0.00000013942 * T^4)) \\
Su &= Su + 0.00003582 * \sin(\text{Radians}(54.8260227 + \\
&1325730.8904779 * T + 0.0182905 * T^2 + \\
&0.000032602 * T^3 + -0.00000015479 * T^4)) \\
Su &= Su + 0.00003441 * \sin(\text{Radians}(241.3702213 + \\
&2292134.9255325 * T + 0.0114847 * T^2 + \\
&0.000032034 * T^3 + -0.00000015248 * T^4)) \\
Su &= Su + -0.00003274 * \sin(\text{Radians}(189.7431207 \\
&+ 2404003.7878446 * T + 0.0077853 * T^2 + \\
&0.000027844 * T^3 + -0.00000013247 * T^4))
\end{aligned}$$

$$Su = Su + -0.00003148 * \sin(\text{Radians}(126.8227077 + -888402.7845768 * T + -0.0059013 * T^2 + -0.000013982 * T^3 + 0.00000006681 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00003147 * \sin(\text{Radians}(189.0673147 + 968535.4735114 * T + -0.0159672 * T^2 + -0.000010886 * T^3 + 0.00000005144 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00003141 * \sin(\text{Radians}(15.6578267 + 1333865.4788306 * T + -0.0032708 * T^2 + 0.000007652 * T^3 + -0.00000003654 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00003046 * \sin(\text{Radians}(294.6512821 + -992332.6412732 * T + -0.0162212 * T^2 + -0.000026579 * T^3 + 0.00000012594 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00002926 * \sin(\text{Radians}(2.5231161 + 2131.4384567 * T + -0.0091613 * T^2 + -0.000010318 * T^3 + 0.00000004913 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00002827 * \sin(\text{Radians}(163.6148241 + 1441667.0469663 * T + 0.0038105 * T^2 + 0.000015937 * T^3 + -0.00000007566 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00002642 * \sin(\text{Radians}(313.3669063 + 78001.2504779 * T + -0.0127071 * T^2 + -0.000014549 * T^3 + 0.00000006913 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00002612 * \sin(\text{Radians}(118.8657145 + 1711201.7839419 * T + -0.0153743 * T^2 + -0.000003072 * T^3 + 0.00000001375 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00002544 * \sin(\text{Radians}(86.5815462 + 1425593.452998 * T + 0.039391 * T^2 + 0.000057674 * T^3 + -0.00000027305 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00002448 * \sin(\text{Radians}(318.3550013 + -595070.8798394 * T + 0.0071023 * T^2 + 0.000004474 * T^3 + -0.00000002116 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00002249 * \sin(\text{Radians}(343.9023031 + 1234002.9163105 * T + -0.0243713 * T^2 + -0.00001742 * T^3 + 0.00000008172 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00002198 * \sin(\text{Radians}(230.0305955 + -511066.4794655 * T + -0.0180048 * T^2 + -0.000024707 * T^3 + 0.0000001171 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00002179 * \sin(\text{Radians}(121.1954808 + -25928.6062186 * T + -0.023027 * T^2 + -0.000027147 * T^3 + 0.00000012826 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00002078 * \sin(\text{Radians}(219.3667757 + -1878799.5701304 * T + -0.0237418 * T^2 + -0.000042718 * T^3 + 0.00000020276 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00001921 * \sin(\text{Radians}(282.3335021 + 812532.9725556 * T + 0.0094471 * T^2 + 0.000018213 * T^3 + -0.00000008682 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00001823 * \sin(\text{Radians}(245.5898836 + 1385742.5403528 * T + -0.0314629 * T^2 + -0.000025882 * T^3 + 0.00000012173 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00001773 * \sin(\text{Radians}(301.0491263 + 1882866.8643067 * T + 0.0129611 * T^2 + 0.000030243 * T^3 + -0.00000014363 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00001745 * \sin(\text{Radians}(49.884241 + 1397728.9910598 * T + 0.0179833 * T^2 + 0.000032683 * T^3 + -0.00000015479 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00001738 * \sin(\text{Radians}(191.5845188 + 331462.3934851 * T + 0.0036886 * T^2 + 0.000008179 * T^3 + -0.00000003885 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00001724 * \sin(\text{Radians}(61.5165758 + 383339.4550072 * T + -0.0245034 * T^2 + -0.000025356 * T^3 + 0.00000011941 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00001718 * \sin(\text{Radians}(36.7495304 + 65994.9506859 * T + 0.0120928 * T^2 + 0.000014713 * T^3 + -0.00000006913 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00001716 * \sin(\text{Radians}(135.6914426 + 1950797.6707123 * T + 0.0234346 * T^2 + 0.0000428 * T^3 + -0.00000020276 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00001656 * \sin(\text{Radians}(170.4465018 + 2200406.9513651 * T + -0.0311771 * T^2 + -0.000017987 * T^3 + 0.00000008404 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00001624 * \sin(\text{Radians}(108.8777007 + 1778937.0076103 * T + 0.0026412 * T^2 + 0.000017646 * T^3 + -0.0000000845 * T^4))$$

$$\begin{aligned}
Su &= Su + -0.00001591 * \sin(\text{Radians}(88.3303177 + \\
&555200.1181092 * T + -0.0037101 * T^2 + - \\
&0.000000202 * T^3 + 0.00000000116 * T^4)) \\
Su &= Su + 0.00001579 * \sin(\text{Radians}(155.5630197 + \\
&1739066.2458801 * T + 0.0060334 * T^2 + \\
&0.000021918 * T^3 + -0.00000010451 * T^4)) \\
Su &= Su + -0.00001553 * \sin(\text{Radians}(253.6880013 \\
&+ 487269.3117037 * T + -0.0141836 * T^2 + - \\
&0.000012758 * T^3 + 0.00000006029 * T^4)) \\
Su &= Su + -0.00001529 * \sin(\text{Radians}(223.2937291 \\
&+ 1032398.9857405 * T + 0.0052869 * T^2 + \\
&0.000014146 * T^3 + -0.00000006681 * T^4)) \\
Su &= Su + 0.00001528 * \sin(\text{Radians}(100.0089658 + \\
&-1060263.4476788 * T + -0.0266946 * T^2 + - \\
&0.000039136 * T^3 + 0.00000018507 * T^4)) \\
Su &= Su + -0.00001516 * \sin(\text{Radians}(313.4132196 \\
&+ -523072.7792575 * T + 0.0067951 * T^2 + \\
&0.000004556 * T^3 + -0.00000002116 * T^4)) \\
Su &= Su + 0.00001508 * \sin(\text{Radians}(56.5747941 + \\
&455337.5555891 * T + -0.0248106 * T^2 + - \\
&0.000025274 * T^3 + 0.00000011941 * T^4)) \\
Su &= Su + 0.00001459 * \sin(\text{Radians}(110.6727855 + \\
&307469.6429861 * T + -0.0209577 * T^2 + - \\
&0.000021124 * T^3 + 0.00000009941 * T^4)) \\
Su &= Su + -0.00001416 * \sin(\text{Radians}(67.2386139 + \\
&1823070.6462539 * T + -0.0190736 * T^2 + - \\
&0.000007263 * T^3 + 0.00000003375 * T^4)) \\
Su &= Su + -0.00001348 * \sin(\text{Radians}(356.8958892 \\
&+ 864605.6168149 * T + -0.0262871 * T^2 + - \\
&0.000023483 * T^3 + 0.00000011057 * T^4)) \\
Su &= Su + 0.00001343 * \sin(\text{Radians}(288.0555402 + \\
&2252264.1638024 * T + 0.0148769 * T^2 + \\
&0.000036306 * T^3 + -0.00000017248 * T^4)) \\
Su &= Su + 0.00001171 * \sin(\text{Radians}(305.4099131 + \\
&2677605.8189965 * T + -0.0221801 * T^2 + - \\
&0.000003639 * T^3 + 0.00000001606 * T^4))
\end{aligned}$$

$$Su = Su + -0.00001095 * \sin(\text{Radians}(170.3516905 + -101798.4182397 * T + -0.0194812 * T^2 + -0.000022916 * T^3 + 0.00000010825 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00001021 * \sin(\text{Radians}(253.8291259 + 2188400.6515732 * T + -0.0063773 * T^2 + 0.000011275 * T^3 + -0.00000005423 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00001013 * \sin(\text{Radians}(149.8409815 + 299335.0546334 * T + 0.0006036 * T^2 + 0.000003825 * T^3 + -0.00000001885 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.0000101 * \sin(\text{Radians}(114.5049276 + 916462.8292521 * T + 0.0197669 * T^2 + 0.000030811 * T^3 + -0.00000014595 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00001003 * \sin(\text{Radians}(215.2419247 + 1329798.1846543 * T + 0.0075099 * T^2 + 0.000020127 * T^3 + -0.00000009566 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00000963 * \sin(\text{Radians}(337.0706254 + 475263.0119117 * T + 0.0106163 * T^2 + 0.000016504 * T^3 + -0.00000007797 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00000962 * \sin(\text{Radians}(248.1070877 + 748669.4603265 * T + -0.0118071 * T^2 + -0.000006818 * T^3 + 0.00000003144 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00000954 * \sin(\text{Radians}(77.8076225 + 888598.3673139 * T + -0.0016408 * T^2 + 0.00000582 * T^3 + -0.00000002769 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00000896 * \sin(\text{Radians}(18.0339062 + -1004338.9410652 * T + 0.0085787 * T^2 + 0.000002683 * T^3 + -0.00000001232 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00000873 * \sin(\text{Radians}(236.4284397 + 2364133.0261144 * T + 0.0111775 * T^2 + 0.000032116 * T^3 + -0.00000015248 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00000866 * \sin(\text{Radians}(35.4830904 + 1723208.0837338 * T + -0.0401742 * T^2 + -0.000032334 * T^3 + 0.00000015201 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00000844 * \sin(\text{Radians}(290.4801177 + 2817339.1432468 * T + -0.0044718 * T^2 + 0.000017161 * T^3 + -0.00000008219 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00000836 * \sin(\text{Radians}(342.1072183 + 2705470.2809347 * T - 0.0007724 * T^2 + 0.000021351 * T^3 - 0.00000010219 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00000821 * \sin(\text{Radians}(292.2752025 + 1345871.7786226 * T - 0.0280707 * T^2 + -0.00002161 * T^3 + 0.00000010173 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00000805 * \sin(\text{Radians}(23.0704991 + 1225868.3279578 * T - 0.00281 * T^2 + 0.00000753 * T^3 + -0.00000003654 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00000789 * \sin(\text{Radians}(266.8227119 + 1819003.3520776 * T - 0.008293 * T^2 + 0.000005212 * T^3 + -0.00000002538 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00000786 * \sin(\text{Radians}(114.5997389 + 3218668.198857 * T + 0.008071 * T^2 + 0.000035739 * T^3 + -0.00000017016 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00000714 * \sin(\text{Radians}(82.7494041 + 816600.266732 * T - 0.0013336 * T^2 + 0.000005739 * T^3 + -0.00000002769 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00000708 * \sin(\text{Radians}(202.2020253 + 2300269.5138853 * T - 0.0100766 * T^2 + 0.000007085 * T^3 + -0.00000003422 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00000693 * \sin(\text{Radians}(149.1188622 + -535059.2299645 * T - 0.0426511 * T^2 + -0.00005401 * T^3 + 0.00000025536 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00000672 * \sin(\text{Radians}(309.147244 + 984393.6356576 * T + 0.0302404 * T^2 + 0.000043367 * T^3 + -0.00000020507 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00000661 * \sin(\text{Radians}(74.6512864 + 1715073.4953811 * T - 0.0186129 * T^2 + -0.000007385 * T^3 + 0.00000003375 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00000657 * \sin(\text{Radians}(45.9109744 + -912395.5350758 * T - 0.0305476 * T^2 + -0.000043285 * T^3 + 0.00000020507 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00000635 * \sin(\text{Radians}(237.443268 + -619063.6303384 * T - 0.017544 * T^2 + -0.000024829 * T^3 + 0.0000001171 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00000604 * \sin(\text{Radians}(159.782682 + 832673.8607003 * T - 0.0369141 * T^2 - 0.000035998 * T^3 + 0.0000001697 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00000584 * \sin(\text{Radians}(307.7859927 + 339401.3991007 * T - 0.0103306 * T^2 - 0.000008609 * T^3 + 0.00000004028 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00000579 * \sin(\text{Radians}(129.3884097 + 1377803.5347372 * T - 0.0174436 * T^2 - 0.000009094 * T^3 + 0.0000000426 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00000568 * \sin(\text{Radians}(45.9572877 + -1513469.5648111 * T - 0.0110454 * T^2 - 0.00002418 * T^3 + 0.00000011478 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00000559 * \sin(\text{Radians}(342.0124071 + 403264.9113298 * T + 0.0109235 * T^2 + 0.000016422 * T^3 - 0.00000007797 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00000508 * \sin(\text{Radians}(33.5931943 + 892470.0787531 * T - 0.0048794 * T^2 + 0.000001508 * T^3 - 0.00000000769 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00000505 * \sin(\text{Radians}(95.0671841 + -988265.3470969 * T - 0.0270018 * T^2 - 0.000039054 * T^3 + 0.00000018507 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.000005 * \sin(\text{Radians}(261.786119 + -411203.9169454 * T + 0.0030958 * T^2 + 0.000000365 * T^3 - 0.00000000116 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00000491 * \sin(\text{Radians}(48.0891562 + 2869196.355684 * T + 0.0415822 * T^2 + 0.000071454 * T^3 - 0.0000003387 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.0000047 * \sin(\text{Radians}(150.621238 + 1811064.346462 * T + 0.0057263 * T^2 + 0.000022 * T^3 - 0.00000010451 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00000467 * \sin(\text{Radians}(118.7245899 + 10070.4440723 * T - 0.0231806 * T^2 - 0.000027106 * T^3 + 0.00000012826 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00000464 * \sin(\text{Radians}(93.3184126 + -117872.012208 * T + 0.0160993 * T^2 + 0.000018821 * T^3 - 0.00000008914 * T^4))$$

$$\begin{aligned}
Su &= Su + 0.00000445 * \sin(\text{Radians}(336.3851802 + \\
&1265739.089688 * T + -0.0062022 * T^2 + \\
&0.000003258 * T^3 + -0.00000001653 * T^4)) \\
Su &= Su + 0.00000444 * \sin(\text{Radians}(292.1803913 + \\
&-956333.5909823 * T + -0.0163748 * T^2 + - \\
&0.000026539 * T^3 + 0.00000012594 * T^4)) \\
Su &= Su + -0.00000436 * \sin(\text{Radians}(351.8592963 \\
&+ -1365601.6522081 * T + -0.0148983 * T^2 + - \\
&0.00002833 * T^3 + 0.00000013479 * T^4)) \\
Su &= Su + 0.00000413 * \sin(\text{Radians}(121.3366053 + \\
&1675202.7336509 * T + -0.0152207 * T^2 + - \\
&0.000003113 * T^3 + 0.00000001375 * T^4)) \\
Su &= Su + -0.00000412 * \sin(\text{Radians}(324.0307261 \\
&+ 1445734.3411427 * T + -0.0069701 * T^2 + \\
&0.000003462 * T^3 + -0.00000001653 * T^4)) \\
Su &= Su + 0.00000407 * \sin(\text{Radians}(80.3733245 + \\
&3154804.6866278 * T + -0.0131831 * T^2 + \\
&0.000010708 * T^3 + -0.00000005191 * T^4)) \\
Su &= Su + -0.00000377 * \sin(\text{Radians}(134.3301914 \\
&+ 1305805.4341553 * T + -0.0171364 * T^2 + - \\
&0.000009176 * T^3 + 0.0000000426 * T^4)) \\
Su &= Su + 0.00000375 * \sin(\text{Radians}(264.3518211 + \\
&1855002.4023685 * T + -0.0084466 * T^2 + \\
&0.000005253 * T^3 + -0.00000002538 * T^4)) \\
Su &= Su + -0.00000374 * \sin(\text{Radians}(207.0489957 \\
&+ -73933.9563015 * T + 0.0019265 * T^2 + \\
&0.000002075 * T^3 + -0.00000001 * T^4)) \\
Su &= Su + 0.00000367 * \sin(\text{Radians}(302.8442111 + \\
&411399.4996826 * T + -0.0106378 * T^2 + - \\
&0.000008527 * T^3 + 0.00000004028 * T^4)) \\
Su &= Su + 0.00000353 * \sin(\text{Radians}(209.6146978 + \\
&2192272.3630124 * T + -0.0096159 * T^2 + \\
&0.000006962 * T^3 + -0.00000003422 * T^4)) \\
Su &= Su + -0.00000351 * \sin(\text{Radians}(227.5597047 \\
&+ -475067.4291746 * T + -0.0181584 * T^2 + - \\
&0.000024666 * T^3 + 0.0000001171 * T^4))
\end{aligned}$$

$$Su = Su + -0.00000349 * \sin(\text{Radians}(159.6878707 + -1469531.5089046 * T + -0.0252182 * T^2 + -0.000040927 * T^3 + 0.00000019391 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00000342 * \sin(\text{Radians}(299.687875 + 1237874.6277498 * T + -0.0276099 * T^2 + -0.000021733 * T^3 + 0.00000010173 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00000336 * \sin(\text{Radians}(16.3336327 + 2769333.7931639 * T + 0.0204817 * T^2 + 0.000046382 * T^3 + -0.00000022045 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00000329 * \sin(\text{Radians}(148.8261532 + 3282531.7110861 * T + 0.0293251 * T^2 + 0.00006077 * T^3 + -0.00000028842 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00000328 * \sin(\text{Radians}(324.7065321 + 2881202.6554759 * T + 0.0167823 * T^2 + 0.000042192 * T^3 + -0.00000020044 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00000327 * \sin(\text{Radians}(23.0241858 + 1826942.3576931 * T + -0.0223123 * T^2 + -0.000011575 * T^3 + 0.00000005376 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00000321 * \sin(\text{Radians}(277.3454071 + 1485605.1028729 * T + -0.0103623 * T^2 + -0.000000081 * T^3 + 0.00000000348 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00000313 * \sin(\text{Radians}(187.6112522 + -1978662.1326505 * T + -0.0448423 * T^2 + -0.00006779 * T^3 + 0.00000032101 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00000303 * \sin(\text{Radians}(346.3731939 + 1198003.8660196 * T + -0.0242177 * T^2 + -0.000017461 * T^3 + 0.00000008172 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.00000291 * \sin(\text{Radians}(181.0155103 + 1265934.6724251 * T + -0.0137443 * T^2 + -0.000004904 * T^3 + 0.00000002259 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00000289 * \sin(\text{Radians}(201.4217688 + 788540.2220566 * T + -0.0151993 * T^2 + -0.00001109 * T^3 + 0.00000005144 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00000287 * \sin(\text{Radians}(183.3915899 + -1072269.7474707 * T + -0.0018948 * T^2 + -0.000009874 * T^3 + 0.00000004681 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00000286 * \sin(\text{Radians}(72.0855843 + -551132.8239328 * T + -0.0070706 * T^2 + -0.000012273 * T^3 + 0.00000005797 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00000285 * \sin(\text{Radians}(322.2819546 + 2316127.6760315 * T + 0.036131 * T^2 + 0.000061338 * T^3 + -0.00000029074 * T^4))$$

$$Su = Su + 0.00000282 * \sin(\text{Radians}(298.5782355 + 1918865.9145977 * T + 0.0128075 * T^2 + 0.000030284 * T^3 + -0.00000014363 * T^4))$$

$$Su = Su + -0.0000028 * \sin(\text{Radians}(253.7343146 + -113804.7180317 * T + 0.0053187 * T^2 + 0.000006347 * T^3 + -0.00000003001 * T^4))$$

'Koreksi Lintang Kedua (Su')

$$Su1 = Su1 + -2.23474 * \sin(\text{Radians}(218.3174 + 481267.8813 * T))$$

$$Su1 = Su1 + 0.4195 * \sin(\text{Radians}(314.9967 + 481266.4844 * T))$$

$$Su1 = Su1 + 0.1751 * \sin(\text{Radians}(213.0248 + 483333.8664 * T))$$

$$Su1 = Su1 + 0.17504 * \sin(\text{Radians}(26.4804 + -483070.1687 * T))$$

$$Su1 = Su1 + 0.12663 * \sin(\text{Radians}(83.354 + 4069.0137 * T))$$

$$Su1 = Su1 + -0.11548 * \sin(\text{Radians}(353.2808 + 958466.749 * T))$$

$$Su1 = Su1 + 0.09062 * \sin(\text{Radians}(31.7733 + -485136.1537 * T))$$

$$Su1 = Su1 + 0.08293 * \sin(\text{Radians}(342.617 + -409266.3417 * T))$$

$$Su1 = Su1 + -0.02319 * \sin(\text{Radians}(319.0544 + 894603.2367 * T))$$

$$Su1 = Su1 + 0.02234 * \sin(\text{Radians}(343.3612 + 479333.7452 * T))$$

$$Su1 = Su1 + -0.02154 * \sin(\text{Radians}(178.4856 + 4067.6167 * T))$$

$$\begin{aligned} \text{Su1} &= \text{Su1} + 0.02037 * \sin(\text{Radians}(117.5804 + 67932.5259 * T)) \\ \text{Su1} &= \text{Su1} + 0.02013 * \sin(\text{Radians}(88.4122 + 958465.352 * T)) \\ \text{Su1} &= \text{Su1} + 0.01935 * \sin(\text{Radians}(251.5173 + -960269.0363 * T)) \\ \text{Su1} &= \text{Su1} + 0.01874 * \sin(\text{Radians}(347.9895 + 960532.734 * T)) \\ \text{Su1} &= \text{Su1} + 0.01851 * \sin(\text{Radians}(1.8346 + 483925.0468 * T)) \\ \text{Su1} &= \text{Su1} + -0.01451 * \sin(\text{Radians}(139.8144 + -3937.7278 * T)) \\ \text{Su1} &= \text{Su1} + -0.01408 * \sin(\text{Radians}(326.3604 + 962466.3073 * T)) \\ \text{Su1} &= \text{Su1} + -0.01379 * \sin(\text{Radians}(250.1212 + 475196.673 * T)) \\ \text{Su1} &= \text{Su1} + -0.01343 * \sin(\text{Radians}(77.7485 + -409267.7387 * T)) \\ \text{Su1} &= \text{Su1} + -0.01288 * \sin(\text{Radians}(94.0178 + 1371802.1044 * T)) \\ \text{Su1} &= \text{Su1} + 0.01171 * \sin(\text{Radians}(27.0252 + 474887.534 * T)) \\ \text{Su1} &= \text{Su1} + 0.01105 * \sin(\text{Radians}(256.8101 + -962335.0213 * T)) \\ \text{Su1} &= \text{Su1} + -0.01079 * \sin(\text{Radians}(272.4669 + 483547.7102 * T)) \\ \text{Su1} &= \text{Su1} + -0.01031 * \sin(\text{Radians}(133.766 + 485860.5799 * T)) \\ \text{Su1} &= \text{Su1} + 0.00967 * \sin(\text{Radians}(148.1767 + 484301.39 * T)) \\ \text{Su1} &= \text{Su1} + -0.00859 * \sin(\text{Radians}(251.9923 + -2311.3337 * T)) \\ \text{Su1} &= \text{Su1} + 0.00849 * \sin(\text{Radians}(285.4666 + -374367.7383 * T)) \\ \text{Su1} &= \text{Su1} + 0.00801 * \sin(\text{Radians}(239.9516 + 499341.5099 * T)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Su1 &= Su1 + -0.00795 * \sin(\text{Radians}(78.5308 + 964092.7014 * T)) \\
Su1 &= Su1 + -0.0076 * \sin(\text{Radians}(43.1678 + 503784.9272 * T)) \\
Su1 &= Su1 + 0.00692 * \sin(\text{Radians}(183.352 + -483220.847 * T)) \\
Su1 &= Su1 + 0.00692 * \sin(\text{Radians}(9.939 + 483183.1881 * T)) \\
Su1 &= Su1 + -0.00668 * \sin(\text{Radians}(128.2441 + 1435665.6166 * T)) \\
Su1 &= Su1 + -0.00655 * \sin(\text{Radians}(108.5203 + 497405.9768 * T)) \\
Su1 &= Su1 + 0.00652 * \sin(\text{Radians}(250.5689 + 407312.0193 * T)) \\
Su1 &= Su1 + 0.00652 * \sin(\text{Radians}(325.7099 + -407352.3917 * T)) \\
Su1 &= Su1 + 0.00626 * \sin(\text{Radians}(20.9585 + -362295.3199 * T)) \\
Su1 &= Su1 + 0.00609 * \sin(\text{Radians}(274.6895 + 473261.1399 * T)) \\
Su1 &= Su1 + 0.00606 * \sin(\text{Radians}(337.3239 + -407200.3566 * T)) \\
Su1 &= Su1 + 0.00605 * \sin(\text{Radians}(262.1806 + 407464.0544 * T)) \\
Su1 &= Su1 + 0.00559 * \sin(\text{Radians}(301.9728 + 959431.4016 * T)) \\
Su1 &= Su1 + -0.00558 * \sin(\text{Radians}(299.0703 + -384813.7627 * T)) \\
Su1 &= Su1 + 0.00554 * \sin(\text{Radians}(305.4557 + 452369.0911 * T)) \\
Su1 &= Su1 + 0.00533 * \sin(\text{Radians}(115.4239 + -6972.6334 * T)) \\
Su1 &= Su1 + 0.00485 * \sin(\text{Radians}(308.3905 + -473129.8539 * T)) \\
Su1 &= Su1 + 0.00457 * \sin(\text{Radians}(207.6536 + -886465.2093 * T))
\end{aligned}$$

$$Su1 = Su1 + -0.00455 * \sin(\text{Radians}(232.0839 + 478822.2568 * T))$$

$$Su1 = Su1 + 0.00418 * \sin(\text{Radians}(54.1859 + 894601.8398 * T))$$

$$Su1 = Su1 + 0.00391 * \sin(\text{Radians}(208.9975 + 440296.6727 * T))$$

$$Su1 = Su1 + 0.00391 * \sin(\text{Radians}(285.742 + -896405.5241 * T))$$

$$Su1 = Su1 + 0.0039 * \sin(\text{Radians}(340.1461 + -373267.2914 * T))$$

$$Su1 = Su1 + -0.00388 * \sin(\text{Radians}(275.6916 + 481225.7267 * T))$$

$$Su1 = Su1 + -0.00386 * \sin(\text{Radians}(76.983 + 454304.6243 * T))$$

$$Su1 = Su1 + 0.00379 * \sin(\text{Radians}(313.7613 + 896669.2218 * T))$$

$$Su1 = Su1 + -0.00375 * \sin(\text{Radians}(124.6414 + 526303.37 * T))$$

$$Su1 = Su1 + -0.00356 * \sin(\text{Radians}(62.5822 + 482488.5982 * T))$$

$$Su1 = Su1 + -0.00342 * \sin(\text{Radians}(350.7216 + -341403.2711 * T))$$

$$Su1 = Su1 + 0.00338 * \sin(\text{Radians}(150.7798 + -1373604.3917 * T))$$

$$Su1 = Su1 + -0.00336 * \sin(\text{Radians}(212.7119 + 67931.129 * T))$$

$$Su1 = Su1 + 0.00335 * \sin(\text{Radians}(88.7251 + 1373868.0894 * T))$$

$$Su1 = Su1 + -0.00308 * \sin(\text{Radians}(161.5677 + 481417.1627 * T))$$

$$Su1 = Su1 + -0.00283 * \sin(\text{Radians}(158.2395 + 476823.0671 * T))$$

$$Su1 = Su1 + 0.00279 * \sin(\text{Radians}(267.4739 + 405398.0693 * T))$$

'Koreksi Lintang Ketiga (Su")

$$Su2 = Su2 + -0.02064 * \sin(\text{Radians}(144.899 + 371333.155 * T))$$

$$Su2 = Su2 + 0.00845 * \sin(\text{Radians}(139.957 + 443331.256 * T))$$

$$Su2 = Su2 + -0.00619 * \sin(\text{Radians}(196.48 + 860538.323 * T))$$

$$Su2 = Su2 + -0.00555 * \sin(\text{Radians}(331.443 + 1337737.19 * T))$$

$$Su2 = Su2 + -0.00519 * \sin(\text{Radians}(9.936 + -105865.712 * T))$$

$$Su2 = Su2 + 0.00471 * \sin(\text{Radians}(129.294 + -924401.835 * T))$$

$$Su2 = Su2 + 0.00451 * \sin(\text{Radians}(90.801 + 519201.068 * T))$$

$$Su2 = Su2 + 0.00394 * \sin(\text{Radians}(315.838 + 42002.2 * T))$$

$$Su2 = Su2 + 0.00372 * \sin(\text{Radians}(225.765 + 996399.935 * T))$$

$$Su2 = Su2 + 0.00362 * \sin(\text{Radians}(52.758 + 481266.484 * T))$$

$$Su2 = Su2 + 0.00355 * \sin(\text{Radians}(39.22 + 29995.9 * T))$$

$$Su2 = Su2 + 0.00338 * \sin(\text{Radians}(264.257 + -447202.967 * T))$$

$$Su2 = Su2 + -0.00313 * \sin(\text{Radians}(294.447 + -483070.169 * T))$$

$$Su2 = Su2 + -0.00312 * \sin(\text{Radians}(121.106 + 483333.866 * T))$$

$$Su2 = Su2 + -0.00152 * \sin(\text{Radians}(147.37 + 335334.105 * T))$$

$$Su2 = Su2 + -0.00123 * \sin(\text{Radians}(279.863 + 848532.023 * T))$$

$$Su2 = Su2 + 0.00095 * \sin(\text{Radians}(218.317 + 481267.881 * T))$$

$$Su2 = Su2 + 0.00092 * \sin(\text{Radians}(191.538 + 932536.423 * T))$$

$$Su2 = Su2 + 0.00088 * \sin(\text{Radians}(326.502 + 1409735.291 * T))$$

$$Su2 = Su2 + 0.00082 * \sin(\text{Radians}(142.428 + 407332.206 * T))$$

$$Su2 = Su2 + -0.00079 * \sin(\text{Radians}(106.407 + 1814936.058 * T))$$

$$Su2 = Su2 + 0.00057 * \sin(\text{Radians}(274.921 + 920530.123 * T))$$

$$Su2 = Su2 + -0.00056 * \sin(\text{Radians}(28.651 + 964468.179 * T))$$

$$Su2 = Su2 + -0.00056 * \sin(\text{Radians}(202.107 + -1935.856 * T))$$

$$Su2 = Su2 + 0.00056 * \sin(\text{Radians}(354.33 + -1401600.702 * T))$$

$$Su2 = Su2 + 0.00055 * \sin(\text{Radians}(4.994 + -33867.612 * T))$$

$$Su2 = Su2 + -0.00054 * \sin(\text{Radians}(333.914 + 1301738.14 * T))$$

$$Su2 = Su2 + -0.00046 * \sin(\text{Radians}(234.972 + -583064.58 * T))$$

$$Su2 = Su2 + 0.00045 * \sin(\text{Radians}(0.728 + 1473598.803 * T))$$

$$Su2 = Su2 + -0.00044 * \sin(\text{Radians}(198.951 + 824539.272 * T))$$

$$Su2 = Su2 + -0.00041 * \sin(\text{Radians}(245.636 + 784668.511 * T))$$

$$Su2 = Su2 + -0.00038 * \sin(\text{Radians}(12.407 + -141864.763 * T))$$

$$Su2 = Su2 + -0.00035 * \sin(\text{Radians}(159.534 + -960269.036 * T))$$

$$Su2 = Su2 + -0.00034 * \sin(\text{Radians}(256.123 + 960532.734 * T))$$

$$Su2 = Su2 + -0.00029 * \sin(\text{Radians}(20.6 + 1261867.378 * T))$$

$$Su2 = Su2 + -0.00024 * \sin(\text{Radians}(72.18 + 1751072.546 * T))$$

$$\begin{aligned}
Su2 &= Su2 + 0.00022 * \sin(\text{Radians}(174.184 + 507194.768 * T)) \\
Su2 &= Su2 + 0.00021 * \sin(\text{Radians}(180.874 + -435196.667 * T)) \\
Su2 &= Su2 + 0.00019 * \sin(\text{Radians}(137.487 + 479330.306 * T)) \\
Su2 &= Su2 + -0.00018 * \sin(\text{Radians}(278.166 + 4067.617 * T)) \\
Su2 &= Su2 + 0.00018 * \sin(\text{Radians}(96.899 + 483183.188 * T)) \\
Su2 &= Su2 + 0.00018 * \sin(\text{Radians}(270.354 + -483220.847 * T)) \\
Su2 &= Su2 + 0.00017 * \sin(\text{Radians}(188.093 + 958465.352 * T)) \\
Su2 &= Su2 + 0.00017 * \sin(\text{Radians}(101.465 + 1886934.158 * T)) \\
Su2 &= Su2 + 0.00016 * \sin(\text{Radians}(189.067 + 968535.474 * T)) \\
Su2 &= Su2 + 0.00016 * \sin(\text{Radians}(105.132 + 483925.047 * T)) \\
Su2 &= Su2 + 0.00016 * \sin(\text{Radians}(126.823 + -888402.785 * T)) \\
Su2 &= Su2 + -0.00015 * \sin(\text{Radians}(297.217 + 1273873.678 * T)) \\
Su2 &= Su2 + 0.00015 * \sin(\text{Radians}(2.523 + 2131.438 * T)) \\
Su2 &= Su2 + 0.00015 * \sin(\text{Radians}(328.973 + 1373736.241 * T)) \\
Su2 &= Su2 + 0.00013 * \sin(\text{Radians}(313.367 + 78001.25 * T)) \\
Su2 &= Su2 + 0.00012 * \sin(\text{Radians}(240.694 + 856666.611 * T)) \\
Su2 &= Su2 + 0.00011 * \sin(\text{Radians}(62.211 + -485709.902 * T)) \\
Su2 &= Su2 + -0.00011 * \sin(\text{Radians}(177.429 + -409267.739 * T))
\end{aligned}$$

$$Su2 = Su2 + -0.00011 * \sin(\text{Radians}(207.144 + 2228271.413 * T))$$

$$Su2 = Su2 + -0.00011 * \sin(\text{Radians}(245.347 + -407200.357 * T))$$

$$Su2 = Su2 + -0.00011 * \sin(\text{Radians}(170.204 + 407464.054 * T))$$

$$Su2 = Su2 + 0.0001 * \sin(\text{Radians}(194.009 + 896537.373 * T))$$

$$Su2 = Su2 + 0.0001 * \sin(\text{Radians}(156.11 + 499341.51 * T))$$

$$Su2 = Su2 + -0.0001 * \sin(\text{Radians}(282.334 + 812532.973 * T))$$

$$Su2 = Su2 + -0.00009 * \sin(\text{Radians}(54.826 + 1325730.89 * T))$$

$$Su2 = Su2 + 0.00009 * \sin(\text{Radians}(303.156 + 475196.673 * T))$$

$$Su2 = Su2 + -0.00009 * \sin(\text{Radians}(241.37 + 2292134.926 * T))$$

$$Su2 = Su2 + 0.00009 * \sin(\text{Radians}(36.75 + 65994.951 * T))$$

'Koreksi Lintang Keempat (Su''')

$$Su3 = Su3 + -0.61 * \sin(\text{Radians}(144.9 + 371333.2 * T))$$

$$Su3 = Su3 + 0.25 * \sin(\text{Radians}(140 + 443331.3 * T))$$

$$Su3 = Su3 + -0.17 * \sin(\text{Radians}(331.4 + 1337737.2 * T))$$

$$Su3 = Su3 + -0.17 * \sin(\text{Radians}(196.5 + 860538.3 * T))$$

$$Su3 = Su3 + -0.14 * \sin(\text{Radians}(9.9 + -105865.7 * T))$$

$$Su3 = Su3 + 0.14 * \sin(\text{Radians}(90.8 + 519201.1 * T))$$

$$Su3 = Su3 + 0.14 * \sin(\text{Radians}(129.3 + -924401.8 * T))$$

```

 Su3 = Su3 + 0.11 * Sin(Radians(225.8 + 996399.9 *
T))
 Su3 = Su3 + 0.11 * Sin(Radians(39.2 + 29995.9 *
T))
 Su3 = Su3 + 0.11 * Sin(Radians(264.3 + -447203 *
T))
 Su3 = Su3 + 0.11 * Sin(Radians(315.8 + 42002.2 *
T))
 Su3 = Su3 + -0.06 * Sin(Radians(147.4 + 335334.1
* T))

```

```

'Geometri Lintang Ekliptika Bulan (U)
u = Su + (Su1 + T * Su2 + 10 ^ -4 * T ^ 2 * Su3) /
1000

```

```

GeometricLatitude_Janus = u
End Function

```

- c. Fungsi Geometri *Range* Geosentris Janus
- ```

Public Function GeometricRange_Janus(ByVal JDEorJD
As Double) As Double
    Dim T As Double
    Dim R As Double
    Dim Sr As Double
    Dim Sr1 As Double
    Dim Sr2 As Double
    Dim Sr3 As Double

```

```

T = (JDEorJD - 2451545) / 36525

```

```

'Korkesi Jarak Bulan Pertama (Sr)
Sr = Sr + -20905.355 * Cos(Radians(134.9634114 +
477198.8676313 * T + 0.008997 * T ^ 2 + 0.000014348
* T ^ 3 + -0.00000006797 * T ^ 4))
Sr = Sr + -3699.1109 * Cos(Radians(100.736997 +
413335.3554022 * T + -0.0122571 * T ^ 2 + -
0.000010684 * T ^ 3 + 0.00000005028 * T ^ 4))

```

$$Sr = Sr + -2955.9676 * \text{Cos}(\text{Radians}(235.7004084 + 890534.2230335 * T + -0.0032601 * T^2 + 0.000003664 * T^3 + -0.00000001769 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -569.9251 * \text{Cos}(\text{Radians}(269.9268228 + 954397.7352627 * T + 0.0179941 * T^2 + 0.000028695 * T^3 + -0.00000013594 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 246.1585 * \text{Cos}(\text{Radians}(325.7735856 + -63863.5122292 * T + -0.0212541 * T^2 + -0.000025031 * T^3 + 0.00000011826 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -204.586 * \text{Cos}(\text{Radians}(238.1712992 + 854535.1727426 * T + -0.0031065 * T^2 + 0.000003623 * T^3 + -0.00000001769 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -170.7331 * \text{Cos}(\text{Radians}(10.6638198 + 1367733.0906648 * T + 0.005737 * T^2 + 0.000018011 * T^3 + -0.00000008566 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -152.1377 * \text{Cos}(\text{Radians}(103.2078878 + 377336.3051112 * T + -0.0121035 * T^2 + -0.000010724 * T^3 + 0.00000005028 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -129.6201 * \text{Cos}(\text{Radians}(222.5656978 + -441199.8173404 * T + -0.0091506 * T^2 + -0.000014307 * T^3 + 0.00000006797 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 108.7427 * \text{Cos}(\text{Radians}(297.8502042 + 445267.1115168 * T + -0.00163 * T^2 + 0.000001832 * T^3 + -0.00000000884 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 104.7552 * \text{Cos}(\text{Radians}(132.4925206 + 513197.9179223 * T + 0.0088434 * T^2 + 0.000014388 * T^3 + -0.00000006797 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 79.6606 * \text{Cos}(\text{Radians}(308.4192127 + -489205.1674233 * T + 0.0158029 * T^2 + 0.000014915 * T^3 + -0.00000007029 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 48.8883 * \text{Cos}(\text{Radians}(357.5291092 + 35999.0502909 * T + -0.0001536 * T^2 + 0.000000041 * T^3 + 0 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -34.7825 * \text{Cos}(\text{Radians}(336.4374054 + 1303869.5784357 * T + -0.0155171 * T^2 + -0.00000702 * T^3 + 0.00000003259 * T^4))$$

$$\begin{aligned}
& \text{Sr} = \text{Sr} + 30.8238 * \text{Cos}(\text{Radians}(233.2295176 + \\
& 926533.2733244 * \text{T} + -0.0034136 * \text{T}^2 + \\
& 0.000003705 * \text{T}^3 + -0.00000001769 * \text{T}^4)) \\
& \text{Sr} = \text{Sr} + 24.2085 * \text{Cos}(\text{Radians}(98.2661062 + \\
& 449334.4056931 * \text{T} + -0.0124107 * \text{T}^2 + - \\
& 0.000010643 * \text{T}^3 + 0.00000005028 * \text{T}^4)) \\
& \text{Sr} = \text{Sr} + -23.2104 * \text{Cos}(\text{Radians}(44.8902341 + \\
& 1431596.602894 * \text{T} + 0.0269911 * \text{T}^2 + 0.000043043 \\
& * \text{T}^3 + -0.00000020392 * \text{T}^4)) \\
& \text{Sr} = \text{Sr} + -21.6363 * \text{Cos}(\text{Radians}(201.473994 + \\
& 826670.7108043 * \text{T} + -0.0245142 * \text{T}^2 + - \\
& 0.000021367 * \text{T}^3 + 0.00000010057 * \text{T}^4)) \\
& \text{Sr} = \text{Sr} + -16.6747 * \text{Cos}(\text{Radians}(295.3793134 + \\
& 481266.1618077 * \text{T} + -0.0017836 * \text{T}^2 + \\
& 0.000001873 * \text{T}^3 + -0.00000000884 * \text{T}^4)) \\
& \text{Sr} = \text{Sr} + 14.4027 * \text{Cos}(\text{Radians}(190.8101743 + - \\
& 541062.3798605 * \text{T} + -0.0302511 * \text{T}^2 + - \\
& 0.000039379 * \text{T}^3 + 0.00000018623 * \text{T}^4)) \\
& \text{Sr} = \text{Sr} + -12.8314 * \text{Cos}(\text{Radians}(13.1347106 + \\
& 1331734.0403739 * \text{T} + 0.0058906 * \text{T}^2 + \\
& 0.000017971 * \text{T}^3 + -0.00000008566 * \text{T}^4)) \\
& \text{Sr} = \text{Sr} + -11.65 * \text{Cos}(\text{Radians}(111.4008168 + \\
& 1781068.446067 * \text{T} + -0.0065201 * \text{T}^2 + \\
& 0.000007328 * \text{T}^3 + -0.00000003538 * \text{T}^4)) \\
& \text{Sr} = \text{Sr} + -10.4448 * \text{Cos}(\text{Radians}(145.6272312 + \\
& 1844931.9582962 * \text{T} + 0.014734 * \text{T}^2 + 0.000032359 \\
& * \text{T}^3 + -0.00000015363 * \text{T}^4)) \\
& \text{Sr} = \text{Sr} + 10.3211 * \text{Cos}(\text{Radians}(49.1562098 + - \\
& 75869.8120211 * \text{T} + 0.0035458 * \text{T}^2 + 0.000004231 \\
& * \text{T}^3 + -0.00000002001 * \text{T}^4)) \\
& \text{Sr} = \text{Sr} + 10.0562 * \text{Cos}(\text{Radians}(328.2444765 + - \\
& 99862.5625201 * \text{T} + -0.0211005 * \text{T}^2 + -0.000025072 \\
& * \text{T}^3 + 0.00000011826 * \text{T}^4)) \\
& \text{Sr} = \text{Sr} + -9.8844 * \text{Cos}(\text{Radians}(240.64219 + \\
& 818536.1224516 * \text{T} + -0.0029529 * \text{T}^2 + \\
& 0.000003582 * \text{T}^3 + -0.00000001769 * \text{T}^4))
\end{aligned}$$

$$Sr = Sr + 8.7516 * \text{Cos}(\text{Radians}(274.1927984 + -553068.6796524 * T + -0.0054513 * T^2 + -0.000010116 * T^3 + 0.00000004797 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -8.3791 * \text{Cos}(\text{Radians}(162.8867928 + -31931.7561146 * T + -0.0106271 * T^2 + -0.000012516 * T^3 + 0.00000005913 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -7.0027 * \text{Cos}(\text{Radians}(87.6022864 + -918398.6849717 * T + -0.0181476 * T^2 + -0.000028654 * T^3 + 0.00000013594 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 6.322 * \text{Cos}(\text{Radians}(72.8136156 + 922465.9791481 * T + 0.007367 * T^2 + 0.000016179 * T^3 + -0.00000007682 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 5.7509 * \text{Cos}(\text{Radians}(267.4559319 + 990396.7855536 * T + 0.0178405 * T^2 + 0.000028736 * T^3 + -0.00000013594 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -4.9501 * \text{Cos}(\text{Radians}(105.6787787 + 341337.2548203 * T + -0.0119499 * T^2 + -0.000010765 * T^3 + 0.00000005028 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -4.4212 * \text{Cos}(\text{Radians}(83.3826241 + -12006.2997919 * T + 0.0247999 * T^2 + 0.000029262 * T^3 + -0.00000013826 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 4.1311 * \text{Cos}(\text{Radians}(184.1196211 + 401329.0556102 * T + 0.0125428 * T^2 + 0.000018579 * T^3 + -0.00000008798 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -3.958 * \text{Cos}(\text{Radians}(338.9082962 + 1267870.5281447 * T + -0.0153636 * T^2 + -0.000007061 * T^3 + 0.00000003259 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 3.2582 * \text{Cos}(\text{Radians}(38.5872012 + 858602.4669189 * T + -0.0138871 * T^2 + -0.000008852 * T^3 + 0.00000004144 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -3.1483 * \text{Cos}(\text{Radians}(186.5441986 + 966404.0350546 * T + -0.0068058 * T^2 + -0.000000567 * T^3 + 0.00000000232 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 2.6164 * \text{Cos}(\text{Radians}(8.192929 + 1403732.1409558 * T + 0.0055834 * T^2 + 0.000018052 * T^3 + -0.00000008566 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 2.3536 * \text{Cos}(\text{Radians}(95.7952154 + 485333.4559841 * T + -0.0125643 * T^2 + -0.000010602 * T^3 + 0.00000005028 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -2.1171 * \text{Cos}(\text{Radians}(220.094807 + -405200.7670494 * T + -0.0093042 * T^2 + -0.000014266 * T^3 + 0.00000006797 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -1.897 * \text{Cos}(\text{Radians}(203.9448849 + 790671.6605134 * T + -0.0243606 * T^2 + -0.000021408 * T^3 + 0.00000010057 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -1.7385 * \text{Cos}(\text{Radians}(27.9233814 + -509130.6237459 * T + -0.0196241 * T^2 + -0.000026863 * T^3 + 0.0000001271 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -1.5714 * \text{Cos}(\text{Radians}(113.8717076 + 1745069.3957761 * T + -0.0063665 * T^2 + 0.000007287 * T^3 + -0.00000003538 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -1.4226 * \text{Cos}(\text{Radians}(246.3642282 + 2258267.3136983 * T + 0.0024769 * T^2 + 0.000021675 * T^3 + -0.00000010335 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -1.4189 * \text{Cos}(\text{Radians}(173.5506126 + 1335801.3345503 * T + -0.0048901 * T^2 + 0.000005496 * T^3 + -0.00000002653 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 1.1655 * \text{Cos}(\text{Radians}(130.0216297 + 549196.9682132 * T + 0.0086899 * T^2 + 0.000014429 * T^3 + -0.00000006797 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -1.1169 * \text{Cos}(\text{Radians}(179.8536455 + 1908795.4705253 * T + 0.0359881 * T^2 + 0.00005739 * T^3 + -0.00000027189 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 1.0657 * \text{Cos}(\text{Radians}(355.0582184 + 71998.1005819 * T + -0.0003072 * T^2 + 0.000000082 * T^3 + 0 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.9333 * \text{Cos}(\text{Radians}(70.3427248 + 958465.029439 * T + 0.0072134 * T^2 + 0.00001622 * T^3 + -0.00000007682 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.8624 * \text{Cos}(\text{Radians}(263.6237898 + 381403.5992876 * T + -0.0228841 * T^2 + -0.000023199 * T^3 + 0.00000010941 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.8512 * \text{Cos}(\text{Radians}(160.415902 + 4067.2941764 * T - 0.0107806 * T^2 - 0.000012475 * T^3 + 0.00000005913 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.8488 * \text{Cos}(\text{Radians}(148.098122 + 1808932.9080052 * T + 0.0148876 * T^2 + 0.000032318 * T^3 - 0.00000015363 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.7956 * \text{Cos}(\text{Radians}(111.3060056 + -521136.9235379 * T + 0.0051758 * T^2 + 0.000002399 * T^3 - 0.00000001116 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.7785 * \text{Cos}(\text{Radians}(55.8467629 + -1018261.2474918 * T + -0.0392482 * T^2 + -0.000053726 * T^3 + 0.0000002542 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.774 * \text{Cos}(\text{Radians}(152.3177843 + 902540.5228254 * T + -0.0280599 * T^2 + -0.000025598 * T^3 + 0.00000012057 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.6697 * \text{Cos}(\text{Radians}(280.5906425 + 2322130.8259275 * T + 0.023731 * T^2 + 0.000046706 * T^3 - 0.00000022161 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.6575 * \text{Cos}(\text{Radians}(15.6056014 + 1295734.9900829 * T + 0.0060441 * T^2 + 0.00001793 * T^3 - 0.00000008566 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.6571 * \text{Cos}(\text{Radians}(51.6271006 + -111868.8623121 * T + 0.0036994 * T^2 + 0.00000419 * T^3 - 0.00000002001 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.5963 * \text{Cos}(\text{Radians}(287.2811957 + 1379739.3904568 * T + -0.0190629 * T^2 + -0.000011251 * T^3 + 0.0000000526 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.5788 * \text{Cos}(\text{Radians}(333.9665146 + 1339868.6287266 * T + -0.0156707 * T^2 + -0.000006979 * T^3 + 0.00000003259 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.5142 * \text{Cos}(\text{Radians}(66.5105827 + 349471.843173 * T + -0.0335112 * T^2 + -0.000035715 * T^3 + 0.00000016854 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.5079 * \text{Cos}(\text{Radians}(284.8566182 + 814664.4110124 * T + 0.0002857 * T^2 + 0.000007895 * T^3 - 0.00000003769 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.4976 * \cos(\text{Radians}(300.321095 + 409268.0612258 * T - 0.0014764 * T^2 + 0.000001791 * T^3 - 0.00000000884 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.495 * \cos(\text{Radians}(193.2810651 + 577061.4301514 * T - 0.0300976 * T^2 + 0.000039419 * T^3 + 0.00000018623 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.4726 * \cos(\text{Radians}(139.229387 + 1030267.5472838 * T - 0.0144483 * T^2 + 0.000024464 * T^3 + 0.00000011594 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.4225 * \cos(\text{Radians}(77.1744024 + 1717204.9338378 * T - 0.0277742 * T^2 + 0.000017703 * T^3 + 0.00000008288 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.4224 * \cos(\text{Radians}(312.6388751 + 1395597.5526031 * T - 0.0271447 * T^2 + 0.000043002 * T^3 + 0.00000020392 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.4107 * \cos(\text{Radians}(243.1130809 + 782537.0721607 * T - 0.0027993 * T^2 + 0.000003541 * T^3 - 0.00000001769 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.3785 * \cos(\text{Radians}(207.777027 + 1399664.8467794 * T + 0.016364 * T^2 + 0.000030527 * T^3 - 0.00000014479 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.3551 * \cos(\text{Radians}(42.4193433 + 1467595.6531849 * T + 0.0268375 * T^2 + 0.000043083 * T^3 - 0.00000020392 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.343 * \cos(\text{Radians}(330.7153673 + 135861.6128111 * T - 0.0209469 * T^2 + 0.000025113 * T^3 + 0.00000011826 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.3346 * \cos(\text{Radians}(49.1098964 + 525204.2177142 * T - 0.0159564 * T^2 + 0.000014874 * T^3 + 0.00000007029 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.3323 * \cos(\text{Radians}(25.4524906 + 473131.573455 * T - 0.0197777 * T^2 - 0.000026822 * T^3 + 0.0000001271 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.3233 * \cos(\text{Radians}(276.6636892 + 589067.7299434 * T - 0.0052977 * T^2 + 0.000010157 * T^3 + 0.00000004797 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.3218 * \text{Cos}(\text{Radians}(149.8932068 + 337465.5433811 * T + -0.0087113 * T^2 + -0.000006453 * T^3 + 0.00000003028 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.2866 * \text{Cos}(\text{Radians}(212.1378138 + 2194403.8014692 * T + -0.0187772 * T^2 + -0.000003356 * T^3 + 0.00000001491 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.284 * \text{Cos}(\text{Radians}(319.0830325 + 878527.9232416 * T + 0.0215398 * T^2 + 0.000032926 * T^3 + -0.00000015595 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.279 * \text{Cos}(\text{Radians}(341.3791871 + 1231871.4778538 * T + -0.01521 * T^2 + -0.000007101 * T^3 + 0.00000003259 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.2556 * \text{Cos}(\text{Radians}(41.058092 + 822603.416628 * T + -0.0137335 * T^2 + -0.000008893 * T^3 + 0.00000004144 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.2481 * \text{Cos}(\text{Radians}(305.9483219 + -453206.1171323 * T + 0.0156493 * T^2 + 0.000014956 * T^3 + -0.00000007029 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.2445 * \text{Cos}(\text{Radians}(108.929926 + 1817067.4963579 * T + -0.0066737 * T^2 + 0.000007369 * T^3 + -0.00000003538 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.237 * \text{Cos}(\text{Radians}(199.0031032 + 862669.7610953 * T + -0.0246678 * T^2 + -0.000021326 * T^3 + 0.00000010057 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.2126 * \text{Cos}(\text{Radians}(36.1163104 + 894601.5172099 * T + -0.0140407 * T^2 + -0.000008811 * T^3 + 0.00000004144 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.2125 * \text{Cos}(\text{Radians}(143.1563403 + 1880931.0085871 * T + 0.0145804 * T^2 + 0.0000324 * T^3 + -0.00000015363 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.2094 * \text{Cos}(\text{Radians}(186.590512 + 365330.0053193 * T + 0.0126964 * T^2 + 0.000018538 * T^3 + -0.00000008798 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.2029 * \text{Cos}(\text{Radians}(248.835119 + 2222268.2634074 * T + 0.0026305 * T^2 + 0.000021634 * T^3 + -0.00000010335 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.201 * \text{Cos}(\text{Radians}(347.006414 + 369397.2994956 * T + 0.0019158 * T^2 + 0.000006063 * T^3 - 0.00000002885 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.1857 * \text{Cos}(\text{Radians}(170.9849105 + -930404.9847637 * T + 0.0066523 * T^2 + 0.000000608 * T^3 + -0.00000000232 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.1832 * \text{Cos}(\text{Radians}(302.2109911 + 1240006.0662065 * T + -0.0367713 * T^2 + -0.000032051 * T^3 + 0.00000015085 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.1686 * \text{Cos}(\text{Radians}(188.3392834 + -505063.3295696 * T + -0.0304047 * T^2 + -0.000039338 * T^3 + 0.00000018623 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.158 * \text{Cos}(\text{Radians}(184.0733078 + 1002403.0853456 * T + -0.0069594 * T^2 + -0.000000526 * T^3 + 0.00000000232 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.1571 * \text{Cos}(\text{Radians}(176.0215034 + 1299802.2842593 * T + -0.0047365 * T^2 + 0.000005455 * T^3 + -0.00000002653 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.1481 * \text{Cos}(\text{Radians}(108.1496695 + 305338.2045293 * T + -0.0117963 * T^2 + -0.000010806 * T^3 + 0.00000005028 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.1476 * \text{Cos}(\text{Radians}(230.7586268 + 962532.3236154 * T + -0.0035672 * T^2 + 0.000003746 * T^3 + -0.00000001769 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.1437 * \text{Cos}(\text{Radians}(323.3026948 + -27864.4619382 * T + -0.0214077 * T^2 + -0.00002499 * T^3 + 0.00000011826 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.1392 * \text{Cos}(\text{Radians}(21.3276396 + 2735466.1813297 * T + 0.0114739 * T^2 + 0.000036023 * T^3 + -0.00000017132 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.1362 * \text{Cos}(\text{Radians}(85.1313956 + -882399.6346808 * T + -0.0183012 * T^2 + -0.000028613 * T^3 + 0.00000013594 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.1357 * \text{Cos}(\text{Radians}(46.6853189 + -39870.7617302 * T + 0.0033922 * T^2 + 0.000004272 * T^3 + -0.00000002001 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.1281 * \text{Cos}(\text{Radians}(116.3425984 + 1709070.3454851 * T + -0.0062129 * T^2 + 0.000007246 * T^3 + -0.00000003538 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.1141 * \text{Cos}(\text{Radians}(165.3576836 + -67930.8064055 * T + -0.0104735 * T^2 + -0.000012556 * T^3 + 0.00000005913 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.11 * \text{Cos}(\text{Radians}(75.2845064 + 886466.9288571 * T + 0.0075206 * T^2 + 0.000016139 * T^3 + -0.00000007682 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.1089 * \text{Cos}(\text{Radians}(320.831804 + 8134.5883527 * T + -0.0215613 * T^2 + -0.000024949 * T^3 + 0.00000011826 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.1083 * \text{Cos}(\text{Radians}(206.4157757 + 754672.6102224 * T + -0.024207 * T^2 + -0.000021449 * T^3 + 0.00000010057 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.1077 * \text{Cos}(\text{Radians}(171.0797218 + 1371800.3848412 * T + -0.0050437 * T^2 + 0.000005537 * T^3 + -0.00000002653 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.1033 * \text{Cos}(\text{Radians}(321.50761 + 1443602.9026859 * T + 0.0021912 * T^2 + 0.00001378 * T^3 + -0.00000006566 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.0994 * \text{Cos}(\text{Radians}(252.9599701 + -986329.4913773 * T + -0.0286211 * T^2 + -0.000041211 * T^3 + 0.00000019507 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.0859 * \text{Cos}(\text{Radians}(347.1012252 + 2671602.6691005 * T + -0.0097802 * T^2 + 0.000010992 * T^3 + -0.00000005307 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.0798 * \text{Cos}(\text{Radians}(14.9297954 + -139733.3242503 * T + -0.0177083 * T^2 + -0.0000208 * T^3 + 0.00000009825 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.0668 * \text{Cos}(\text{Radians}(79.6452933 + 1681205.8835469 * T + -0.0276206 * T^2 + -0.000017744 * T^3 + 0.00000008288 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.0654 * \text{Cos}(\text{Radians}(308.514024 + 1813000.2021816 * T + 0.0041069 * T^2 + 0.000019843 * T^3 + -0.00000009451 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.0606 * \cos(\text{Radians}(246.2694169 + -43938.0559065 * T + 0.0141728 * T^2 + 0.000016747 * T^3 + -0.00000007913 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.059 * \cos(\text{Radians}(205.3061361 + 1435663.8970704 * T + 0.0162104 * T^2 + 0.000030568 * T^3 + -0.00000014479 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.0589 * \cos(\text{Radians}(314.8170569 + 2385994.3381567 * T + 0.0449851 * T^2 + 0.000071738 * T^3 + -0.00000033986 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.0585 * \cos(\text{Radians}(283.0615334 + 2286131.7756366 * T + 0.0238846 * T^2 + 0.000046666 * T^3 + -0.00000022161 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.0579 * \cos(\text{Radians}(287.327509 + 778665.3607214 * T + 0.0004393 * T^2 + 0.000007854 * T^3 + -0.00000003769 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.0553 * \cos(\text{Radians}(181.6487303 + 437328.1059012 * T + 0.0123892 * T^2 + 0.000018619 * T^3 + -0.00000008798 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.0529 * \cos(\text{Radians}(266.0946807 + 345404.5489966 * T + -0.0227306 * T^2 + -0.00002324 * T^3 + 0.00000010941 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.0519 * \cos(\text{Radians}(214.6087046 + 2158404.7511782 * T + -0.0186236 * T^2 + -0.000003397 * T^3 + 0.00000001491 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.0507 * \cos(\text{Radians}(264.9850411 + 1026395.8358446 * T + 0.0176869 * T^2 + 0.000028777 * T^3 + -0.00000013594 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.0502 * \cos(\text{Radians}(274.1464851 + 48005.3500829 * T + -0.0249535 * T^2 + -0.000029221 * T^3 + 0.00000013826 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.0484 * \cos(\text{Radians}(128.6603785 + -95795.2683438 * T + -0.0318812 * T^2 + -0.000037547 * T^3 + 0.00000017738 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.0474 * \cos(\text{Radians}(280.8833515 + -1495460.1151232 * T + -0.0482452 * T^2 + -0.000068074 * T^3 + 0.00000032217 * T^4))$$

$$\begin{aligned}
& \text{Sr} = \text{Sr} + -0.0474 * \text{Cos}(\text{Radians}(271.7219076 + - \\
& 517069.6293615 * \text{T} + -0.0056048 * \text{T}^2 + - \\
& 0.000010076 * \text{T}^3 + 0.00000004797 * \text{T}^4)) \\
& \text{Sr} = \text{Sr} + -0.0461 * \text{Cos}(\text{Radians}(150.5690128 + \\
& 1772933.8577143 * \text{T} + 0.0150412 * \text{T}^2 + \\
& 0.000032277 * \text{T}^3 + -0.00000015363 * \text{T}^4)) \\
& \text{Sr} = \text{Sr} + 0.0459 * \text{Cos}(\text{Radians}(139.3241982 + \\
& 1271937.8223211 * \text{T} + -0.0261442 * \text{T}^2 + - \\
& 0.000019535 * \text{T}^3 + 0.00000009172 * \text{T}^4)) \\
& \text{Sr} = \text{Sr} + -0.0442 * \text{Cos}(\text{Radians}(55.5540539 + \\
& 2799329.6935588 * \text{T} + 0.0327281 * \text{T}^2 + \\
& 0.000061054 * \text{T}^3 + -0.00000028958 * \text{T}^4)) \\
& \text{Sr} = \text{Sr} + -0.0432 * \text{Cos}(\text{Radians}(68.9814735 + \\
& 313472.7928821 * \text{T} + -0.0333576 * \text{T}^2 + - \\
& 0.000035756 * \text{T}^3 + 0.00000016854 * \text{T}^4)) \\
& \text{Sr} = \text{Sr} + -0.0423 * \text{Cos}(\text{Radians}(336.3425942 + - \\
& 998335.7911692 * \text{T} + -0.0038212 * \text{T}^2 + - \\
& 0.000011948 * \text{T}^3 + 0.00000005681 * \text{T}^4)) \\
& \text{Sr} = \text{Sr} + -0.0389 * \text{Cos}(\text{Radians}(217.6239162 + - \\
& 369201.7167585 * \text{T} + -0.0094578 * \text{T}^2 + - \\
& 0.000014225 * \text{T}^3 + 0.00000006797 * \text{T}^4)) \\
& \text{Sr} = \text{Sr} + 0.0381 * \text{Cos}(\text{Radians}(261.152899 + \\
& 417402.6495785 * \text{T} + -0.0230377 * \text{T}^2 + - \\
& 0.000023158 * \text{T}^3 + 0.00000010941 * \text{T}^4)) \\
& \text{Sr} = \text{Sr} + 0.0373 * \text{Cos}(\text{Radians}(289.7520865 + \\
& 1343740.3401658 * \text{T} + -0.0189093 * \text{T}^2 + - \\
& 0.000011292 * \text{T}^3 + 0.0000000526 * \text{T}^4)) \\
& \text{Sr} = \text{Sr} + 0.0373 * \text{Cos}(\text{Radians}(292.9084226 + \\
& 517265.2120986 * \text{T} + -0.0019372 * \text{T}^2 + \\
& 0.000001914 * \text{T}^3 + -0.00000000884 * \text{T}^4)) \\
& \text{Sr} = \text{Sr} + 0.0368 * \text{Cos}(\text{Radians}(243.8933374 + \\
& 2294266.3639893 * \text{T} + 0.0023233 * \text{T}^2 + \\
& 0.000021716 * \text{T}^3 + -0.00000010335 * \text{T}^4)) \\
& \text{Sr} = \text{Sr} + 0.0338 * \text{Cos}(\text{Radians}(108.8351147 + - \\
& 485137.8732469 * \text{T} + 0.0050222 * \text{T}^2 + 0.00000244 \\
& * \text{T}^3 + -0.00000001116 * \text{T}^4))
\end{aligned}$$

$$Sr = Sr + 0.0327 * \cos(\text{Radians}(80.9117333 + 23992.750499 * T + 0.0246463 * T^2 + 0.000029303 * T^3 + -0.00000013826 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.0314 * \cos(\text{Radians}(62.244607 + 1856938.2580881 * T + -0.0100659 * T^2 + 0.000003097 * T^3 + -0.00000001537 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.0302 * \cos(\text{Radians}(154.7886751 + 866541.4725345 * T + -0.0279064 * T^2 + -0.000025639 * T^3 + 0.00000012057 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.0295 * \cos(\text{Radians}(302.7919858 + 373269.0109349 * T + -0.0013229 * T^2 + 0.00000175 * T^3 + -0.00000000884 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.0294 * \cos(\text{Radians}(291.5471713 + -127727.0244583 * T + -0.0425082 * T^2 + -0.000050062 * T^3 + 0.00000023651 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.0291 * \cos(\text{Radians}(4.2659756 + -1507466.4149151 * T + -0.0234453 * T^2 + -0.000038811 * T^3 + 0.00000018391 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.0286 * \cos(\text{Radians}(18.0764922 + 1259735.939792 * T + 0.0061977 * T^2 + 0.000017889 * T^3 + -0.00000008566 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.0284 * \cos(\text{Radians}(54.0979914 + -147867.912603 * T + 0.0038529 * T^2 + 0.000004149 * T^3 + -0.00000002001 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.027 * \cos(\text{Radians}(152.3640976 + 301466.4930901 * T + -0.0085577 * T^2 + -0.000006493 * T^3 + 0.00000003028 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.0267 * \cos(\text{Radians}(177.6754637 + -1872796.4202344 * T + -0.0361417 * T^2 + -0.000057349 * T^3 + 0.00000027189 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.0266 * \cos(\text{Radians}(196.5322124 + 898668.8113862 * T + -0.0248213 * T^2 + -0.000021286 * T^3 + 0.00000010057 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.0247 * \cos(\text{Radians}(349.4309915 + 934472.27894 * T + -0.0174329 * T^2 + -0.000013083 * T^3 + 0.00000006144 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.0244 * \text{Cos}(\text{Radians}(304.6818819 + 1204007.0159156 * T + -0.0366177 * T^2 + -0.000032092 * T^3 + 0.00000015085 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.024 * \text{Cos}(\text{Radians}(64.0396919 + 385470.8934639 * T + -0.0336648 * T^2 + -0.000035674 * T^3 + 0.00000016854 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.0237 * \text{Cos}(\text{Radians}(342.7404383 + 1876863.7144108 * T + 0.0253611 * T^2 + 0.000044874 * T^3 + -0.00000021276 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.0233 * \text{Cos}(\text{Radians}(58.3176537 + -1054260.2977828 * T + -0.0390946 * T^2 + -0.000053767 * T^3 + 0.0000002542 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.023 * \text{Cos}(\text{Radians}(177.3827547 + 1944794.5208163 * T + 0.0358345 * T^2 + 0.000057431 * T^3 + -0.00000027189 * T^4))$$

$$Sr = Sr + 0.0213 * \text{Cos}(\text{Radians}(352.5873276 + 107997.1508728 * T + -0.0004608 * T^2 + 0.000000123 * T^3 + 0 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.0208 * \text{Cos}(\text{Radians}(23.7985304 + 2699467.1310387 * T + 0.0116275 * T^2 + 0.000035982 * T^3 + -0.00000017132 * T^4))$$

$$Sr = Sr + -0.0201 * \text{Cos}(\text{Radians}(17.3543729 + 425341.6551941 * T + -0.037057 * T^2 + -0.000039946 * T^3 + 0.00000018854 * T^4))$$

'Korkesi Jarak Bulan Kedua (Sr')

$$Sr1 = Sr1 + 1.0587 * \text{Cos}(\text{Radians}(233.0866 + 479264.2898 * T))$$

$$Sr1 = Sr1 + 0.7278 * \text{Cos}(\text{Radians}(344.7895 + -477067.0188 * T))$$

$$Sr1 = Sr1 + -0.6826 * \text{Cos}(\text{Radians}(254.719 + 477330.7165 * T))$$

$$Sr1 = Sr1 + 0.5983 * \text{Cos}(\text{Radians}(345.2589 + 480890.6839 * T))$$

$$Sr1 = Sr1 + -0.4565 * \text{Cos}(\text{Radians}(260.0092 + 475264.7314 * T))$$

$$\begin{aligned} \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.4528 * \text{Cos}(\text{Radians}(350.0824 + - \\ &479133.0038 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.4101 * \text{Cos}(\text{Radians}(208.6847 + \\ &476229.3841 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.205 * \text{Cos}(\text{Radians}(192.2132 + - \\ &857569.7559 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.2047 * \text{Cos}(\text{Radians}(244.0516 + - \\ &890402.3742 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.2037 * \text{Cos}(\text{Radians}(355.4532 + \\ &890666.0719 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.1664 * \text{Cos}(\text{Radians}(287.6902 + - \\ &845497.3374 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.1578 * \text{Cos}(\text{Radians}(241.4058 + \\ &477178.6814 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.1578 * \text{Cos}(\text{Radians}(331.4791 + - \\ &477219.0538 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.1575 * \text{Cos}(\text{Radians}(327.1237 + - \\ &380370.8882 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.1445 * \text{Cos}(\text{Radians}(357.2452 + - \\ &411269.9333 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.1381 * \text{Cos}(\text{Radians}(306.5599 + - \\ &454680.4248 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.1348 * \text{Cos}(\text{Radians}(19.0126 + - \\ &413203.5065 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.1267 * \text{Cos}(\text{Radians}(220.4892 + \\ &413467.2043 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.1267 * \text{Cos}(\text{Radians}(292.3791 + - \\ &444234.4005 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.1236 * \text{Cos}(\text{Radians}(205.7982 + - \\ &868015.7802 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.1205 * \text{Cos}(\text{Radians}(263.7606 + \\ &458372.241 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.12 * \text{Cos}(\text{Radians}(216.4928 + \\ &499717.3105 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.1162 * \text{Cos}(\text{Radians}(62.6005 + - \\ &368298.4698 * T)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.1126 * \text{Cos}(\text{Radians}(209.3053 + \\ &413315.1692 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.1125 * \text{Cos}(\text{Radians}(7.8297 + - \\ &413355.5416 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.1123 * \text{Cos}(\text{Radians}(343.8467 + \\ &890514.0368 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.1122 * \text{Cos}(\text{Radians}(232.4426 + - \\ &890554.4092 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.1069 * \text{Cos}(\text{Radians}(0.7459 + \\ &888600.0868 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.105 * \text{Cos}(\text{Radians}(202.1456 + \\ &510163.3348 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.105 * \text{Cos}(\text{Radians}(257.4688 + - \\ &824605.2887 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.1006 * \text{Cos}(\text{Radians}(340.7609 + - \\ &390816.9126 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0993 * \text{Cos}(\text{Radians}(109.682 + - \\ &409643.5392 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0955 * \text{Cos}(\text{Radians}(249.3451 + - \\ &892468.3592 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.0851 * \text{Cos}(\text{Radians}(176.626 + \\ &487271.0312 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0795 * \text{Cos}(\text{Radians}(66.7826 + \\ &503409.1267 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.0773 * \text{Cos}(\text{Radians}(333.0802 + - \\ &414304.8389 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0705 * \text{Cos}(\text{Radians}(16.1051 + \\ &476447.2666 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.0631 * \text{Cos}(\text{Radians}(299.8407 + \\ &477158.11 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0631 * \text{Cos}(\text{Radians}(29.9119 + - \\ &477239.6253 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0621 * \text{Cos}(\text{Radians}(4.6741 + \\ &478231.5787 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.0609 * \text{Cos}(\text{Radians}(98.1213 + \\ &2065.4221 * T)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Sr1 &= Sr1 + -0.0608 * \text{Cos}(\text{Radians}(32.3536 + - \\
&347406.421 * T)) \\
Sr1 &= Sr1 + -0.0601 * \text{Cos}(\text{Radians}(352.2127 + \\
&476823.0671 * T)) \\
Sr1 &= Sr1 + -0.059 * \text{Cos}(\text{Radians}(198.0307 + \\
&474917.6418 * T)) \\
Sr1 &= Sr1 + 0.0586 * \text{Cos}(\text{Radians}(287.9045 + - \\
&479480.0934 * T)) \\
Sr1 &= Sr1 + 0.0577 * \text{Cos}(\text{Radians}(355.1425 + \\
&475263.3345 * T)) \\
Sr1 &= Sr1 + 0.0572 * \text{Cos}(\text{Radians}(332.9419 + - \\
&856816.076 * T)) \\
Sr1 &= Sr1 + -0.057 * \text{Cos}(\text{Radians}(85.2157 + - \\
&479134.4008 * T)) \\
Sr1 &= Sr1 + -0.0551 * \text{Cos}(\text{Radians}(16.3088 + - \\
&468161.3548 * T)) \\
Sr1 &= Sr1 + -0.0534 * \text{Cos}(\text{Radians}(225.782 + \\
&411401.2192 * T)) \\
Sr1 &= Sr1 + 0.0525 * \text{Cos}(\text{Radians}(98.2942 + - \\
&881496.7102 * T)) \\
Sr1 &= Sr1 + 0.0516 * \text{Cos}(\text{Radians}(286.0818 + \\
&486236.3804 * T)) \\
Sr1 &= Sr1 + -0.0504 * \text{Cos}(\text{Radians}(100.8011 + \\
&413335.3554 * T)) \\
Sr1 &= Sr1 + -0.0492 * \text{Cos}(\text{Radians}(298.133 + \\
&522235.7533 * T)) \\
Sr1 &= Sr1 + 0.0492 * \text{Cos}(\text{Radians}(28.455 + - \\
&432161.982 * T)) \\
Sr1 &= Sr1 + 0.0488 * \text{Cos}(\text{Radians}(233.4132 + - \\
&404297.8426 * T)) \\
Sr1 &= Sr1 + 0.0461 * \text{Cos}(\text{Radians}(293.4551 + - \\
&410300.4497 * T)) \\
Sr1 &= Sr1 + 0.0456 * \text{Cos}(\text{Radians}(178.9132 + - \\
&858978.2674 * T)) \\
Sr1 &= Sr1 + 0.044 * \text{Cos}(\text{Radians}(108.2005 + - \\
&379617.2084 * T))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.0437 * \text{Cos}(\text{Radians}(167.4024 + \\ &446299.8226 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0435 * \text{Cos}(\text{Radians}(8.056 + \\ &956463.1574 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0432 * \text{Cos}(\text{Radians}(102.0889 + - \\ &860604.6615 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.0428 * \text{Cos}(\text{Radians}(131.1841 + \\ &416370.2611 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.0428 * \text{Cos}(\text{Radians}(67.3412 + \\ &32964.4672 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.0427 * \text{Cos}(\text{Radians}(38.6974 + \\ &935571.1087 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0411 * \text{Cos}(\text{Radians}(153.9518 + - \\ &887499.3174 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0397 * \text{Cos}(\text{Radians}(242.2038 + \\ &478490.4237 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0397 * \text{Cos}(\text{Radians}(209.8262 + - \\ &954265.8864 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.0388 * \text{Cos}(\text{Radians}(302.2798 + \\ &923498.6902 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0386 * \text{Cos}(\text{Radians}(24.3078 + - \\ &415269.4916 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0376 * \text{Cos}(\text{Radians}(148.3721 + \\ &525927.5695 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.0374 * \text{Cos}(\text{Radians}(102.8999 + \\ &480233.7733 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0374 * \text{Cos}(\text{Radians}(81.5574 + \\ &22518.4428 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0373 * \text{Cos}(\text{Radians}(74.6382 + - \\ &443480.7206 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.0372 * \text{Cos}(\text{Radians}(29.6822 + \\ &954529.5841 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0372 * \text{Cos}(\text{Radians}(194.3603 + - \\ &474163.962 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.0358 * \text{Cos}(\text{Radians}(68.2525 + - \\ &477048.1893 * \text{T})) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0357 * \text{Cos}(\text{Radians}(338.1715 + \\ &477349.5459 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.0354 * \text{Cos}(\text{Radians}(256.2067 + \\ &893569.1287 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0349 * \text{Cos}(\text{Radians}(313.9481 + - \\ &381779.3998 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0349 * \text{Cos}(\text{Radians}(280.3017 + - \\ &445642.912 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.0345 * \text{Cos}(\text{Radians}(210.3094 + \\ &3691.8162 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0343 * \text{Cos}(\text{Radians}(237.0396 + - \\ &383405.7939 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0335 * \text{Cos}(\text{Radians}(197.8798 + - \\ &447269.3061 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0328 * \text{Cos}(\text{Radians}(267.5876 + \\ &543127.802 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.0313 * \text{Cos}(\text{Radians}(107.1223 + - \\ &413184.6771 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.0312 * \text{Cos}(\text{Radians}(305.5552 + \\ &888252.9972 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.0312 * \text{Cos}(\text{Radians}(345.1736 + \\ &510917.0147 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.031 * \text{Cos}(\text{Radians}(308.5586 + \\ &413486.0337 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.0305 * \text{Cos}(\text{Radians}(322.4131 + \\ &476209.1979 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.0301 * \text{Cos}(\text{Radians}(331.4188 + - \\ &890383.5447 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0298 * \text{Cos}(\text{Radians}(82.6856 + \\ &890684.9013 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.0287 * \text{Cos}(\text{Radians}(51.4328 + \\ &477180.0382 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0286 * \text{Cos}(\text{Radians}(192.1168 + - \\ &892815.4488 * T)) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0285 * \text{Cos}(\text{Radians}(141.5781 + - \\ &477217.6971 * T)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.0284 * \text{Cos}(\text{Radians}(172.3154 + \\ &411054.1296 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.0283 * \text{Cos}(\text{Radians}(74.3152 + \\ &422372.8682 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0281 * \text{Cos}(\text{Radians}(125.0446 + - \\ &1934.1362 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.0278 * \text{Cos}(\text{Radians}(190.1819 + \\ &508754.8232 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.0276 * \text{Cos}(\text{Radians}(108.1767 + \\ &507128.4291 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0275 * \text{Cos}(\text{Radians}(317.223 + \\ &913052.6659 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.027 * \text{Cos}(\text{Radians}(28.2595 + \\ &899571.7358 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0267 * \text{Cos}(\text{Radians}(237.7031 + \\ &467409.7538 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.0261 * \text{Cos}(\text{Radians}(163.2605 + \\ &45036.8856 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0259 * \text{Cos}(\text{Radians}(329.7457 + - \\ &415616.5812 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.0249 * \text{Cos}(\text{Radians}(34.9726 + \\ &952463.5991 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0247 * \text{Cos}(\text{Radians}(215.119 + - \\ &956331.8714 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.0246 * \text{Cos}(\text{Radians}(343.9612 + \\ &953428.2517 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0234 * \text{Cos}(\text{Radians}(73.7487 + - \\ &969.4835 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.0221 * \text{Cos}(\text{Radians}(232.3556 + - \\ &827640.1943 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.022 * \text{Cos}(\text{Radians}(229.8589 + \\ &548446.0123 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + 0.0214 * \text{Cos}(\text{Radians}(292.9869 + \\ &512228.7569 * \text{T})) \\ \text{Sr1} &= \text{Sr1} + -0.0211 * \text{Cos}(\text{Radians}(319.7423 + \\ &489928.1967 * \text{T})) \end{aligned}$$

$$Sr1 = Sr1 + -0.0201 * \text{Cos}(\text{Radians}(15.3412 + -821570.383 * T))$$

'Korkesi Jarak Bulan Ketiga (Sr")

$$Sr2 = Sr2 + 0.514 * \text{Cos}(\text{Radians}(238.171 + 854535.173 * T))$$

$$Sr2 = Sr2 + 0.3825 * \text{Cos}(\text{Radians}(103.208 + 377336.305 * T))$$

$$Sr2 = Sr2 + 0.3265 * \text{Cos}(\text{Radians}(222.566 + -441199.817 * T))$$

$$Sr2 = Sr2 + -0.264 * \text{Cos}(\text{Radians}(132.493 + 513197.918 * T))$$

$$Sr2 = Sr2 + -0.123 * \text{Cos}(\text{Radians}(357.529 + 35999.05 * T))$$

$$Sr2 = Sr2 + -0.0775 * \text{Cos}(\text{Radians}(233.23 + 926533.273 * T))$$

$$Sr2 = Sr2 + -0.0607 * \text{Cos}(\text{Radians}(98.266 + 449334.406 * T))$$

$$Sr2 = Sr2 + 0.0497 * \text{Cos}(\text{Radians}(240.642 + 818536.122 * T))$$

$$Sr2 = Sr2 + 0.0419 * \text{Cos}(\text{Radians}(295.379 + 481266.162 * T))$$

$$Sr2 = Sr2 + 0.0322 * \text{Cos}(\text{Radians}(13.135 + 1331734.04 * T))$$

$$Sr2 = Sr2 + -0.0253 * \text{Cos}(\text{Radians}(328.244 + -99862.563 * T))$$

$$Sr2 = Sr2 + 0.0249 * \text{Cos}(\text{Radians}(105.679 + 341337.255 * T))$$

$$Sr2 = Sr2 + 0.0176 * \text{Cos}(\text{Radians}(87.602 + -918398.685 * T))$$

$$Sr2 = Sr2 + -0.0145 * \text{Cos}(\text{Radians}(267.456 + 990396.786 * T))$$

$$Sr2 = Sr2 + -0.0136 * \text{Cos}(\text{Radians}(237.517 + 890534.223 * T))$$

$$Sr2 = Sr2 + -0.013 * \text{Cos}(\text{Radians}(252.8 + -477067.019 * T))$$

$$\begin{aligned} \text{Sr2} &= \text{Sr2} + 0.0123 * \text{Cos}(\text{Radians}(162.968 + \\ &477330.716 * T)) \\ \text{Sr2} &= \text{Sr2} + -0.0119 * \text{Cos}(\text{Radians}(95.795 + \\ &485333.456 * T)) \\ \text{Sr2} &= \text{Sr2} + 0.0107 * \text{Cos}(\text{Radians}(220.095 + - \\ &405200.767 * T)) \\ \text{Sr2} &= \text{Sr2} + 0.0099 * \text{Cos}(\text{Radians}(338.908 + \\ &1267870.528 * T)) \\ \text{Sr2} &= \text{Sr2} + -0.0066 * \text{Cos}(\text{Radians}(8.193 + \\ &1403732.141 * T)) \\ \text{Sr2} &= \text{Sr2} + -0.0063 * \text{Cos}(\text{Radians}(100.737 + \\ &413335.355 * T)) \\ \text{Sr2} &= \text{Sr2} + -0.0059 * \text{Cos}(\text{Radians}(130.022 + \\ &549196.968 * T)) \\ \text{Sr2} &= \text{Sr2} + -0.0054 * \text{Cos}(\text{Radians}(355.058 + \\ &71998.101 * T)) \\ \text{Sr2} &= \text{Sr2} + 0.0048 * \text{Cos}(\text{Radians}(203.945 + \\ &790671.661 * T)) \\ \text{Sr2} &= \text{Sr2} + 0.0039 * \text{Cos}(\text{Radians}(113.872 + \\ &1745069.396 * T)) \\ \text{Sr2} &= \text{Sr2} + 0.0036 * \text{Cos}(\text{Radians}(263.476 + \\ &890666.072 * T)) \\ \text{Sr2} &= \text{Sr2} + -0.0036 * \text{Cos}(\text{Radians}(152.075 + - \\ &890402.374 * T)) \\ \text{Sr2} &= \text{Sr2} + 0.0033 * \text{Cos}(\text{Radians}(15.606 + \\ &1295734.99 * T)) \\ \text{Sr2} &= \text{Sr2} + 0.0031 * \text{Cos}(\text{Radians}(243.113 + \\ &782537.072 * T)) \\ \text{Sr2} &= \text{Sr2} + -0.0025 * \text{Cos}(\text{Radians}(134.963 + \\ &477198.868 * T)) \\ \text{Sr2} &= \text{Sr2} + -0.0024 * \text{Cos}(\text{Radians}(287.062 + - \\ &413203.507 * T)) \\ \text{Sr2} &= \text{Sr2} + 0.0024 * \text{Cos}(\text{Radians}(70.343 + \\ &958465.029 * T)) \\ \text{Sr2} &= \text{Sr2} + 0.0023 * \text{Cos}(\text{Radians}(128.524 + \\ &413467.204 * T)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Sr2 &= Sr2 + -0.0023 * \text{Cos}(\text{Radians}(257.953 + 476229.384 * T)) \\
Sr2 &= Sr2 + -0.0021 * \text{Cos}(\text{Radians}(160.416 + 4067.294 * T)) \\
Sr2 &= Sr2 + 0.0021 * \text{Cos}(\text{Radians}(148.098 + 1808932.908 * T)) \\
Sr2 &= Sr2 + -0.0018 * \text{Cos}(\text{Radians}(317.715 + 477178.681 * T)) \\
Sr2 &= Sr2 + 0.0018 * \text{Cos}(\text{Radians}(47.788 + -477219.054 * T)) \\
Sr2 &= Sr2 + -0.0017 * \text{Cos}(\text{Radians}(330.715 + -135861.613 * T)) \\
Sr2 &= Sr2 + -0.0017 * \text{Cos}(\text{Radians}(51.627 + -111868.862 * T)) \\
Sr2 &= Sr2 + -0.0015 * \text{Cos}(\text{Radians}(333.967 + 1339868.629 * T)) \\
Sr2 &= Sr2 + 0.0014 * \text{Cos}(\text{Radians}(341.379 + 1231871.478 * T)) \\
Sr2 &= Sr2 + 0.0013 * \text{Cos}(\text{Radians}(307.724 + -890554.409 * T)) \\
Sr2 &= Sr2 + -0.0013 * \text{Cos}(\text{Radians}(59.126 + 890514.037 * T)) \\
Sr2 &= Sr2 + -0.0013 * \text{Cos}(\text{Radians}(284.325 + 413315.169 * T)) \\
Sr2 &= Sr2 + 0.0013 * \text{Cos}(\text{Radians}(82.849 + -413355.542 * T)) \\
Sr2 &= Sr2 + -0.0013 * \text{Cos}(\text{Radians}(300.321 + 409268.061 * T)) \\
Sr2 &= Sr2 + -0.0013 * \text{Cos}(\text{Radians}(193.281 + -577061.43 * T)) \\
Sr2 &= Sr2 + -0.0012 * \text{Cos}(\text{Radians}(32.361 + 477158.11 * T)) \\
Sr2 &= Sr2 + 0.0012 * \text{Cos}(\text{Radians}(122.434 + -477239.625 * T)) \\
Sr2 &= Sr2 + -0.0011 * \text{Cos}(\text{Radians}(10.664 + 1367733.091 * T))
\end{aligned}$$

$$Sr2 = Sr2 + 0.0011 * \text{Cos}(\text{Radians}(108.15 + 305338.205 * T))$$

$$Sr2 = Sr2 + 0.0011 * \text{Cos}(\text{Radians}(312.639 + -1395597.553 * T))$$

$$Sr2 = Sr2 + -0.0009 * \text{Cos}(\text{Radians}(42.419 + 1467595.653 * T))$$

$$Sr2 = Sr2 + -0.0008 * \text{Cos}(\text{Radians}(25.452 + -473131.573 * T))$$

$$Sr2 = Sr2 + -0.0008 * \text{Cos}(\text{Radians}(49.11 + 525204.218 * T))$$

$$Sr2 = Sr2 + -0.0008 * \text{Cos}(\text{Radians}(276.664 + -589067.73 * T))$$

$$Sr2 = Sr2 + -0.0007 * \text{Cos}(\text{Radians}(230.759 + 962532.324 * T))$$

$$Sr2 = Sr2 + 0.0007 * \text{Cos}(\text{Radians}(228.081 + -477217.697 * T))$$

$$Sr2 = Sr2 + -0.0007 * \text{Cos}(\text{Radians}(117.737 + -954265.886 * T))$$

$$Sr2 = Sr2 + 0.0007 * \text{Cos}(\text{Radians}(85.131 + -882399.635 * T))$$

$$Sr2 = Sr2 + 0.0007 * \text{Cos}(\text{Radians}(297.821 + 954529.584 * T))$$

$$Sr2 = Sr2 + 0.0006 * \text{Cos}(\text{Radians}(116.343 + 1709070.345 * T))$$

$$Sr2 = Sr2 + -0.0006 * \text{Cos}(\text{Radians}(41.058 + 822603.417 * T))$$

$$Sr2 = Sr2 + 0.0006 * \text{Cos}(\text{Radians}(305.948 + -453206.117 * T))$$

$$Sr2 = Sr2 + -0.0006 * \text{Cos}(\text{Radians}(108.93 + 1817067.496 * T))$$

$$Sr2 = Sr2 + -0.0006 * \text{Cos}(\text{Radians}(199.003 + 862669.761 * T))$$

'Korkesi Jarak Bulan Keempat (Sr''')

$$Sr3 = Sr3 + 14.9 * \text{Cos}(\text{Radians}(238.2 + 854535.2 * T))$$

$$\begin{aligned}
& \text{Sr3} = \text{Sr3} + 11.1 * \text{Cos}(\text{Radians}(103.2 + 377336.3 * \\
& \text{T})) \\
& \text{Sr3} = \text{Sr3} + 9.5 * \text{Cos}(\text{Radians}(222.6 + -441199.8 * \\
& \text{T})) \\
& \text{Sr3} = \text{Sr3} + -7.7 * \text{Cos}(\text{Radians}(132.5 + 513197.9 * \\
& \text{T})) \\
& \text{Sr3} = \text{Sr3} + -3.6 * \text{Cos}(\text{Radians}(357.5 + 35999.1 * \\
& \text{T})) \\
& \text{Sr3} = \text{Sr3} + -2.3 * \text{Cos}(\text{Radians}(233.2 + 926533.3 * \\
& \text{T})) \\
& \text{Sr3} = \text{Sr3} + -1.8 * \text{Cos}(\text{Radians}(98.3 + 449334.4 * \\
& \text{T})) \\
& \text{Sr3} = \text{Sr3} + 1.4 * \text{Cos}(\text{Radians}(240.6 + 818536.1 * \\
& \text{T})) \\
& \text{Sr3} = \text{Sr3} + 1.2 * \text{Cos}(\text{Radians}(295.4 + 481266.2 * \\
& \text{T})) \\
& \text{Sr3} = \text{Sr3} + 0.9 * \text{Cos}(\text{Radians}(13.1 + 1331734 * \text{T})) \\
& \text{Sr3} = \text{Sr3} + -0.7 * \text{Cos}(\text{Radians}(328.2 + -99862.6 * \\
& \text{T})) \\
& \text{Sr3} = \text{Sr3} + 0.7 * \text{Cos}(\text{Radians}(105.7 + 341337.3 * \\
& \text{T})) \\
& \text{Sr3} = \text{Sr3} + 0.5 * \text{Cos}(\text{Radians}(87.6 + -918398.7 * \\
& \text{T})) \\
& \text{Sr3} = \text{Sr3} + -0.4 * \text{Cos}(\text{Radians}(235.7 + 890534.2 * \\
& \text{T})) \\
& \text{Sr3} = \text{Sr3} + -0.4 * \text{Cos}(\text{Radians}(267.5 + 990396.8 * \\
& \text{T})) \\
& \text{Sr3} = \text{Sr3} + 0.3 * \text{Cos}(\text{Radians}(338.9 + 1267870.5 * \\
& \text{T})) \\
& \text{Sr3} = \text{Sr3} + -0.3 * \text{Cos}(\text{Radians}(95.8 + 485333.5 * \\
& \text{T})) \\
& \text{Sr3} = \text{Sr3} + 0.3 * \text{Cos}(\text{Radians}(220.1 + -405200.8 * \\
& \text{T})) \\
& \text{Sr3} = \text{Sr3} + -0.2 * \text{Cos}(\text{Radians}(8.2 + 1403732.1 * \\
& \text{T}))
\end{aligned}$$

```

        R = 385000.56 + Sr + Sr1 + T * Sr2 + 10 ^ -4 * T ^
2 * Sr3
GeometricRange_Janus = R
End Function

d. Fungsi Aberasi Pada Bujur Ekliptika
Public Function Aberration_EclipticLongitude(ByVal
JDEorJD As Double) As Double
    Dim T As Double
    T = (JDEorJD - 2451545) / 36525
    Aberration_EclipticLongitude = -0.00019524 -
0.00001059 * Sin(Radians(225 + 477198.9 * T))
End Function

e. Fungsi Aberasi Pada Lintang Ekliptika
Public Function Aberration_EclipticLatitude(ByVal
JDEorJD As Double) As Double
    Dim T As Double
    T = (JDEorJD - 2451545) / 36525
    Aberration_EclipticLatitude = -0.00001754 *
Sin(Radians(183.3 + 483202 * T))
End Function

f. Fungsi Aberasi Pada Jarak Geosentris
Public Function Aberration_Range(ByVal JDEorJD As
Double) As Double
    Dim T As Double
    T = (JDEorJD - 2451545) / 36525
    Aberration_Range = 0.0708 * Cos(Radians(225 +
477198.9 * T))
End Function

g. Fungsi Bujur Ekliptika Tampak Geosentris Janus
Public Function
    BujurBulanTampakGeosentris_Janus(ByVal Tanggal As
Integer, Bulan As Integer, Tahun As Integer, Jam As
Double, Tz As Double) As Double
    Dim JDEorJD As Double
    Dim Lambda As Double
    Dim Aberasi As Double

```

Dim Nutasi As Double

JDEorJD = HariJulian(Tanggal, Bulan, Tahun, Jam,
Tz)

Lambda = GeometricLongitude_Janus(JDEorJD)

Aberasi = Aberration_EclipticLongitude(JDEorJD)

Nutasi = Nutasi_Bujur(JDEorJD)

BujurBulanTampakGeosentris_Janus = Modx(Lambda
+ Aberasi + Nutasi, 360)

End Function

- h. Fungsi Lintang Ekliptika Tampak Geosentris Janus

Public Function

LintangBulanTampakGeosentris_Janus(ByVal Tanggal
As Integer, Bulan As Integer, Tahun As Integer, Jam As
Double, Tz As Double) As Double

Dim JDEorJD As Double

Dim Beta As Double

Dim Aberasi As Double

JDEorJD = HariJulian(Tanggal, Bulan, Tahun, Jam,
Tz)

Beta = GeometricLatitude_Janus(JDEorJD)

Aberasi = Aberration_EclipticLatitude(JDEorJD)

LintangBulanTampakGeosentris_Janus = Beta +
Aberasi

End Function

- i. Fungsi Jarak Bulan Tampak Geosentris Janus

Public Function

JarakBulanTampakGeosentris_Janus(ByVal Tanggal As
Integer, Bulan As Integer, Tahun As Integer, Jam As
Double, Tz As Double) As Double

Dim JDEorJD As Double

Dim Moon_Range As Double

Dim Aberasi As Double

```

JDEorJD = HariJulian(Tanggal, Bulan, Tahun, Jam,
Tz)
Moon_Range = GeometricRange_Janus(JDEorJD)
Aberasi = Aberration_Range(JDEorJD)

```

```

JarakBulanTampakGeosentris_Janus = Moon_Range +
Aberasi

```

```

End Function

```

- j. Fungsi Deklinasi Tampak Bulan Geosentris Janus
Public Function DeklinasiBulanGeosentris_Janus(ByVal
Tanggal As Integer, Bulan As Integer, Tahun As Integer,
Jam As Double, Tz As Double) As Double
 Dim Lambda As Double
 Dim Beta As Double
 Dim Kemiringan_Ekliptika As Double
 Dim Deklinasi As Double

```

    Lambda =
BujurBulanTampakGeosentris_Janus(Tanggal, Bulan,
Tahun, Jam, Tz)
    Beta =
LintangBulanTampakGeosentris_Janus(Tanggal, Bulan,
Tahun, Jam, Tz)
    Kemiringan_Ekliptika = Obliquity(Tanggal, Bulan,
Tahun, Jam, Tz)
    Deklinasi = Ecliptic2Equatorial(Lambda, Beta,
Kemiringan_Ekliptika, "Deklinasi")

```

```

DeklinasiBulanGeosentris_Janus = Deklinasi
End Function

```

- k. Fungsi Asensioirekta Tampak Bulan Geosentris Janus
Public Function
AsensioirektaBulanGeosentris_Janus(ByVal Tanggal As
Integer, Bulan As Integer, Tahun As Integer, Jam As
Double, Tz As Double) As Double

Dim Lambda As Double
 Dim Beta As Double
 Dim Kemiringan_Ekliptika As Double
 Dim Asensiorekta As Double

Lambda =

BujurBulanTampakGeosentris_Janus(Tanggal, Bulan, Tahun, Jam, Tz)

Beta =

LintangBulanTampakGeosentris_Janus(Tanggal, Bulan, Tahun, Jam, Tz)

Kemiringan_Ekliptika = Obliquity(Tanggal, Bulan, Tahun, Jam, Tz)

Asensiorekta = Ecliptic2Equatorial(Lambda, Beta, Kemiringan_Ekliptika, "Asensiorekta")

AsensiorektaBulanGeosentris_Janus = Asensiorekta

End Function

1. Fungsi *Geocentric Horizontal Parallax* Bulan
 Public Function HorizontalParalaksBulan_Janus(ByVal Tanggal As Integer, Bulan As Integer, Tahun As Integer, Jam As Double, Tz As Double) As Double

Dim RadiusBumi As Double

Dim JarakBulan As Double

Dim HPBulan As Double

RadiusBumi = 6378.1366

JarakBulan =

JarakBulanTampakGeosentris_Janus(Tanggal, Bulan, Tahun, Jam, Tz)

HPBulan = Degrees(Asin(RadiusBumi / JarakBulan))

HorizontalParalaksBulan_Janus = HPBulan

End Function

- m. Fungsi Semidiameter Geosentris Bulan

```

Public Function SemidiameterBulan_Janus(ByVal
Tanggal As Integer, Bulan As Integer, Tahun As Integer,
Jam As Double, Tz As Double) As Double
    Dim RadiusBulan As Double
    Dim JarakBulan As Double
    Dim SDBulan As Double

```

```

    RadiusBulan = 1737.4

```

```

    JarakBulan =

```

```

    JarakBulanTampakGeosentris_Janus(Tanggal, Bulan,
    Tahun, Jam, Tz)

```

```

    SDBulan = Degrees(Atan(RadiusBulan / JarakBulan))

```

```

    SemidiameterBulan_Janus = SDBulan

```

```

End Function

```

n. Fungsi Elongasi Geosentris Bulan

```

Public Function ElongasiBulanGeosentris_Janus(ByVal
Tanggal As Integer, ByVal Bulan As Integer, ByVal
Tahun As Integer, ByVal Jam As Double, ByVal Tz As
Double) As Double

```

```

    Dim AsensiorektaBulan As Double

```

```

    Dim DeklinasiBulan As Double

```

```

    Dim AsensiorektaMatahari As Double

```

```

    Dim DeklinasiMatahari As Double

```

```

    Dim Elongasi As Double

```

```

    ' Calculate the Right Ascension and Declination of the
    Moon

```

```

    AsensiorektaBulan =

```

```

    AsensiorektaBulanGeosentris_Janus(Tanggal, Bulan,
    Tahun, Jam, Tz)

```

```

    DeklinasiBulan =

```

```

    DeklinasiBulanGeosentris_Janus(Tanggal, Bulan, Tahun,
    Jam, Tz)

```

' Calculate the Right Ascension and Declination of the Sun

AsensiorektaMatahari =
 AsensiorektaMatahariGeosentris_VSOP1987(Tanggal,
 Bulan, Tahun, Jam, Tz)
 DeklinasiMatahari =
 DeklinasiMatahariGeosentris_VSOP1987(Tanggal,
 Bulan, Tahun, Jam, Tz)

' Compute the elongation angle
 Elongasi =
 Degrees(Acos(Sin(Radians(DeklinasiBulan)) *
 Sin(Radians(DeklinasiMatahari)) + _
 Cos(Radians(DeklinasiBulan)) *
 Cos(Radians(DeklinasiMatahari)) *
 Cos(Radians(AsensiorektaBulan -
 AsensiorektaMatahari))))

' Return the computed elongation
 ElongasiBulanGeosentris_Janus = Elongasi
 End Function

- o. Fungsi Fraksi Iluminasi Geosentris Bulan
 Public Function IluminasiBulanGeosentris_Janus(ByVal
 Tanggal As Integer, Bulan As Integer, Tahun As Integer,
 Jam As Double, Tz As Double) As Double

Dim i As Double 'Sudut Fase Bulan / Phase Angle
 Dim k As Double 'Fraksi iluminasi Bulan
 Dim R As Double 'Jarak Bumi Matahari
 Dim Delta As Double 'Jarak Bulan Bumi
 Dim Elongasi As Double 'Elongasi Bulan

R = JarakMatahari_VSOP1987(Tanggal, Bulan, Tahun,
 Jam, Tz) * 149597870.699626
 Delta = JarakBulanTampakGeosentris_Janus(Tanggal,
 Bulan, Tahun, Jam, Tz)

```

Elongasi = ElongasiBulanGeosentris_Janus(Tanggal,
Bulan, Tahun, Jam, Tz)
i = Degrees(Atan2(Delta - R * Cos(Radians(Elongasi)),
R * Sin(Radians(Elongasi))))
k = 0.5 * (1 + Cos(Radians(i)))

```

```

IlluminasiBulanGeosentris_Janus = k
End Function

```

- p. Fungsi *Angle Bright Limb* (Sudut Piringan Bercahaya dari Bulan)

```

Public Function

```

```

SudutBercahayaBulanGeosentris_Janus(ByVal Tanggal
As Integer, ByVal Bulan As Integer, ByVal Tahun As
Integer, ByVal Jam As Double, ByVal Tz As Double) As
Double

```

```

    Dim AsensiorektaBulan As Double
    Dim DeklinasiBulan As Double
    Dim AsensiorektaMatahari As Double
    Dim DeklinasiMatahari As Double
    Dim BrightLimb As Double

```

```

' Calculate the Right Ascension and Declination of the
Moon

```

```

    AsensiorektaBulan =
AsensiorektaBulanGeosentris_Janus(Tanggal, Bulan,
Tahun, Jam, Tz)
    DeklinasiBulan =
DeklinasiBulanGeosentris_Janus(Tanggal, Bulan, Tahun,
Jam, Tz)

```

```

' Calculate the Right Ascension and Declination of the
Sun

```

```

    AsensiorektaMatahari =
AsensiorektaMatahariGeosentris_VSOP1987(Tanggal,
Bulan, Tahun, Jam, Tz)

```

```

    DeklinasiMatahari =
    DeklinasiMatahariGeosentris_VSOP1987(Tanggal,
    Bulan, Tahun, Jam, Tz)

```

```

    ' Compute the bright limb angle using spherical
    trigonometry

```

```

    BrightLimb =
    Degrees(Atan2(Sin(Radians(DeklinasiMatahari)) *
    Cos(Radians(DeklinasiBulan)) - _
    Cos(Radians(DeklinasiMatahari)) *
    Sin(Radians(DeklinasiBulan)) *
    Cos(Radians(AsensiorektaMatahari -
    AsensiorektaBulan)), _
    Cos(Radians(DeklinasiMatahari)) *
    Sin(Radians(AsensiorektaMatahari -
    AsensiorektaBulan))))

```

```

    ' Ensure the angle is within 0 to 360 degrees
    SudutBercahayaBulanGeosentris_Janus =
    Modx(BrightLimb, 360)
    End Function

```